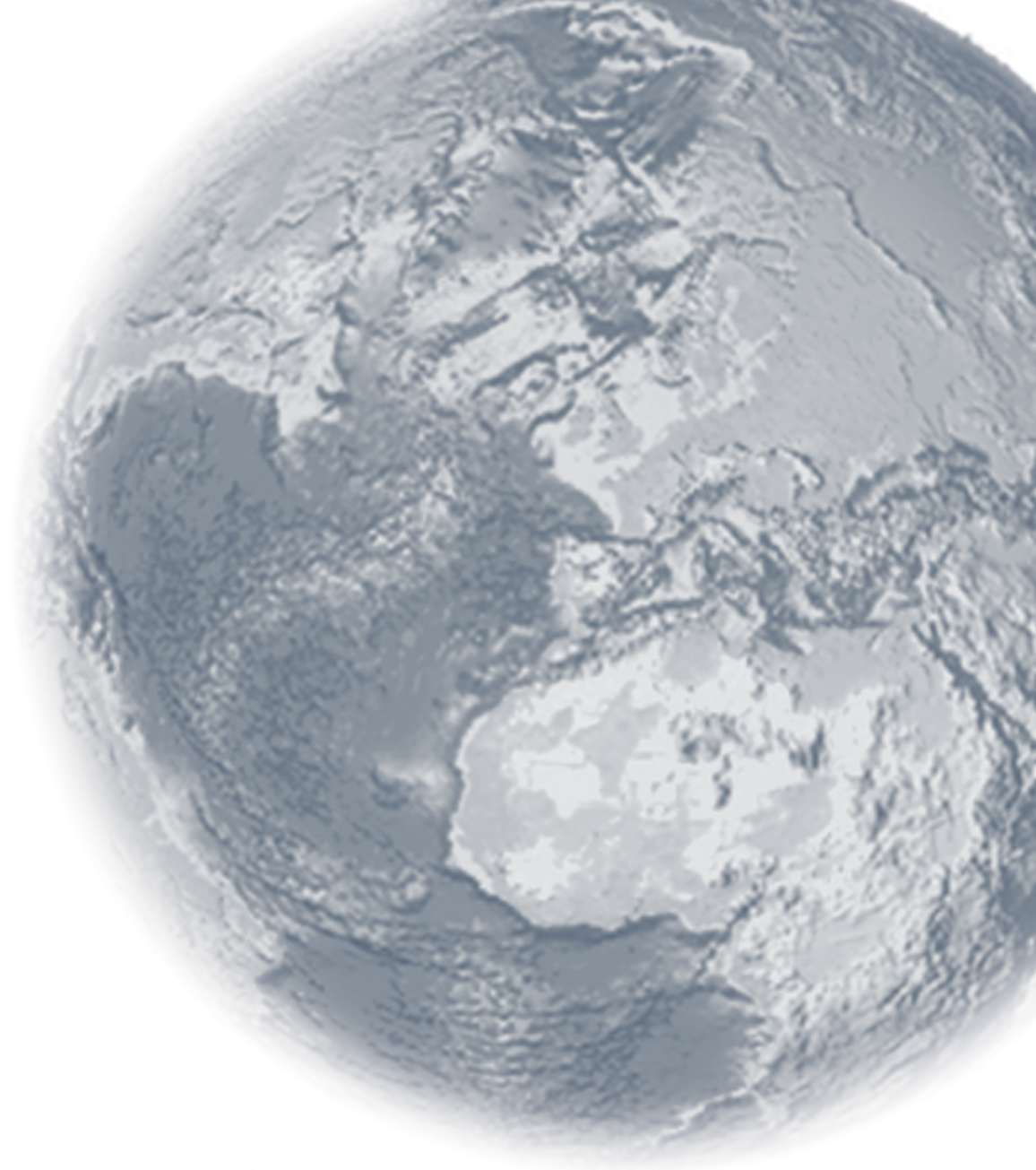


Monografie istituzionali INGV
Volume IX - appendice I, 2006

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia



Convenzione **DPC - INGV** 2004-2006

**Rendiconto dell'attività svolta nel
secondo semestre 2005**

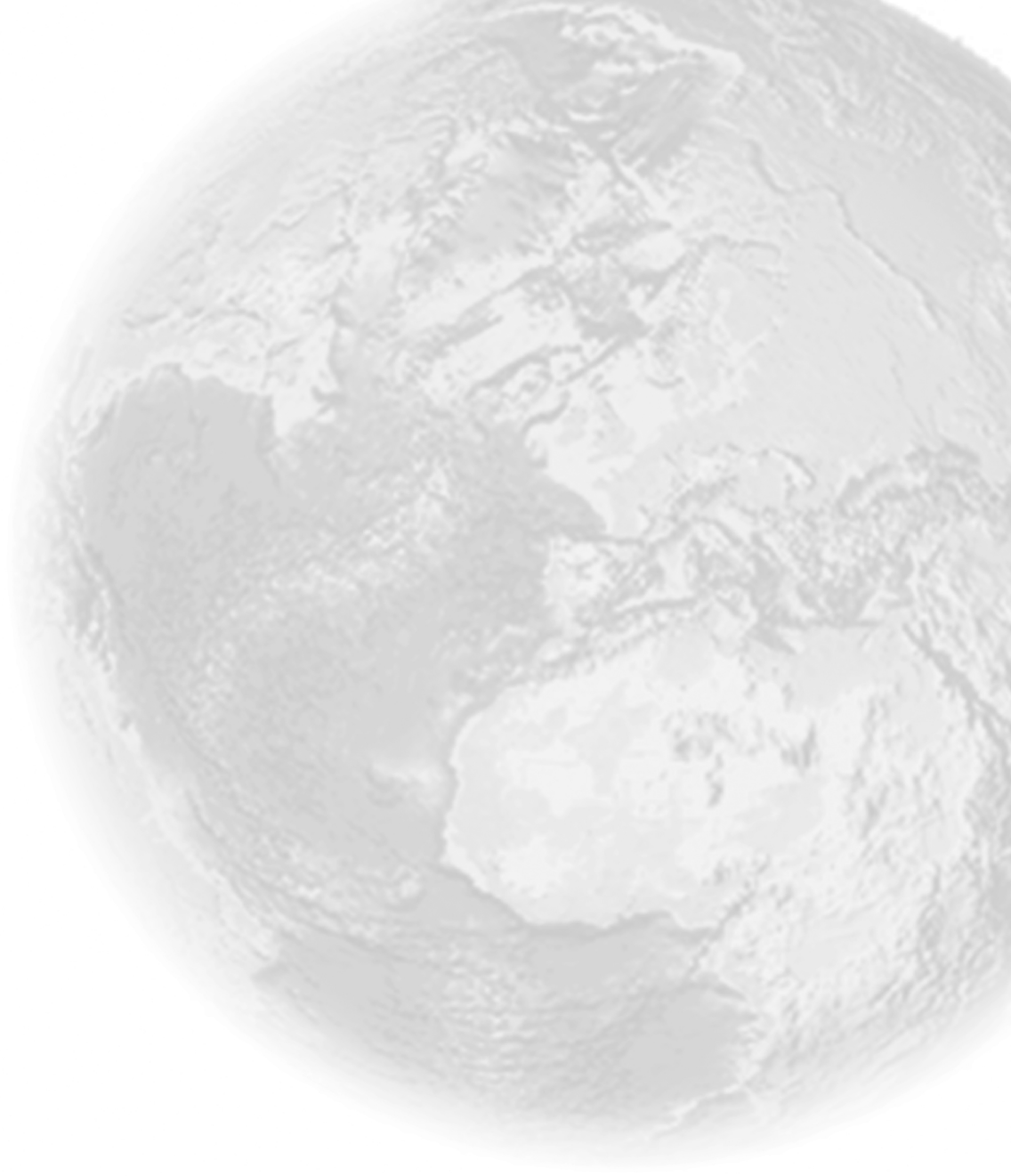
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma

tel 06518601 • fax 065041181

www.ingv.it





Convenzione DPC - INGV
2004-2006

**Rendiconto dell'attività svolta nel
secondo semestre 2005**



Direttore Responsabile:

Enzo Boschi

Coordinamento Editoriale:

Edoardo Del Pezzo, Antonio Meloni, Gianluca Valensise

Redazione Testi:

Giuseppe Di Capua

Progetto Grafico:

Laboratorio Grafica e Immagini - INGV Roma

Progetto Editoriale:

Francesca Di Stefano - Centro Editoriale Nazionale - INGV Roma

© 2006 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma

Tel. 06/518601 Fax 06/5041181

<http://www.ingv.it>

Sommario

DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE	5
VULCANI SICILIANI	7
INTRODUZIONE	7
MONITORAGGIO VULCANOLOGICO	9
MONITORAGGIO SISMICO	10
MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO	11
ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DEL MONITORAGGIO VULCANOLOGICO	13
ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DEL MONITORAGGIO SISMOLOGICO	14
ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DEL MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO	15
ATTIVITÀ DI OTTIMIZZAZIONE DELLA SALA OPERATIVA	16
SORVEGLIANZA SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE	17
INTRODUZIONE	17
SERVIZIO DI SORVEGLIANZA SISMICA	18
PRODUZIONE E AGGIORNAMENTO DEL BOLLETTINO SISMICO ITALIANO	23
LA MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DELLA RETE SISMICA NAZIONALE, DELLA RETE MEDNET E DELLE ALTRE RETI SISMICHE GESTITE DAL CNT	27
RETE CGPS ITALIA CENTRO NORD: STATO DI AVANZAMENTO E SVILUPPO	35
ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DELLE RETI DI MONITORAGGIO SISMICO E DELLA RETE GPS NAZIONALE	46
STAZIONI ACCELEROMETRICHE IN ITALIA SETTENTRIONALE	49
VULCANI DELL'AREA NAPOLETANA E DI STROMBOLI	55
MONITORAGGIO SISMICO	55
LIVELLAZIONI DI PRECISIONE AI CAMPI FLEGREI	92
RETE GPS PERMANENTE DELL'AREA VESUVIANA	98
RETE GPS PERMANENTE DELL'AREA FLEGREA	108
RETE GPS PERMANENTE DELL'AREA ISCHITANA E PROCIDANA	114
TILTMETRIA AL VESUVIO	120
TILTMETRIA AI CAMPI FLEGREI	123
RETE MAREOGRAFICA DEL VESUVIO	128
RETE MAREOGRAFICA AI CAMPI FLEGREI	132
IDROMETRIA AL VESUVIO	137

<i>MISURE DI INTERFEROMETRIA SAR NEL DISTRETTO VULCANICO</i>	
<i>NAPOLETANO</i>	138
<i>MISURE GRAVIMETRICHE AL VESUVIO</i>	143
<i>MISURE GRAVIMETRICHE AI CAMPI FLEGREI</i>	146
<i>GRAVIMETRIA DELL'ISOLA DI VULCANO</i>	149
<i>SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AL VESUVIO</i>	152
<i>SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AI CAMPI FLEGREI</i>	157
MONITORAGGIO GEOCHIMICO DEI VULCANI ATTIVI E QUIESCENTI ITALIANI	169
<i>PREMESSA</i>	169
<i>ETNA</i>	169
<i>VULCANO</i>	175
<i>STROMBOLI</i>	178
<i>VESUVIO</i>	180
<i>ISCHIA</i>	181
<i>PANTELLERIA</i>	182
<i>PANAREA</i>	182
<i>INNOVAZIONE TECNOLOGICA DEI LABORATORI INGV - SEZIONE DI</i>	
<i>PALERMO</i>	183
PROGETTI SISMOLOGICI E VULCANOLOGICI DI INTERESSE PER IL	
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE	187
RENDICONTAZIONE FINANZIARIA	197
INGV – Sezione di Catania	199
INGV – Centro Nazionale Terremoti	201
INGV – Osservatorio Vesuviano, Napoli	203
INGV – Sezione di Palermo	205
ALLEGATI	207
<i>ALL. 1</i>	
<i>ALL. 2</i>	
<i>ALL. 3</i>	
<i>ALL. 4</i>	

DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

VULCANI SICILIANI

(a cura dell'INGV - Sezione di Catania)

INTRODUZIONE

Le attività di monitoraggio dei vulcani attivi e quiescenti siciliani (Etna, isole Eolie con particolare riferimento a Vulcano e Stromboli, Pantelleria) si articolano nei settori geofisico e vulcanologico. In particolare, l'INGV-CT conduce il monitoraggio e lo studio dei vulcani attraverso sistemi osservativi multidisciplinari composti da reti permanenti di monitoraggio visivo (telecamere), sismico, geodetico e geofisico. Inoltre sono gestite le reti sismiche e geodetiche ubicate sulle maggiori aree sismogenetiche della Sicilia orientale (Peloritani - Stretto di Messina, Iblei - fascia Sicilia sud-orientale).

Viene mantenuta attiva H24 una Sala Operativa, con turnazioni e reperibilità scientifiche e tecniche di settore, per il controllo dei sistemi di monitoraggio e l'attivazione delle apposite procedure di allerta. Tutte le attività di monitoraggio sono corredate da diverse attività di sviluppo e implementazione tecnologico nonché da studi e ricerche avanzate nel campo della vulcanologia e geofisica.

Per quanto riguarda il settore del monitoraggio vulcanologico viene garantito il controllo dell'attività eruttiva dei vulcani Etna, Stromboli e Vulcano mediante il mantenimento del servizio di reperibilità vulcanologica (ricercatori) ed aiuto vulcanologo (tecnici e tecnologi). Il servizio di reperibilità vulcanologica comprende sull'Etna rilievi almeno settimanali e produzione di rapporti settimanali, comunicati giornalieri, e rilievi giornalieri o plurigiornalieri nel corso di eventi eruttivi. Il monitoraggio dell'attività eruttiva dello Stromboli viene effettuato anche tramite analisi semi-automatica delle immagini delle telecamere di Stromboli (sistema VAMOS) con produzione di rapporti settimanali pubblicati sulle pagine web. A questo si aggiunge il servizio di monitoraggio petrologico con campionatura ed analisi dei prodotti emessi dai vulcani Etna e Stromboli per l'interpretazione dei fenomeni eruttivi, con produzione di rapporti di dettaglio e pubblicazioni scientifiche. Etna, Stromboli e Vulcano vengono anche monitorati con mappature termiche periodicamente effettuate sia da terra che da elicottero. Per quanto riguarda i periodi inter-eruttivi o quelli caratterizzati da sola attività esplosiva, viene effettuato il monitoraggio delle ceneri emesse sia dall'Etna che dallo Stromboli con quantificazione dei componenti, analisi petrochimiche, definizione della morfoscopia ed interpretazioni utili alla definizione dei fenomeni in atto, e produzione di rapporti di supporto per il DPC poi anche pubblicati sul sito web dell'istituto. Le misure dei parametri sedimentologici vengono adesso velocizzate grazie all'impiego di uno strumento di misura innovativo (CAMSIZER) di recente acquisizione. Al monitoraggio vulcanologico contribuiscono anche le misure sui gas emessi dai crateri sommitali, dai suoli e dalle

strutture tettonicamente attive. Queste vengono effettuate attraverso campagne di misura periodiche con apparecchiature COSPEC e USB2000 per la misura del flusso di SO₂, FTIR per rilevare i rapporti tra specie gassose, sonde portatili per mappature di radon, CO₂ ed elio, e reti fisse (radon e CO₂ con due stazioni all'Etna, e UV-scanner su Stromboli (4 stazioni) ed Etna (5 stazioni) di recente installazione per la misura continua, durante le ore diurne, del flusso di SO₂.

Per quanto riguarda il settore del monitoraggio sismologico le attività di monitoraggio e sorveglianza coprono la sistematica e regolare acquisizione, pre-elaborazione e analisi dei dati provenienti dal sistema di rilevamento sismico disposto sui vulcani attivi siciliani e sulle aree tettoniche della Sicilia Nord-Orientale, Calabria Meridionale e degli Iblei. Inoltre viene garantito il controllo dell'attività sismica delle aree tettoniche e di quelle vulcaniche attive della Sicilia Orientale mediante il mantenimento di un servizio di reperibilità sismologica (ricercatori) e di reperibilità tecnica e informatica (tecnici e tecnologi), e con la partecipazione del personale afferente ai turni H24 nella sala di sorveglianza dell'istituto. Il servizio di reperibilità sismologica comprende la produzione di rapporti settimanali e di comunicati giornalieri nel caso in cui si verificano eventi sismici significativi. A questo si aggiungono le attività del gruppo Macrosismico nel caso di eventi particolarmente energetici, fortemente avvertiti o oltre la soglia del danno.

L'elevata densità di stazioni sismiche presenti in Sicilia Orientale (62 sono i siti di rilevamento della Rete Sismica Permanente) permette oggi di disporre di un accurato controllo della sismicità anche di bassa magnitudo nelle aree monitorate. Il confronto con il sistema di rilevamento sismico nazionale (Rete Sismica Nazionale Centralizzata, RSNC gestita da INGV - Centro Nazionale Terremoti) conferma che l'elevata capacità di detezione degli eventi sismici da parte di una densa rete, permette di ottimizzare le attività di sorveglianza, monitoraggio e ricerca in questa parte dell'Italia a maggior rischio sismico e vulcanico. In sintesi i dispositivi di misura gestiti dall'INGV -CT possono essere raggruppati in due tipologie:

Rete Sismica Permanente (RSP): rappresenta il dispositivo di misura continuo costituito da 62 stazioni distribuite in tutta la Sicilia orientale con acquisizione e trasmissione automatica dei dati presso il Centro di Acquisizione Unificato Dati (CUAD) e presso la Sala Operativa di Catania.

Nel complesso la RSP copre 4 grandi aree:

- Area Etna
- Area Eoliana
- Area Calabro –Peloritana
- Area Iblea

Per ogni area è impiegata sia strumentazione digitale di nuova generazione in trasmissione numerica e satellitare sia strumentazione analogica ereditata dagli enti confluiti nell'INGV. Nel complesso sono operanti nelle varie aree 26 stazioni digitali 3-Componenti tra le quali 24 a larga-banda e 2 corto periodo, e 36 analogiche corto periodo di cui 15 a 3-C. Delle stazioni digitali attualmente operanti attualmente, 14 sono state installate nel periodo cui il presente rapporto si riferisce.

Rete Sismica Mobile (RSM): rappresenta il dispositivo di misura temporaneo utilizzato all'occorrenza per integrare le strumentazioni della RSP o per condurre esperimenti e campagne anche al di fuori delle aree di competenza monitorate dalla Sezione di Catania. Il monitoraggio delle deformazioni del suolo è assicurato mediante appropriati dispositivi di misura continui e discreti.

I dispositivi di misura continui sono: le reti clinometriche permanenti dell'Etna (10 stazioni), delle Eolie (Vulcano e Stromboli, 9 stazioni), di Pantelleria (3 stazioni) e degli Iblei; le reti di stazioni GPS permanenti dell'Etna (13 stazioni), delle Eolie (Vulcano, Lipari e Stromboli, 8 stazioni), di Pantelleria (3 stazioni) e dei Peoloritani; la rete estensimetrica dell'Etna; la stazione integrata clinometrica ed estensimetrica dell'osservatorio di Pizzi Deneri.

I dispositivi di misura discreti (cioè misurati con cadenza periodica) sono: le reti di trilaterazione EDM dell'Etna, delle Eolie (Vulcano e Lipari), degli Iblei e di Pantelleria; le reti geodetiche GPS dell'Etna, delle Eolie (Vulcano e Lipari), degli Iblei, dei Peloritani e di Pantelleria.

Un contributo geofisico al monitoraggio dello stato dei vulcani è poi anche fornito dalla rete di stazioni gravimetriche permanenti dell'Etna e dalla la rete di stazioni magnetiche permanenti dell'Etna e di Stromboli, che all'Etna sono anche integrate da misure periodiche gravimetriche e magnetiche.

MONITORAGGIO VULCANOLOGICO

La ridotta attività eruttiva ha consentito l'analisi dei dati raccolti nel corso delle ultime eruzioni effusive, sia dell'Etna che dello Stromboli. In particolare, lo studio delle immagini termiche dello Stromboli ha consentito di dettagliare i processi che hanno causato l'attività effusiva, la formazione dei campi lavici, ed in seguito l'interruzione dell'effusione lavica e la ripresa dell'attività esplosiva.

Nel secondo semestre del 2005 è stato acquisito uno strumento innovativo per la misura dei parametri sedimentologici (CAMSizer). Questo strumento è stato testato in laboratorio sui prodotti dell'attività esplosiva, e verrà messo in funzione per il monitoraggio di routine nei primi mesi del 2006. Al monitoraggio vulcanologico contribuiscono anche le

misure sui gas emessi dai crateri sommitali, dai suoli e dalle strutture tettonicamente attive. Queste vengono effettuate attraverso campagne di misura periodiche con apparecchiature COSPEC e USB2000 per la misura del flusso di SO₂, FTIR per rilevare i rapporti tra specie gassose, sonde portatili per mappature di radon, CO₂ ed elio, e reti fisse (radon e CO₂ con due stazioni all'Etna, e UV-scanner su Stromboli (4 stazioni) ed Etna (5 stazioni) di recente installazione per la misura continua, durante le ore diurne, del flusso di SO₂. Inoltre, grazie all'acquisto di una nuova telecamera termica portatile, è stato effettuato un esperimento sul campo fumarolico dell'isola di Vulcano nel corso del quale sono state confrontate diverse strumentazioni ed è stata individuata una metodologia per il controllo del rilascio di energia termica all'isola di Vulcano. Questi rilievi sono propedeutici per la futura installazione di una telecamera termica fissa sul bordo del cratere.

Durante il secondo semestre del 2005 sono stati prodotti oltre 75 rapporti informativi, alcuni con cadenza settimanale (rapporti di reperibilità vulcanologica all'Etna e rapporti sullo stato di attività di Stromboli valutato dalle immagini delle telecamere fisse), pubblicati anche sulla pagina web dell'istituto. A questi rapporti interni si aggiungono alcuni comunicati giornalieri inviati alla protezione civile nazionale e pubblicati anch'essi sulla pagina web dell'Istituto in occasione degli eventi di scarsa emissione di cenere che hanno interessato l'Etna alla fine dell'anno.

MONITORAGGIO SISMICO

Nel secondo semestre del 2005 è continuata l'attività di monitoraggio e sorveglianza attraverso la normale gestione, manutenzione ed ottimizzazione (laddove ritenuto necessario) dei sistemi osservativi sismici nonché garantite le normali attività di manutenzione e reperibilità.

Il Laboratorio Elettronico di Sismologia, il Laboratorio Informatico di Sismologia, il Laboratorio di Analisi e Sorveglianza, il Laboratorio Rete Mobile di pronto intervento e il Task di Pronto Intervento Macrosismico, hanno normalmente condotto le loro attività (si veda il paragrafo 2. per maggiori dettagli sulle tipologie di attività). All'Etna si è proceduto alla ristrutturazione di una vecchia stazione e alla realizzazione di un nuovo sito nel versante meridionale; ambedue le stazioni sono state dotate di nuova strumentazione digitale e una di questa di trasmissione satellitare.

- Installazione stazione sismica analogica 3-C 40s di Serra La Nave (ESLN).
- Installazione stazione sismica analogica 3-C 40 s di Punta Lucia (EPLC).

Inoltre, sempre in collaborazione con l'UF Sala Operativa, si è proseguito nello sviluppo di software proprietario relativo alle necessità di visualizzazione dei dati sismici in Sala Operativa e alle analisi automatiche (ottimizzazione dei sistemi di localizzazione in automatico e calcolo automatico della Magnitudo WA equivalente). E' stato notevolmente migliorato il sistema di visualizzazione dei dati attraverso lo sviluppo di software interattivo con il personale turnista per l'immediato calcolo dei dati relativi ad un evento sismico. Relativamente alla banca dati, è in fase avanzata il progetto di una banca dati multiparametrica per tutti i dati acquisiti dai diversi sistemi di monitoraggio/sorveglianza. Sono proseguite, infine, quelle attività di ricerca del gruppo di sismologia finalizzate ad ottimizzare le attività di sorveglianza, attraverso gli studi sui precursori di terremoti ed eruzioni per le aree Tettoniche e Vulcaniche della Sicilia Orientale.

MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

Nell'ambito delle attività di monitoraggio geodetico, le principali attività di monitoraggio condotte nel corso del secondo semestre 2005, sono le seguenti:

1. Esecuzione di campagne geodetiche discrete nelle aree dell'Etna, dell'Arcipelago Eoliano e degli Iblei. Complessivamente sono state effettuate oltre 80 giornate di misure GPS ed EDM, su oltre 100 capisaldi.
 - a) All'Etna, a luglio, si è ultimato il rilevamento dell'intera rete di monitoraggio GPS costituita dai circa 70 capisaldi del vulcano già misurati nel 2004. A questi, ne sono stati aggiunti altri dieci, installati nel medio versante meridionale, il cui ruolo è di fornire informazioni sul pattern deformativo dell'area ricoperta dalla rete EDM Etna-Sud misurata per l'ultima volta nel maggio 2005. Questo passo rappresenta uno dei primi di ristrutturazione e riconfigurazione delle reti geodetiche su questo vulcano. I dati GPS acquisiti sono stati elaborati ed hanno fornito i vettori spostamento delle stazioni, che evidenziano, nel periodo luglio 2004 – luglio 2005, una significativa "deflazione" dell'edificio vulcanico associata ad una marcata dinamica del fianco E. Ad ottobre è stata ripetuta la misura della rete EDM sul versante occidentale e quella delle due reti GPS locali della Faglia della Pernicana.
 - b) Sull'isola di Vulcano, a novembre, si è proceduto alla misura congiunta della rete GPS denominata di Vulcano-Nord (25 capisaldi) contestualmente alla rete della Forgia (13 capisaldi), la quale è stata misurata sia con tecniche di distanziometria (EDM) sia di triango-laterazione, basate sull'uso delle Stazioni Totali. Quest'attività è stata svolta di concerto con altre Sezioni dell'INGV coinvolte nel monitoraggio dell'Isola di Vulcano a seguito della segnalazione dell'incremento anomalo dei flussi

gassosi e di temperatura segnalati dalla Sezione di Palermo nel corso del periodo autunnale, ma non ha evidenziato deformazioni significative.

- c) A Stromboli si è proceduto alla manutenzione ordinaria del sistema THEODOROS, per il monitoraggio dei movimenti della Sciara del Fuoco; in tale ambito sono stati svolti diversi interventi, richiesti anche a seguito di problemi infrastrutturali verificatisi nel sito (mancanza di alimentazione elettrica, disturbi sui segnali radio, ecc.) che ne hanno penalizzato l'efficienza. Tra le attività svolte vi è stata anche la manutenzione ordinaria della Stazione Totale, attuata nell'ambito del contratto di assistenza con la ditta produttrice, che ha visto la re-istallazione del sensore a metà novembre.
- d) Sugli Iblei, in occasione dell'esercitazione di Protezione Civile "Eurosot" il 14 e 15 Ottobre, sono state misurate su gran parte (15) dei capisaldi GPS misurati durante le precedenti campagne del 1998 e 2000. Alla fine dell'anno è stato avviato anche per questa rete un processo di ristrutturazione, con l'individuazione di siti più idonei all'istallazione di capisaldi per una più agevole e meno onerosa esecuzione delle misure. I dati di ottobre sono stati elaborati con l'inserimento anche di alcune stazioni del sistema ITRF e andranno integrati con le misure sulle rimanenti stazioni, che saranno eseguite nei primi mesi del 2006.

2. Manutenzione ordinaria e straordinaria dei sistemi osservativi clinometrici ed estensimetrici. Oltre a quelle di normale manutenzione, si segnalano alcune attività che hanno significativamente migliorato i sistemi osservativi attualmente in funzione

- a) Installazione della stazione clinometrica di Monte Denza (MDZ) all'Etna. Quest'attività svolta a settembre-ottobre ha comportato non solo l'installazione del sensore, in un foro già realizzato a luglio, a profondità maggiore rispetto quella della stazione già esistente nelle adiacenze (8-10 m contro i precedenti 2-3 m), ma anche la realizzazione ed installazione di un nuovo sistema di acquisizione-trasmissione. Il posizionamento del sensore a maggiore profondità ridurrà sensibilmente il disturbo termoealstico sul segnale.
- b) A novembre è stato sostituito il sensore della stazione clinometrica di Monte Nero, su fianco nord-orientale dell'Etna. Questa attività ha comportato il riposizionamento in foro di un nuovo sensore, per sostituire il precedente guastatosi nel corso dell'anno, e la revisione completa del sistema di acquisizione e trasmissione.
- c) Ad ottobre-novembre si è proceduto alla ristrutturazione del sistema di acquisizione-trasmissione della stazione ad alta risoluzione di Pizzi Deneri (PDN) posizionata presso l'omonimo osservatorio vulcanologico all'Etna (quota 2800). Quest'attività ha

reso più affidabile la trasmissione dei dati che adesso sono acquisiti via radio alle Eolie e trasmessi via internet a Catania.

d) A novembre - dicembre si è interamente progettato e costruito un nuovo sistema di acquisizione alla stazione clinometrica SRC3 "Pedagaggi" (rete Iblei). Questo nuovo sistema permette adesso anche la trasmissione dati che prima avveniva in locale.

3. Manutenzione ordinaria e straordinaria dei sistemi osservativi di reti GPS permanenti.

a) Tra luglio e settembre è stata ultimata la manutenzione straordinaria alle stazioni del versante occidentale dell'Etna che è stata finalizzata alla realizzazione dei nuovi sistemi di alimentazione ed alla installazione dei nuovi ricevitori. Tra agosto ed ottobre si è svolta un'attività di manutenzione ordinaria alle stazioni dell'area sommitale Etna che ha portato a modifiche al sistema di trasmissione dati (raddoppio del link radio) ed al miglioramento della capacità di acquisizione delle stazioni.

b) A novembre si è svolta un'intensa attività di manutenzione straordinaria a Stromboli che ha portato alla installazione di un nuovo ricevitore GPS a Punta Labronzo, alla sostituzione di quello della stazione del Centro Operativo GNV (Stromboli) ed all'inserimento di questa stazione nel processamento dati in tempo reale presso il COA di Stromboli.

c) Tra luglio e settembre le stazioni di Vulcanello e Campo Sportivo (Vulcano) sono state potenziate per realizzare un sistema di acquisizione dati in tempo reale via rete Wireless.

d) Ad ottobre si è intervenuto alla stazione di Zinedi (Pantelleria), per l'installazione di un nuovo ricevitore e la realizzazione delle infrastrutture hardware per la trasmissione GSM dei dati.

ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DEL MONITORAGGIO VULCANOLOGICO

Per quanto riguarda il monitoraggio della cenere, nel secondo semestre 2005 si è provveduto a testare in laboratorio il CAMSIZER di nuova acquisizione, ed a confrontare i risultati di analisi delle granulometrie effettuate con questa tecnica e quella manuale dei setacci. Le due tecniche hanno dato parametri statistici confrontabili, e lo strumento di nuova acquisizione si è rivelato ovviamente di alta qualità in quanto permette anche una descrizione morfologica dei granuli ed una più continua curva granulometrica a causa dell'elevato numero di classi granulometriche misurate rispetto ai metodi tradizionali.

Per quanto riguarda il monitoraggio dei gas emessi dal suolo, nel secondo semestre 2005 sono state installate le sonde radon con associati sensori di temperatura acquistate per l'Etna, una in zona Torre del Filosofo ed un'altra lungo la faglia della Pernicana, con registrazione in continuo dei dati su un datalogger scaricabile periodicamente. I dati registrati hanno mostrato variazioni importanti che sono adesso sottoposte ad attente analisi in congiunzione con altri parametri geofisici. E' stato inoltre acquisito uno spettrofotometro portatile all'infrarosso per la misura del flusso di CO₂ dai suoli, il cui funzionamento è già stato verificato in laboratorio e con il quale si stanno eseguendo le prime campagne dirette di terreno nella zona delle salinelle di Paternò. Queste misure hanno permesso di seguire con dettaglio la fase parossistica di emissioni gassose verificatesi a partire dal 6 dicembre 2005.

Per quanto riguarda la misura pressoché continua (durante le ore diurne) del flusso di SO₂ dai crateri sommitali del vulcano, dopo l'installazione all'Etna della prima rete di 5 stazioni UV-scanner con trasmissione dati via modem, è stato completato e messo a punto il software di analisi e trasmissione dei dati in tempo reale, che vengono adesso acquisiti con una frequenza di 5 minuti.

Con la nuova telecamera termica FLIR portatile per il monitoraggio termico da terreno ed elicottero, il termoigrometro digitale per la correzione dei parametri atmosferici e l'annesso GPS, sono stati condotti esperimenti di monitoraggio delle fumarole sul cratere di Vulcano insieme ad altri ricercatori della sezione di Palermo, ed è stato messo a punto un sistema di correzione della distanza tramite sensore GPS opportunamente collegato allo strumento. Non è invece purtroppo ancora stata installata la telecamera termica fissa sull'orlo del cratere di Vulcano, con la quale monitorare in continuo il rilascio di energia termica, in quanto non è stato disponibile l'elicottero della protezione civile indispensabile per portare sul cratere tutta la strumentazione.

ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DEL MONITORAGGIO SISMOLOGICO

Nel corso del secondo semestre 2005 si è proseguito nello sviluppo/potenziamento dei sistemi sismici attraverso l'installazione di strumentazione digitale ad elevata dinamica e sensoristica a larga-banda (broad-band, BB). Sono inoltre continuate le attività in collaborazione con il gruppo geodetico "Rete GPS permanente" e con l'INGV-CNT al fine di poter utilizzare il sistema Nanometrics e in particolare la parte di trasmissione satellitare come vettore trasmissivo anche per i segnali GPS in continuo.

Diverse attività sono state inoltre condotte dal Gruppo Informatico dell'UFS per adeguare e potenziare il sistema di acquisizione dati, e dal Gruppo rete analogica per migliorare i collegamenti e le vecchie installazioni.

Installazioni e attività effettuate nel secondo semestre 2005

- Acquisizione di segnali sismici su Earthworm

Installazione delle seguenti stazioni sismiche digitali 3-C BB in ordine cronologico, per un totale di 2 stazioni nell'area etnea:

N°	Stazione	Località	trasmissione	Area di appartenenza
1	ESLN	Serra la nave	SAT	ETNEA
2	EPLC	Punta Lucia	UHF	ETNEA

Inoltre si è proceduto:

- all'installazione del sito satellitare di Castelmola;
- alla condivisione con l'INGV-CNT attraverso collegamento satellitare della stazione di ESLN;
- alla realizzazione degli impianti di messa a terra per protezione dalle scariche elettriche atmosferiche nei siti di Monte Lauro ,EMFS,EPLC,EBEL,ECPN
- all'ottimizzazione flussi radio analogici attraverso i ripetitori di Monte Pomiciaro, Monte Soro, Monte Vetore, Graniti, in seguito alle nuove installazioni. Presso gli stessi siti modifiche ai sistemi di alimentazione e ai collegamenti fra gli apparati radio;
- all'installazione di ricevitori GPS Leica 1200 presso i seguenti siti, per un totale di 2 nell'area etnea:

N°	Stazione	Località	Area di appartenenza	Sample rate (sec)
1	ESLN	Serra la nave	ETNEA	1
2	EMFS	Monte frumento supino	ETNEA	30

ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DEL MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

Le attività di potenziamento dei dispositivi di monitoraggio geodetico delle aree vulcaniche e sulle principali aree sismogenetiche siciliane hanno riguardato i seguenti temi: realizzazione della rete GPS permanente italiana, potenziamento sul settore orientale dell'Etna e realizzazione di una rete mobile GPS.

Le principali attività relative alla rete GPS Nazionale, sono state le seguenti:

- il potenziamento della rete di monitoraggio delle aree simiche attive della Sicilia Orientale per mezzo dell'installazione di 4 nuove stazioni permanenti (Modica, Vizzini, Milazzo, Castanea delle Furie);
- il potenziamento del sistema di acquisizione della rete in tempo reale per mezzo dell'acquisto del nuovo software RTD 3.0 con licenza fino a 18 siti.

Le principali attività sul versante orientale etneo sono state le seguenti:

- al fine di migliorare l'efficienza del sistema di monitoraggio in tempo reale sul fianco orientale, ad ottobre si è intervenuto sul sistema di alimentazione della stazione GPS permanente di Monte Fontane (Etna) per potenziarlo adeguatamente; contestualmente è stato sostituito il ricevitore per adeguarlo alle esigenze del monitoraggio in tempo reale.

ATTIVITÀ DI OTTIMIZZAZIONE DELLA SALA OPERATIVA

Si sta effettuando la fase di test per la realizzazione di una stazione video mobile (visibile e/o infrarosso) di piccole dimensioni e a basso consumo in grado di essere trasportata facilmente in siti disagiati e in grado di archiviare in locale le informazioni e di trasmetterle mediante sistemi wireless. Allo scopo sono state già effettuate prove sul campo e con diversa tipologia di sensori e nel frattempo si stanno individuando nuovi siti pivot per l'eventuale posizionamento delle stesse.

E' già in fase di test sia presso il COA a Stromboli che sulle immagini di Nicolosi un nuovo sistema automatico ("New Saraterm") che permetterà l'allertamento in real time (mediante allarmi sonori, e-mail ed sms) in caso di anomalie termiche rilevate dai sensori installati sull'Etna o a Stromboli. Il sistema permette inoltre l'archiviazione dei frame di interesse e la relativa mappatura temporale degli andamenti delle temperature rilevate. Saranno ultimati i test sui nuovi video wall per la visione dei segnali sismici e dei nuovi sistemi di allarme. Sono stati potenziati tutti i sistemi di rete presso le diverse sedi a partire dalla realizzazione di una nuova rete di server sui siti più importanti. Sono stati upgradati gli apparati di comunicazione con un serio aumento delle prestazioni della rete informatica presente presso le sedi gestite ed è in fase di realizzazione una nuova tratta wireless di back up tra le sedi di Catania. Sono stati proposti nuovi sistemi di calcolo parallelo in vista delle attività dei prossimi anni (Grid computing). Si sta inoltre implementando una nuova struttura hardware e software del sistema Vamos che possa essere utilizzata anche da sistemi di calcolo parallelo.

SORVEGLIANZA SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE

(a cura dell'INGV - Centro Nazionale Terremoti)

INTRODUZIONE

Nel corso del secondo semestre del 2005 le attività dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (nel seguito INGV) per il monitoraggio sismico del territorio nazionale sono state proseguite secondo le modalità consuete. Le procedure in uso per il servizio di sorveglianza sono state descritte in dettaglio nelle relazioni degli anni precedenti e non verranno quindi ripetute. Sono stati fatti ulteriori progressi nel sistema di monitoraggio del territorio italiano. E' proseguito l'ampliamento e il miglioramento delle reti sismiche operanti sul territorio italiano, gestite dal Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'INGV, e di conseguenza è ulteriormente aumentata l'affidabilità e la rapidità del sistema di allerta.

Le attività in cui è stato impegnato il personale del CNT durante il secondo semestre del 2005, previste dalla convenzione triennale con il Dipartimento, riguardano principalmente quattro tematiche:

1. Il servizio di sorveglianza sismica su tutto il territorio nazionale, ivi comprese le attività di acquisizione e archiviazione dei dati registrati dalla Rete Sismica Nazionale e dalle reti collegate.
2. Il bollettino sismico, ossia le attività legate all'interpretazione e alla distribuzione dei dati della Rete Sismica Nazionale (RSN).
3. La manutenzione ordinaria e straordinaria della Rete Sismica Nazionale, della Rete MedNet e delle altre reti sismiche gestite dal CNT-INGV.
4. Lo sviluppo e la gestione della rete GPS nazionale.

Sono stati apportati numerosi miglioramenti delle procedure per la sorveglianza sismica. Nel secondo semestre del 2005 sono state messe a regime le procedure per la comunicazione delle informazioni sui terremoti alla Sala Operativa del Dipartimento, che verranno descritte nel seguito.

Il passaggio alla nuova procedura ha comportato un impegno maggiore del personale in turno presso la Sala Sismica dell'INGV a Roma.

La nuova procedura di analisi dei dati sismici per la produzione dei bollettini periodici, introdotta nell'aprile 2005, ha comportato un notevole lavoro da parte del personale deputato a questi compiti (si veda nel seguito).

Il mantenimento e lo sviluppo delle reti sismiche e GPS del periodo in questione verrà descritto in questo rapporto, mentre gli investimenti effettuati sono descritti nel rapporto delle spese sostenute.

SERVIZIO DI SORVEGLIANZA SISMICA

Nel corso del secondo semestre del 2005 il servizio di sorveglianza sismica è stato ancora espletato con squadre di ricercatori, tecnologi e tecnici in servizio H24, con squadre composte da 3 unità di personale di differente qualifica.

E' stata posta grande attenzione alle nuove modalità di comunicazione dei terremoti al Dipartimento della Protezione Civile, secondo le modalità riportate sotto. Tali modalità, come già descritto nel rapporto del I semestre 2005, richiedono un maggiore impegno del personale sia per i terremoti in Italia che per quelli che avvengono nel resto del mondo, in particolare nell'area mediterranea.

Per quanto riguarda la sismicità italiana, la procedura di comunicazione prevede attualmente:

1. una prima informazione al DPC (mediante telefonata sulla linea dedicata) entro due minuti dall'evento, con le prime informazioni disponibili
2. una seconda telefonata entro 5 minuti dall'evento sismico, con i dati preliminari di localizzazione, magnitudo e aree colpite
3. una terza comunicazione entro 30 minuti via telefono, posta elettronica (o fax) con i dati ricontrollati e definitivi, dopo esame dei sismogrammi, rilocalizzazione dell'evento e calcolo della magnitudo.

Va rilevato che, rispetto al protocollo concordato tra INGV e DPC, l'oggetto della prima comunicazione (entro 2 minuti) è molto spesso già più esaustivo del previsto. Invece di dare soltanto una generica indicazione della regione colpita e dell'energia dell'evento, i turnisti INGV forniscono spesso una localizzazione precisa e una magnitudo calcolata, anche se questi valori sono talvolta soggetti a revisione (modesta in genere) nei minuti successivi. Nel corso del 2005 è stato inoltre attivato un servizio di invio automatico delle informazioni relative ai terremoti, attraverso SMS su cellulare, a funzionari del DPC-SSN, per tutti gli eventi localizzati con magnitudo superiore a 3.2. Questi SMS giungono a destinazione generalmente entro 3-4 minuti dal tempo origine del terremoto. Successivamente alla rilocalizzazione del terremoto (dopo il punto 3 della lista sopra) viene spedito un secondo SMS con i dati rivisti e la localizzazione definitiva. Il valore di magnitudo fornito attualmente è quello relativo alla magnitudo locale (o Richter) che viene determinata sui sismogrammi digitali sulla base della massima ampiezza delle onde sismiche in un determinato periodo (MI). Precedentemente veniva usata la cosiddetta magnitudo-durata (Md). Questo passaggio, finalmente possibile grazie al miglioramento della Rete Sismica Nazionale avvenuto negli ultimi anni, ha garantito delle stime affidabili anche per terremoti più forti (sopra magnitudo 4) per i quali i valori della Md erano spesso

sottostimati. L'adeguamento del servizio di sorveglianza sismica a questi nuovi standard ha comportato un notevole impegno per il personale: è proseguito il continuo e lento "training" sul campo (la Sala Sismica). Si ricorda che il personale che si alterna in turno è di circa 90 unità. Per agevolare l'operato dei turnisti in questo nuovo contesto, la procedura per la visualizzazione dei dati in uso nella Sala Sismica (SisMap) è stata perfezionata ulteriormente, come già in parte descritto nella relazione del I semestre 2005. A titolo di esempio, nella figura 1 viene visualizzata una schermata con la mappa epicentrale e le stazioni attivate per un terremoto in Sicilia sud-orientale (finestra dietro). La parte davanti della figura mostra la nuova finestra realizzata appositamente per la comunicazione al DPC: vengono sintetizzate le informazioni di base necessarie per il comunicato: tempo origine del terremoto, regione, latitudine e longitudine, profondità, magnitudo, qualità della localizzazione. Quest'ultimo parametro è molto importante in quanto di avere una prima stima rapida della accuratezza del calcolo ipocentrale, utile quindi per prevedere se la prima stima possa essere rivista significativamente o meno. La finestra di sinistra è una mappa GIS semplificata (zoomabile e modificabile interattivamente) che riporta i limiti amministrativi (in questo caso i limiti comunali), anche questi utili per le comunicazioni al Dipartimento della Protezione Civile.

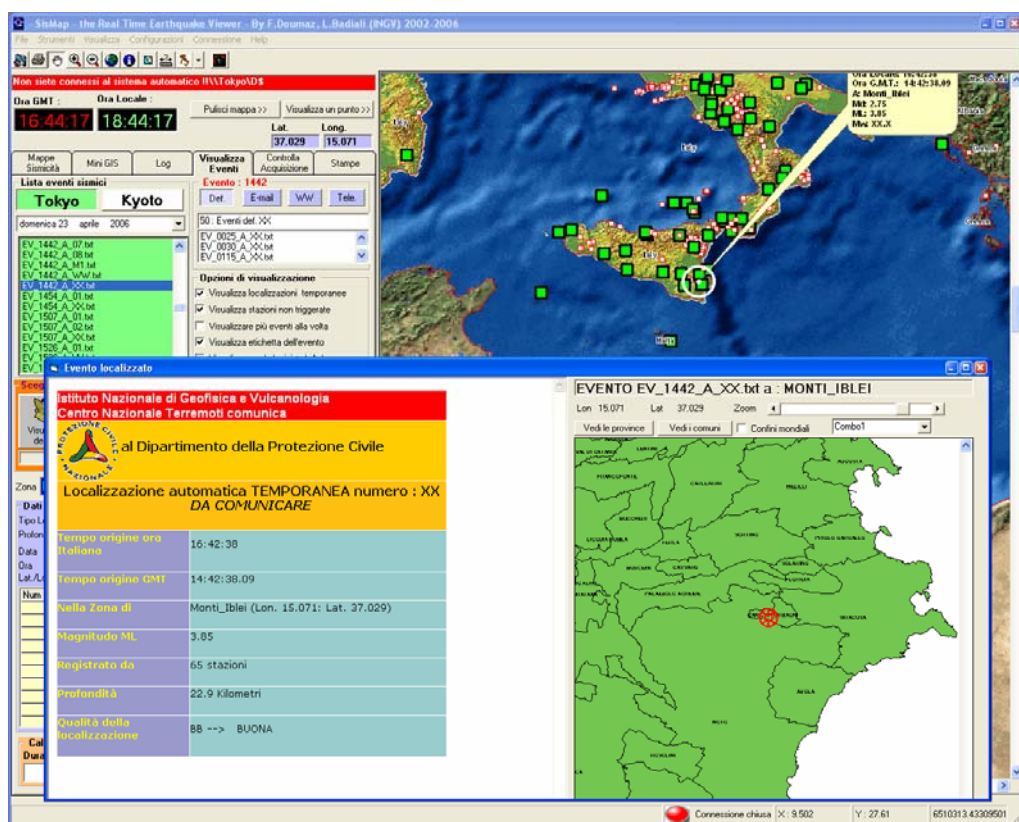


Figura 1 - Schermate dal programma SisMap con lo sviluppo dedicato alla nuova procedura di comunicazione dei dati sui terremoti al Dipartimento (si veda il testo per i dettagli).

Le attività collegate al Servizio di Sorveglianza Sismica, oltre alla diffusione delle informazioni e alla gestione della Banca Dati, hanno riguardato principalmente lo sviluppo di strumenti di analisi, di visualizzazione e di controllo che costituiscono l'interfaccia tra l'operatore e i moduli del nuovo sistema di acquisizione. In questo ambito, sono state ulteriormente migliorate le seguenti applicazioni, disponibili già dal 2002-2003: SisMap (visualizzazione in tempo reale degli epicentri e dei risultati dell'elaborazione), SisPick! (visualizzazione e analisi di registrazioni sismiche), Locator (strumento di revisione della localizzazione per effettuare una nuova localizzazione dopo la revisione dei dati). Inoltre, è proseguito lo sviluppo di un'applicazione web per il controllo da remoto dei processi di acquisizione; in particolare, mediante questa applicazione, il turnista può controllare lo stato della rete e dell'acquisizione dati, i "triggers" dei canali acquisiti, nonché inviare comandi ai processi in esecuzione.

Tabella 1 - Comunicazione di eventi sismici nel 2005 e raffronto con il 2004

	Comunicati 2005	Totali 2005	Comunicati 2004	Totali 2004
Totali	544	4660	347	4378
Localizzati	541	4577	346	4024
Fuori Rete	99	693	18	353
Non Localizzati	3	83	1	354

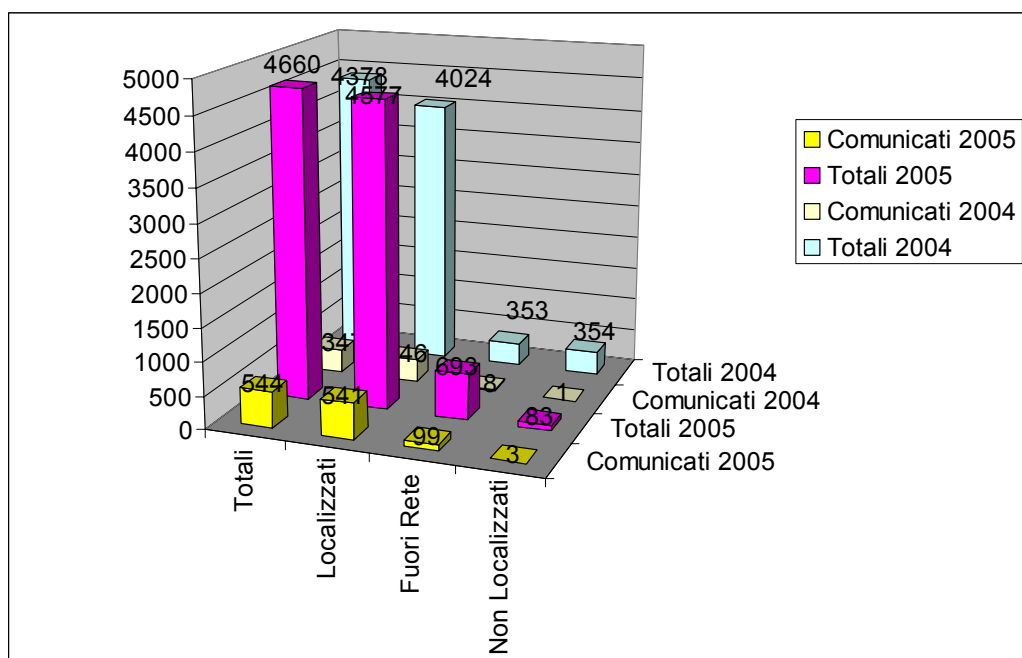


Figura 2 - Numero dei terremoti localizzati e comunicati al DPC nel corso del 2005 e confronto con il 2004.

Nell'anno 2005 sono stati riconosciuti dagli operatori di sorveglianza INGV 4660 terremoti in totale; di questi, 544 sono stati comunicati al Dipartimento di Protezione Civile, seguendo il criterio che prevede di comunicare un evento sismico se ha una magnitudo superiore a 2.5 circa, o se comunque può essere risentito dalla popolazione (per il dettaglio si veda fig. 2). Il numero degli eventi comunicati nel 2005 è nettamente superiore a quello del 2004 (544 contro 347). Anche il numero totale degli eventi localizzati (comprendente quindi la microsismicità) è superiore (4577 contro 4024). Si nota inoltre anche un aumento sensibile degli eventi fuori rete comunicati (99 contro 18), a causa della maggiore attenzione richiesta per i terremoti che avvengono nell'area mediterranea e nel resto del mondo.

In figura 3 si può vedere il dettaglio dei terremoti comunicati raggruppati per magnitudo.

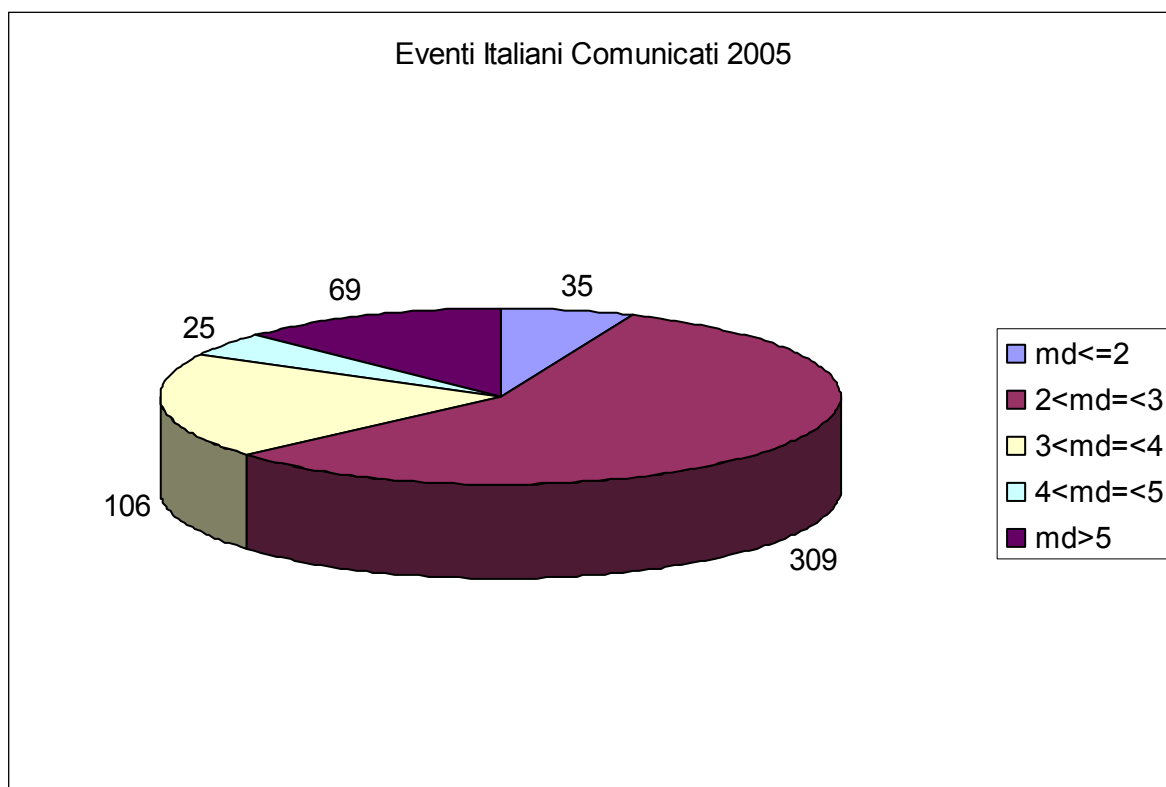


Figura 3 - Distribuzione dei terremoti localizzati e comunicati al DPC nel corso del 2005, per classi di magnitudo.

Inoltre, terminate le procedure di comunicazione degli eventi sismici al Dipartimento di Protezione Civile, i dati essenziali di ogni terremoto localizzato e comunicato (al di sopra quindi della soglia della presunta avvertibilità) vengono pubblicate sul web

Si veda ad esempio:

http://www.ingv.it/%7eroma/webterrNew/giorni/giorno_strutt.php?giorno_f=301220051037

00

Viene inoltre mostrata una mappa con la sismicità dell'ultima settimana:

<http://www.ingv.it/%7eroma/webterrNew/last/week.php>

e dell'ultimo mese

<http://www.ingv.it/%7eroma/webterrNew/last/month.php>

Questo servizio è molto importante per la comunità, contribuendo a informare e tranquillizzare le persone che avvertono uno scuotimento sismico; si sta lavorando per svilupparlo ulteriormente, fornendo maggiori informazioni.

Analisi in tempo reale e revisione dei segnali sismici per scopi di protezione civile

Nel corso del primo semestre 2005 era stato reso operativo un nuovo elaboratore dotato di due CPU, 4 GByte di RAM e 4 Terabyte di memoria di massa in Raid, affiancato come sistema di sicurezza che replica le funzionalità di un elaboratore identico già attivato nel 2004. Su questi elaboratori, dove vengono effettuate le operazioni di analisi e di calcolo dei parametri ipocentrali in tempo reale, nel secondo semestre 2005 sono state ottimizzate le procedure software e implementate nuove funzioni.

E' stato inoltre tenuto in efficienza il "vecchio" sistema di acquisizione dati, su piattaforma VAX- OpenVMS, installato su due macchine in parallelo (e una terza come scorta).

Archiviazione dei segnali

E' proseguita la memorizzazione continua di tutti i segnali provenienti da stazioni a banda larga e allargata, per un totale di circa 11 GByte al giorno. E' proseguita l'archiviazione di segnali "a trigger" che ha dato origine, in tutto il 2005, alla memorizzazione di circa 930.000 segnali, il 30% dei quali è stato generato da circa 4500 terremoti italiani; di questi, circa 3700 sono stati localizzati in Italia e nelle regioni limitrofe, mentre oltre 1000 sono stati i telesismi riconosciuti e registrati.

Banca Dati Relazionale

Nel corso del 2005 è proseguito l'utilizzo della Banca Dati Relazionale delle reti sismiche INGV, nella parte relativa alla gestione dei guasti di stazione e in quella relativa alle caratteristiche strumentali. E'proseguito lo sviluppo di procedure per l'immissione di informazioni parametriche di evento. Come prima fase sperimentale, sono state immesse le informazioni parametriche relative a localizzazioni e fasi sismiche estratte dai Bollettini precedenti. E' stata sviluppata una prima interfaccia software per l'estrazione dal DB di informazioni d'evento e di fase in formato internazionale GSE 2.0. Sono state realizzate procedure per aggiornare in tempo reale le informazioni strumentali dei sistemi di acquisizione.

Integrazione in Tempo Reale dei Dati di altre Reti Sismiche

E' proseguita l'attività di integrazione in tempo reale delle registrazioni sismiche prodotte dalle reti gestite dal CNT con i segnali provenienti da altre reti dell'INGV (rete del Belice, rete Satellitare, rete MedNet, rete INGV-OV, rete INGV-CT); sono state mantenute attive le connessioni dirette di scambio di segnali con la rete sismica svizzera e con l'Austria. I dati parametrici (tempi di arrivo e localizzazioni) vengono integrati in tempo reale con altri dati parametrici inviati tramite posta elettronica da altri enti collegati per una migliore localizzazione dei terremoti in Italia nord-orientale, Italia nord-occidentale, Campania e Sicilia orientale (rete IGG, rete OGS-CRS, rete INGV-OV e rete INGV-CT).

PRODUZIONE E AGGIORNAMENTO DEL BOLLETTINO SISMICO ITALIANO

L'analisi sistematica dei segnali sismici e delle localizzazioni dei terremoti, eseguita oggi dagli analisti sismologi del CDIT-CNT, ha costituito per alcuni decenni la fonte primaria di informazione per studi sulla sismicità italiana a scala locale e regionale e per gli studi sulla struttura della crosta e del mantello superiore. Come descritto nel rapporto del I semestre 2005, dal 16 Aprile 2005 il Centro Dati e Informazione sui Terremoti ha iniziato la revisione sistematica dei terremoti sullo stesso sistema che già da alcuni anni assicura le localizzazioni in tempo reale per la sorveglianza sismica italiana. La procedura di produzione del Bollettino è completamente cambiata: a causa dell'elevato numero di stazioni della Rete Sismica Nazionale, oggi circa raddoppiato rispetto al numero di stazioni installate prima della costituzione del CNT, la revisione manuale dell'intera totalità dei segnali registrati è oramai improponibile. L'analisi della sismicità è oggi condotta sulla base della lista di terremoti già riconosciuti come tali e localizzati in tempo reale dal sistema automatico; questa lista è integrata con altri terremoti eventualmente individuati dai sismologi durante il turno di sorveglianza per la Protezione Civile.

I dati prodotti dal sistema automatico e revisionati durante la produzione del Bollettino Sismico Italiano sono organizzati in una gerarchia di file il cui contenuto è facilmente riversabile in un Data-Base. Esistono due tipi principali di file: il primo tipo contiene le informazioni relative alle fasi sismiche necessarie alla localizzazione. Questo file viene prodotto in tempo reale dallo stesso programma di localizzazione automatica; ha un formato PHS, lo standard-input per il programma Hypoinverse2000, a cui è stata aggiunta una riga di intestazione con i parametri d'evento, mentre sono stati estesi i record delle fasi in modo da contenere tutte le informazioni necessarie a reperire le registrazioni dei sismogrammi a cui le fasi appartengono, nonché una specifica più dettagliata del nome di fase, secondo lo standard internazionale ISC. Il secondo tipo di file contiene l'output dettagliato del programma di localizzazione, comprensivo dei parametri ipocentrali e di tutti i parametri di fase, di sismogramma e di stazione relativi alla localizzazione.

Gli strumenti principali utilizzati dagli analisti sismologi sono tre: il programma per la revisione e il picking delle fasi sismiche SisPick! (A. Bono), la procedura per la localizzazione BolLoc e le procedure per la pubblicazione su Web del bollettino quindicinale.

L'uso di nuove procedure ha permesso di raggiungere un grado più elevato di completezza del Bollettino Sismico Italiano. L'insieme di tutti i terremoti localizzati nel 2005, comprensivo degli eventi profondi e degli eventi fuori rete, risulta completo fino a magnitudo 1.7-1.9 (figura 4).

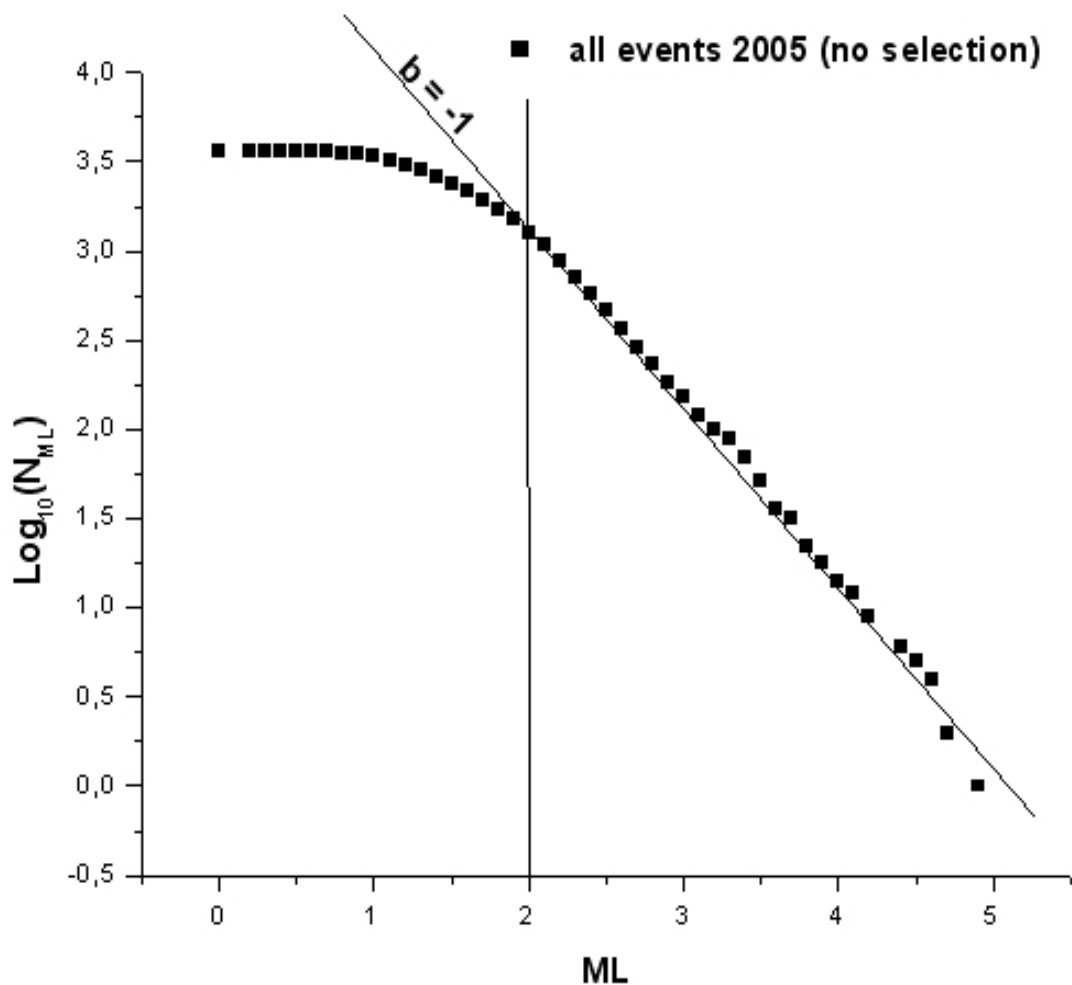


Figura 4 - Distribuzione Magnitudo-Numero di eventi per la sismicità italiana del 2005.

Nella corso del 2005 sono state analizzate circa 100.000 registrazioni sismiche a una o a tre componenti, corrispondenti a circa 50.000 fasi e oltre 5500 eventi locali, regionali e telesismici; di questi, sono stati localizzati circa 3700 terremoti avvenuti nel territorio nazionale.

L'utilizzo dei dati dell'intera Rete Sismica Nazionale per la produzione del Bollettino Sismico Italiano, iniziato sistematicamente nell'aprile 2005 ha permesso di localizzare numerosi terremoti di bassa e bassissima magnitudo (figura 4 e figura 5).

Nel corso del 2005 è proseguita l'archiviazione dei dati parametrici (tempi di arrivo) inviati da altre reti sismiche (nazionali ed internazionali). Durante il 2005 si è provveduto ad integrare i dati della Rete Sismica Nazionale relativi alla sismicità del 2004 con i dati delle reti locali italiane; è stato aggiornato il catalogo CSI 1.0 fino al 2004.

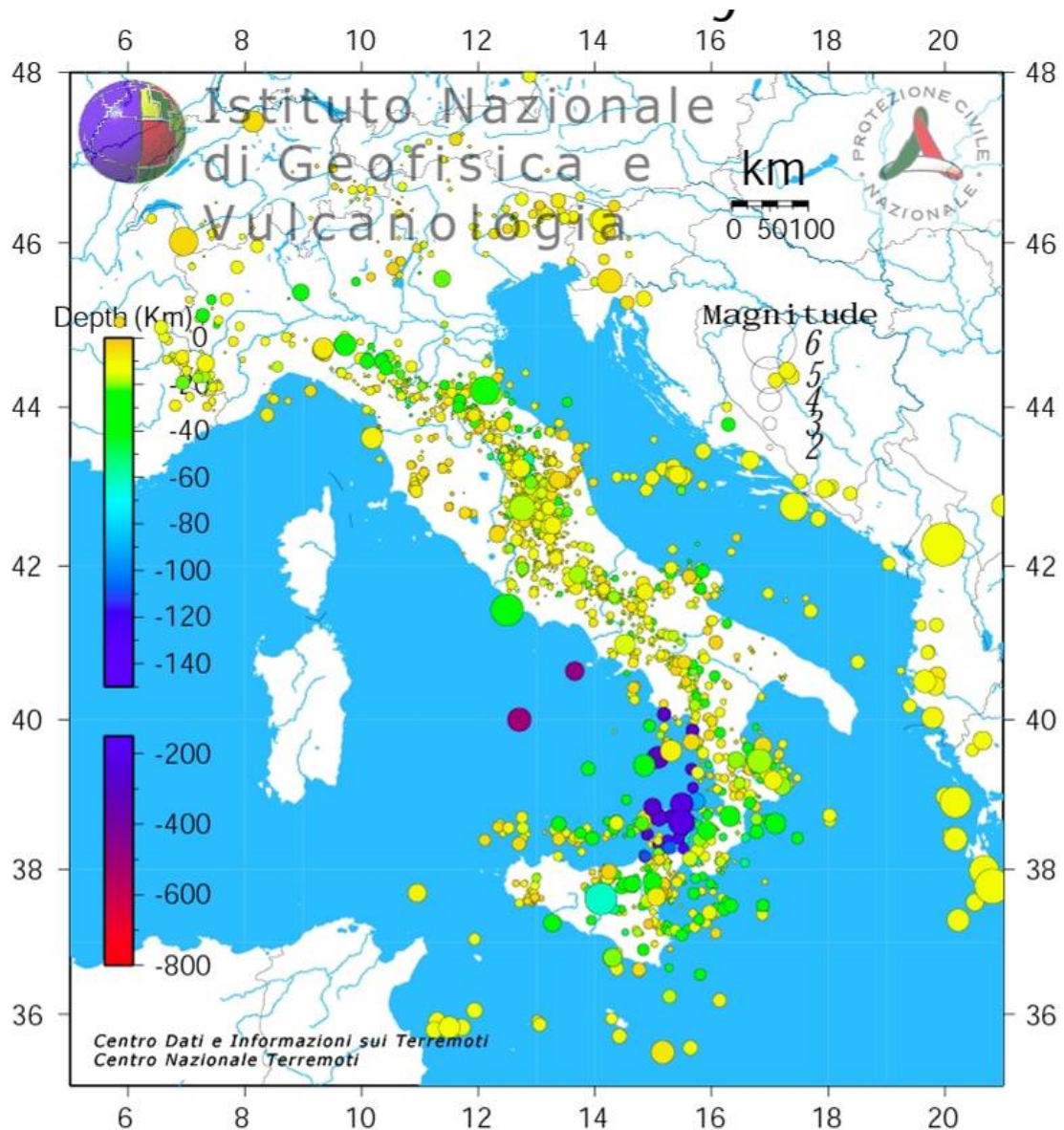


Figura 5 - Sismicità italiana nel 2005. La grandezza dei simboli è proporzionale alla magnitudo, i colori alla profondità ipocentrale secondo la scala a sinistra in figura.

Anche il 2005 è stato caratterizzato da sismicità diffusa su tutto il territorio nazionale che si concentra soprattutto lungo le dorsali Appenninica e Alpina, nel Tirreno meridionale e in

Sicilia. Gli eventi di massima magnitudo sono avvenuti il primo il 22 agosto, in mare, a circa 10 chilometri dalla costa laziale di fronte ad Anzio e a 30 chilometri di profondità (ML 4,7), il secondo il 21 novembre nella Sicilia centrale, tra Villarmosa e Santa Caterina Villarmosa, al confine tra le province di Caltanissetta ed Enna, a circa 65 chilometri di profondità (ML 4,7). Altri eventi importanti sono avvenuti, in ordine decrescente di magnitudo, il 15 luglio presso Bertinoro, in provincia di Forlì, a circa 20 chilometri di profondità (ML= 4,4), il 15 dicembre vicino a Spoleto (ML=4,2. profondità di 18 chilometri) il 23 aprile sulla Sila in provincia di Cosenza, presso Mandatoriccio (ML = 4,1) e il 14 gennaio sulle Alpi Carniche (ML= 4) in territorio Sloveno. Sono stati localizzati anche altri 12 eventi di magnitudo compresa tra 4 e 5,4, avvenuti però al di fuori del territorio nazionale o profondi.

L'Appennino centrale rimane l'area con il più alto numero di terremoti registrati e localizzati, sebbene di bassa magnitudo. Si conferma la presenza di sismicità profonda nel basso Tirreno, con localizzazioni fino a 500 chilometri di profondità (figura 6).

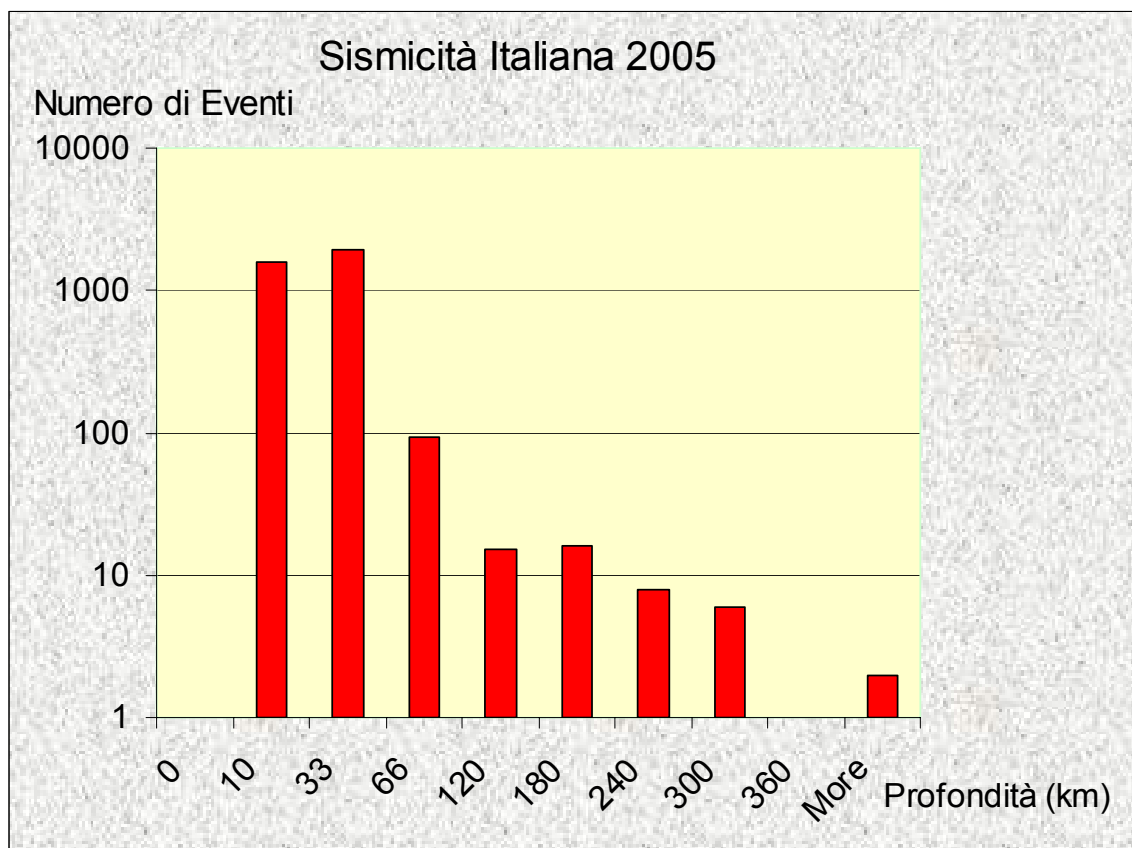


Figura 6 - Sismicità italiana 2005: distribuzione del numero di terremoti localizzati per classi di profondità. Si nota che la maggior parte dei terremoti avviene a profondità crostali, mentre esiste una sismicità diffusa ma decisamente meno frequente nel mantello superiore fino a 500 km (si noti che la scala in ordinate è logaritmica).

Gestione delle Richieste di Dati Sismologici e Diffusione di Informazioni

Sono state esaudite le richieste di informazioni sismologiche provenienti da istituzioni scientifiche nazionali ed internazionali, da organismi istituzionali dello Stato, da società private, nonché quelle inoltrate da singoli cittadini.

Per tutto il 2005 è proseguita la pubblicazione su web del Bollettino Sismico del Centro Nazionale Terremoti, suddiviso in periodi di 15 giorni. Il materiale pubblicato fornisce i parametri degli eventi sismici localizzati (tempo origine, coordinate ipocentrali, magnitudo, regione epicentrale), i tempi di arrivo e le magnitudo calcolate alle varie stazioni; per gli eventi telesismici vengono forniti i tempi di arrivo delle fasi, l'ampiezza massima e il periodo alle varie stazioni, senza indicazioni di localizzazione e magnitudo (che possono essere reperite da organismi internazionali, quali il NEIC del Geological Survey USA e l'International Seismological Center, ISC).

Dalla seconda metà dell'Aprile 2005 il bollettino viene pubblicato nel formato internazionale GSE 2.0. Il sito ftp che riporta i parametri degli eventi sismici italiani (dal 1983) è stato aggiornato con i dati 2005.

Nell'ambito del Servizio di Sorveglianza Sismica, sono state gestite le procedure operanti in tempo reale per la notifica del verificarsi di eventi sismici mediante i servizi di posta elettronica e SMS.

Nel corso dell'anno è proseguita la procedura di pubblicazione su web delle informazioni prodotte dai turnisti (tempo origine, localizzazione ipocentrale, magnitudo) e comunicate alla Protezione Civile; le pagine sono corredate di mappe epicentrali che riportano i comuni presenti nell'area interessata dall'evento.

LA MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DELLA RETE SISMICA NAZIONALE, DELLA RETE MEDNET E DELLE ALTRE RETI SISMICHE GESTITE DAL CNT

Funzionamento e aggiornamento della Rete Sismica Nazionale

Nel secondo semestre del 2005 si è tenuta in efficienza la Rete Sismica Nazionale, sia la parte a trasmissione analogica che quella digitale.

Sono state effettuate numerose missioni per riparazione di guasti, per il miglioramento dei siti di stazione, per la ricerca di nuovi siti e per le nuove installazioni.

Sono proseguite le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria della rete analogica, che ancora fornisce dati in tempo reale, sia pure di qualità inferiore a quelli digitali.

E' proseguito il miglioramento della Rete Sismica Nazionale Centralizzata, già portato avanti in maniera significativa negli anni precedenti (si vedano le relazioni 2001-2002-2003-2004 e I semestre 2005).

E' proseguita la conversione in digitale delle reti di monitoraggio sismico e l'utilizzo delle nuove tecnologie di trasmissione dati. Come noto (si vedano i rapporti 2001, 2002, 2003 e 2004), tale trasformazione prevede da un lato l'utilizzo di tradizionali vettori trasmissivi terrestri (linee telefoniche dedicate), dall'altro l'adozione di canali trasmissivi satellitari. A fine 2005, il numero totale di stazioni collegate al sistema di acquisizione era di oltre 200 (fig. 7), di cui circa due terzi costituito da stazioni digitali a tre componenti e ad elevata dinamica.

La figura 8 riporta la distribuzione geografica delle stazioni della rete a fine 2005.

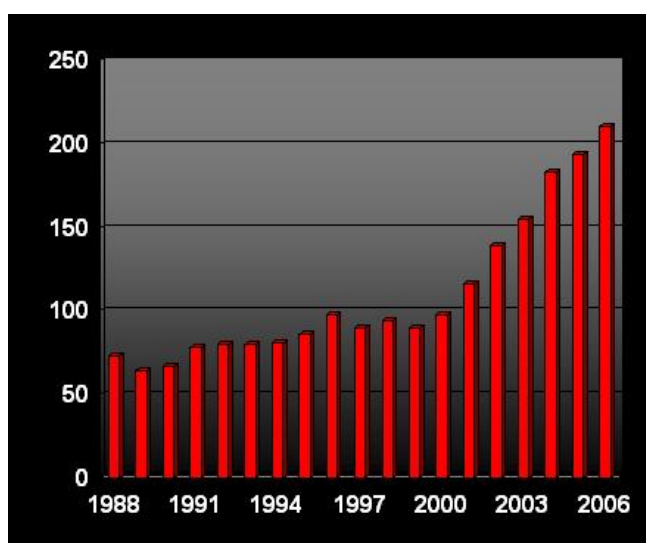


Figura 7 - Incremento del numero di stazioni collegate in tempo reale con il sistema di acquisizione della Rete Sismica Nazionale dal 1988 al 2006. Si nota il deciso aumento a partire dal triennio 2001-2003, anno di avvio della prima convenzione INGV-DPC.

Per la parte satellitare, la rete consta a fine 2005 di 57 stazioni, sparse a coprire in modo ormai abbastanza omogeneo il territorio nazionale; a queste vanno aggiunte le stazioni votate al monitoraggio dell'Etna, che condividono scelte tecnologiche e vettori trasmissivi con la rete nazionale.

Per la gestione di questa parte di rete, sono stati ulteriormente potenziati gli hub di acquisizione di Roma, Catania e Grottaminarda, portandoli a gestire complessivamente 8 canali satellitari; sono stati predisposti meccanismi di interscambio dati tra i vari hub, tramite software idonei, in modo da garantire la completezza del flusso dati nelle varie sedi anche in caso di guasti degli apparati di ricezione o di operazioni di manutenzione straordinaria. A fine 2005 è iniziata la migrazione di una parte del flusso dati su un differente provider satellitare, in modo da garantire un ulteriore livello di ridondanza e quindi di affidabilità del sistema nel suo complesso.

Per le reti a trasmissione terrestre, è proseguita la migrazione dei collegamenti sulla rete RUPA (Rete Unificata per la Pubblica Amministrazione); a causa di problemi logistici sui

collegamenti, il progetto stilato a inizio anno non è stato completamente rispettato a fine 2005. In ogni caso, 42 stazioni risultano al momento collegate tramite questa tecnologia, e per altre 20 si è solo in attesa degli espletamenti tecnici da parte di PathNet. A queste, vanno aggiunte altre 40 stazioni collegate con varie tecnologie di trasmissione digitale, e circa 80 stazioni della tradizionale rete a trasmissione analogica.

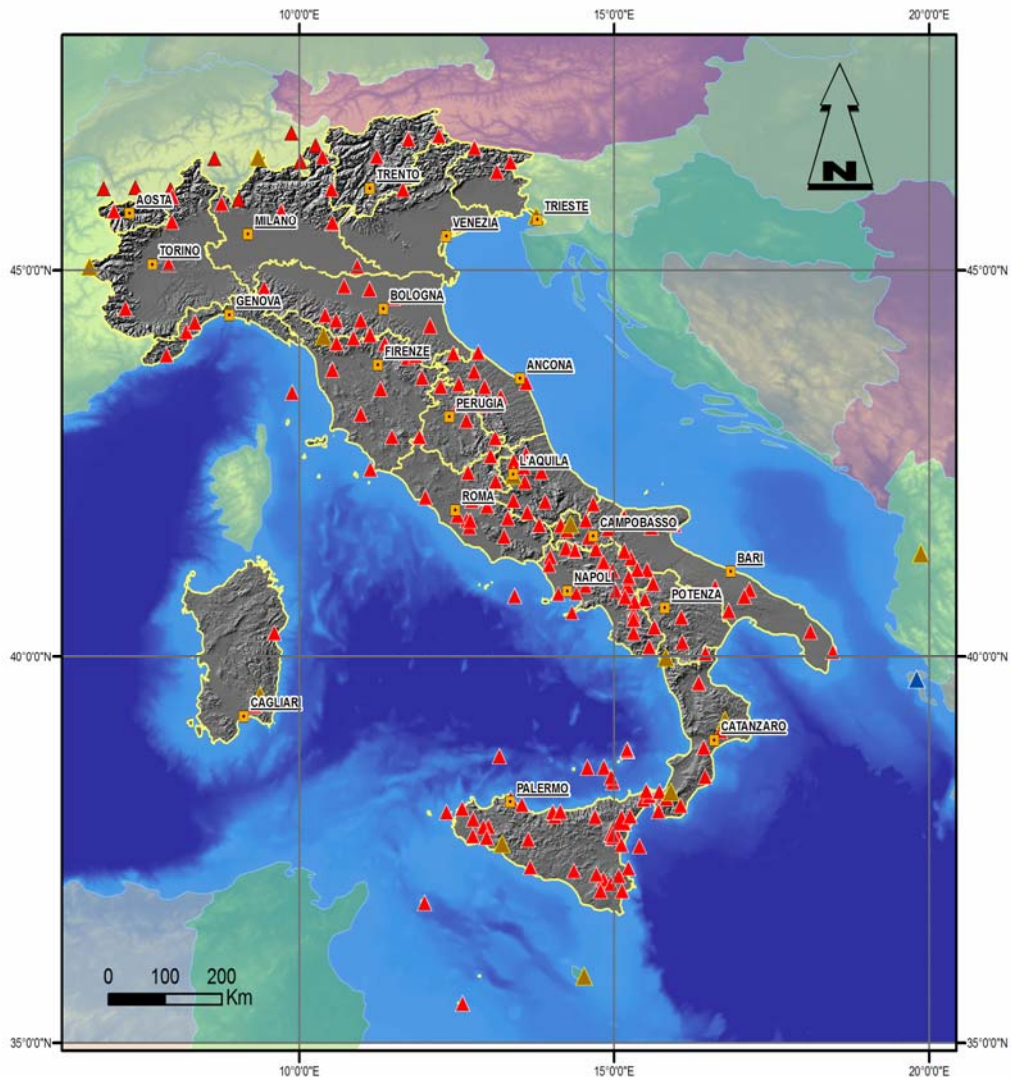


Figura 8 - Carta delle stazioni della Rete Sismica Nazionale a fine 2005. In rosso le stazioni della RSN collegate via satellite o via RUPA (Rete Unificata della Pubblica Amministrazione). In marroncino le stazioni Very-Broad-Band appartenenti alla rete MedNet (alcune in Italia, si vedono anche le stazioni di Malta e di Tirana).

Dal punto di vista della sensoristica, il nuovo standard della rete nazionale prevede sensori broad-band: a fine 2005 oltre 70 stazioni centralizzate in tempo reale sono dotate di sensori di questo tipo, rendendo possibile lo sviluppo di tecniche di analisi dati sempre più sofisticate. Si sta inoltre procedendo con la sperimentazione di sensori da pozzo, sia broad-band che corto periodo: a fine 2005 due stazioni di questo tipo sono operative, e in altre 3 si sta procedendo all'allestimento logistico.

Sono proseguite le sperimentazioni di gestione di canali accelerometrici “on-demand”, ossia con acquisizione locale e recupero a richiesta dei dati in caso di eventi significativi; questa tecnica diventerà standard nel 2006 per tutte le installazioni a trasmissione satellitare e verrà sperimentata anche sui collegamenti RUPA. La procedura è stata sperimentata con successo in occasione di alcuni recenti terremoti e verrà estesa alla maggior parte delle stazioni della RSN. Nel corso della seconda metà del 2005 è stato fatto un investimento significativo sui sensori accelerometrici da affiancare a quelli broad-band, utilizzando i fondi DPC per le stazioni della RSN e i fondi MIUR (progetto PROSIS) per le stazioni installate per questo progetto. Si rammenta tuttavia che tutte le stazioni installate fanno parte a pieno titolo della Rete Sismica Nazionale e contribuiscono al servizio di sorveglianza sismica svolto per il DPC. La maggior parte degli accelerometri verranno installati nel corso del 2006.

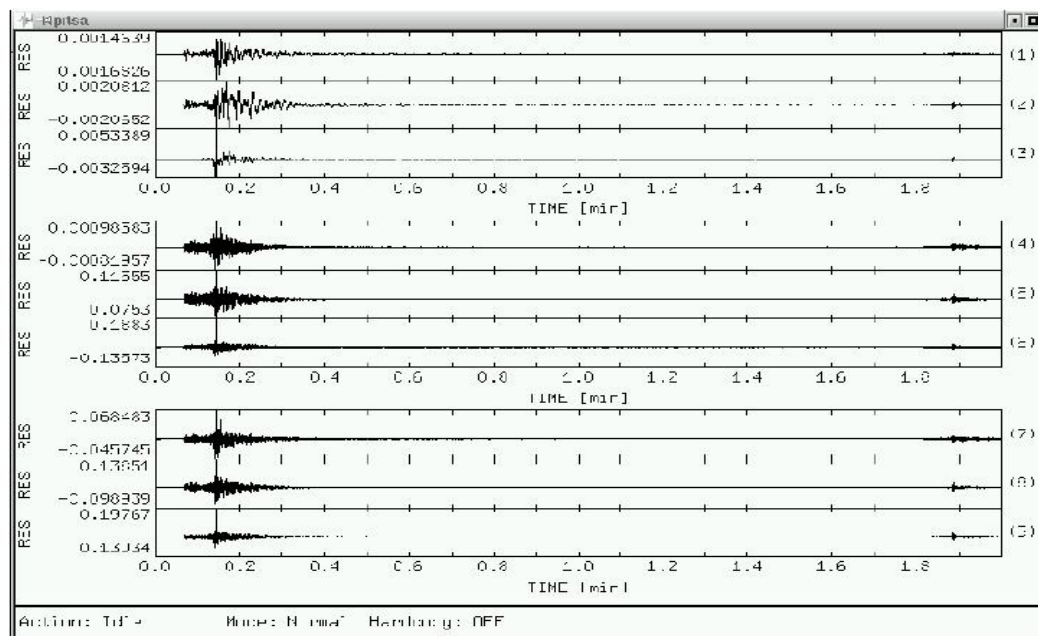


Figura 9 - Confronto tra registrazione larga banda e accelerometrica per un terremoto di ML4.5 a 25 km.

Un esempio della registrazione di un terremoto da una stazione a 6 componenti (terna Broad-band e terna accelerometrica) è riportato in figura 9.

La figura 9 mostra la registrazione di un terremoto di magnitudo 4.5 avvenuto a 25 km da una stazione della RSN. In alto si vede la registrazione in velocità del sensore Broad Band (Trillium 40 s Nanometrics), al centro la registrazione dello stesso evento fatta dall'accelerometro (Episensor Kinematics) installato nello stesso sito. In basso si vede il segnale in accelerazione ricavato dal sensore velocimetro Trillium. Si nota che le forme d'onda sono identiche, a testimoniare che per terremoti di media entità le registrazioni di

un sismometro larga banda possono essere usate alla stregua di un sensore strong-motion. In basso (fig. 10) si vede il confronto ingrandito su un canale (est-ovest) sia nel tempo che in frequenza. Le forme d'onda e gli spettri sono completamente sovrapponibili.

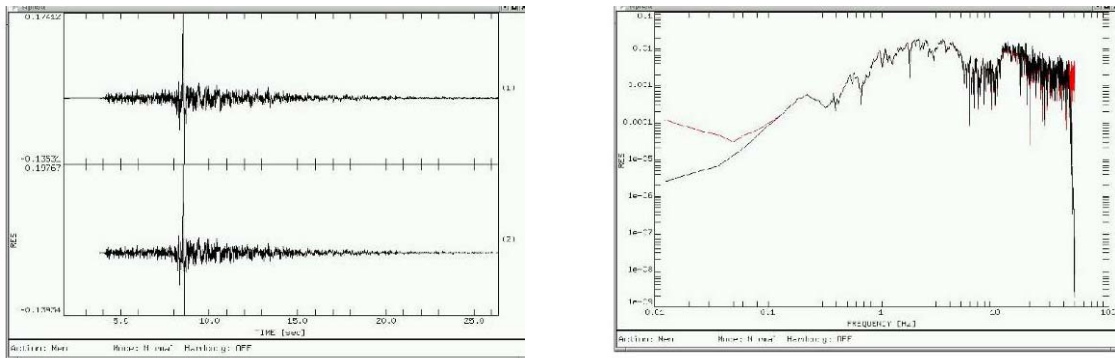


Figura 10 - Confronto tra registrazione larga banda e accelerometrica per un terremoto di ML4.5 a 25 km: sono mostrati i due segnali della componente orizzontale est-ovest in accelerazione ottenute dal sismometro a larga banda e dall'accelerometro (sinistra). A destra il confronto spettrale.

Sviluppi tecnologici: l'acquisitore sismico INGV GAIA-2

Nel secondo semestre 2005 sono stati fatti notevoli progressi sul progetto "GAIA-2", il nuovo acquisitore sismico realizzato nei Laboratori del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV.

Il progetto è giunto a fine 2005 alla sua fase finale, grazie a investimenti effettuati nel corso dell'anno.

L'obiettivo era quello di costruire uno strumento versatile, a basso costo e robusto per i molti obiettivi del CNT e delle altre componenti dell'Istituto e possibilmente di altri enti.

Nel 2006 verranno verificate le varie componenti e fatti i primi test sul campo. Si ricorda che l'acquisitore GAIA-1 è già funzionante in circa 40 siti della Rete Nazionale, su Stromboli e sul vulcano Nyiragongo. GAIA-2 presenta caratteristiche di maggiore compattezza, versatilità, minore consumo e minore costo.

Una descrizione dettagliata del progetto, dello strumento e delle sue applicazioni verrà inclusa nella relazione del 2006.

Sviluppi tecnologici: Sismometri da fondo mare

L'Italia è un paese circondato da mari. Nonostante la maggior parte dell'attività sismica si verifichi nelle aree appenniniche e alpine, numerose aree marine sono sismogenetiche e meriterebbero un'attenzione maggiore, con sistemi di monitoraggio ravvicinato. Si ricordi ad esempio il terremoto del settembre 2002 al largo di Palermo, l'attività sismica in Adriatico centrale, la sismicità crostale e profonda del mar Tirreno meridionale. Per questo

motivo, il Centro Nazionale Terremoti dell'INGV ha iniziato a sviluppare nel corso del 2005.

E' proseguito l'assemblaggio di strumenti acquisiti alla fine del 2004 e nel primo semestre 2005, tra cui in particolare: sensori sismici installati in bentosfere provviste di basi autolivellanti, elettronica di controllo ed acquisizione, batterie installate in un vessel di alluminio o titanio, sistemi di sgancio delle zavorre, sistemi di segnalazione radio e ottica di superficie che ne consentono l'individuazione durante le operazioni di recupero, una volta raggiunta la superficie.

Si prevede che questi strumenti possano operare in maniera autonoma fino ad una profondità massima di 6000 metri e per un periodo massimo di un anno dalla loro deposizione.

Nella relazione del 2006 verranno descritte in dettaglio le realizzazioni effettuate in questo settore. Nella figura 11 un'immagine recente con il prototipo dello strumento OBS in fase di test.



Figura 11 - Foto del prototipo di stazione da fondo mare (OBS) realizzata presso l'Osservatorio di Gibilmanna (Palermo) del Centro Nazionale Terremoti per lo studio dei terremoti nelle aree marine e costiere. Nel corso del 2006 verranno effettuati i primi test delle 4 stazioni realizzate.

La rete sismica MedNet per il monitoraggio dell'Italia e del Mediterraneo

Oltre al continuo lavoro di manutenzione e aggiornamento dell'esistente, la rete continua ad essere ampliata con altre stazioni, con un'attenzione particolare all'area italiana. La stazione in Romania (BZS, Buzias, nei pressi di Timisoara) è installata e funzionante, mentre siamo il sito in Tessaglia (Grecia) non è ancora operativo. Sono stati avviati i contatti per altre due stazioni, una nella Repubblica Ceca ed una in Tunisia. La prima è in realtà un upgrade di una stazione esistente alla quale MedNet contribuisce con uno strumento a larghissima banda. Il sito presenta un rumore di fondo particolarmente basso e merita uno strumento eccezionalmente pregiato. L'altra stazione, quella in Tunisia, è in realtà una reinstallazione, in quanto la stazione è stata funzionante negli anni '90 ed è da lungo tempo non operativa. Sono stati ripresi i contatti con l'Istituto Nazionale di Meteorologia di Tunisi per la sua riattivazione. Le difficoltà incontrate nella gestione della stazione nel passato potrebbero adesso essere facilmente superate. E' inutile dire quanto la stazione sia importante per la sorveglianza del territorio italiano (in particolare per monitorare la sismicità che ha luogo nel Canale di Sicilia) e per lo studio della regione mediterranea in generale (il Nord Africa è tuttora del tutto sguarnito di stazioni di alta qualità).

Al 2005 le stazioni della rete MedNet collegate in tempo reale sono:

Stazione	Località
AQU	L'Aquila, Italia Centrale
BNI	Bardonecchia, Alpi Occidentali
VSL	Villasalto, Sardegna
CLTB	Caltabellotta, Sicilia
VLC	Villacollemandina, Toscana
RTC	Rabat, Marocco
ISP	Isparta, Turchia
MALT	Malatya, Turchia
TRI	Trieste, Friuli Venezia Giulia
ARZ	Arezzo, Toscana
GIGS	Gran Sasso, Abruzzo
CUC	Castrocucco, Calabria
TIP	Timpagrande, Calabria
CEL	Celeste, Calabria
VTS	Bulgaria
WDD	Malta
IDI	Creta
DIVS	Divcibare, Serbia
TIR	Tirana, Albania
BZS	<i>Buzias, Romania</i>

In corsivo l'ultima stazione installata nel 2005.

Una mappa della rete MedNet è stata inserita nella relazione del I semestre 2005 e non viene riportata qui.

Alle stazioni MedNet sono da aggiungere quelle di altre reti, che abbiamo collegato o richiesto di collegare al fine di migliorare la copertura del territorio italiano.

Tali stazioni sono interamente gestite da Istituzioni straniere, che scambiano i loro dati con i nostri al fine di migliorare le capacità di studio e di localizzazione dei terremoti che avvengono nelle aree di confine.

Nella figura 12 vengono elencati i paesi con cui vengono scambiati i dati.

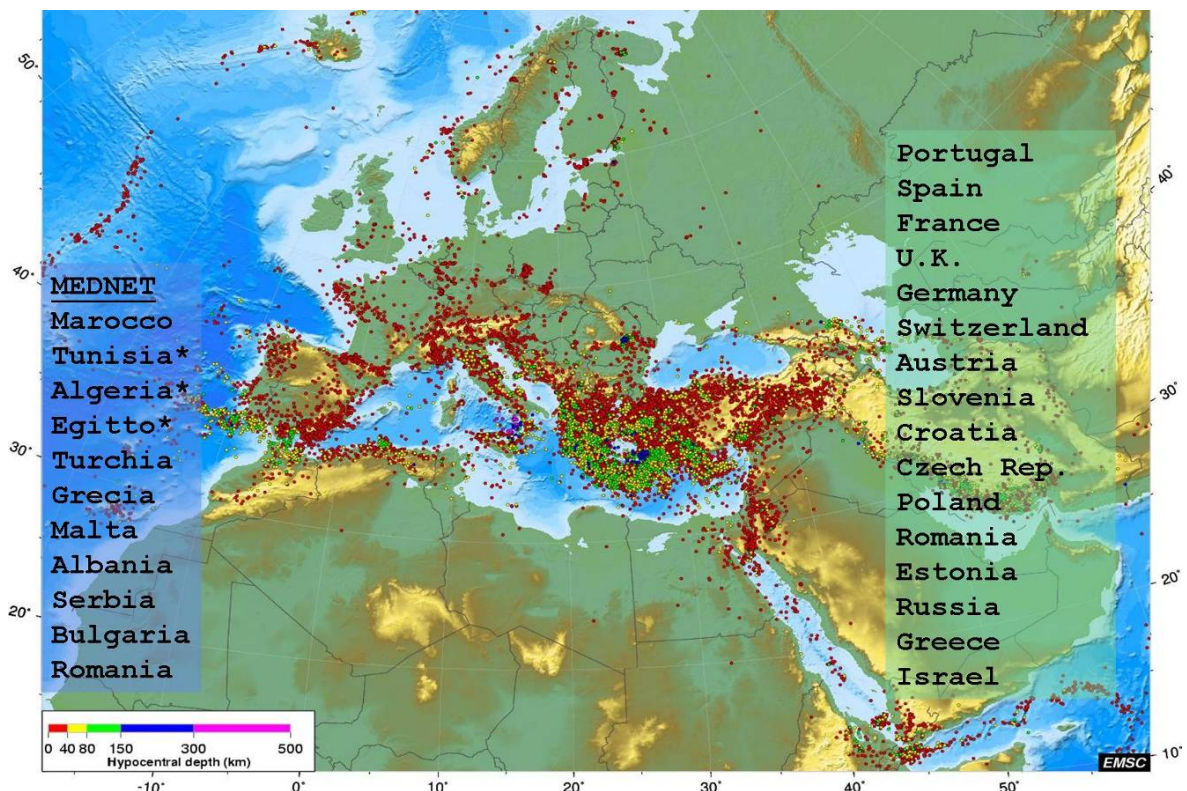


Figura 12 - Mappa della regione euro-mediterranea su cui opera la rete MedNet. A sinistra la lista dei paesi in cui operano le stazioni MedNet (l'asterisco indica le stazioni momentaneamente non operative per motivi tecnici o politici). A destra l'elenco dei paesi con i quali è attivo lo scambio dati.

Archiviazione e distribuzione dati

I dati in tempo reale vengono inoltrati ad ORFEUS (NL) ed IRIS (USA). Oltre alle collaborazioni già stabilite con le altre Istituzioni europee, che gestiscono reti nazionali, si sono stabilite delle relazioni di scambio dati con Albania, Serbia, Svizzera e Francia. Lo scopo rimane quello di disporre prontamente di dati esteri per la determinazione dei tensori momento e per la determinazione degli ipocentri di terremoti in prossimità dei confini nazionali.

E' proseguita la collaborazione con la sezione INGV Roma-1 per il calcolo dei tensori momento in tempo reale, utili per fornire valutazioni rapide della grandezza e del tipo di terremoto e per consentire quindi valutazioni sull'evoluzione dei processi sismogenetici. E' stato realizzato un prototipo di determinazione automatica dei momenti tensori, attualmente visibile sulle pagine web di MedNet (<http://mednet.ingv.it>). Il lavoro proseguirà con l'introduzione di nuove stazioni, con il miglioramento degli algoritmi ed una migliore calibrazione dei percorsi.

Sono state consolidate tutte le procedure di archiviazione dati ed è stato ristrutturato interamente il sito, per consentire un accesso immediato alle informazioni MedNet e ad i suoi prodotti. E' proseguita l'archiviazione ordinaria di tutti i dati provenienti dalle stazioni in tempo reale.

Il Centro Dati MedNet ha proseguito lo sviluppo di nuovi strumenti informatici per il controllo della funzionalità delle stazioni. Alle altre procedure automatiche già in essere, è stata realizzata una procedura robusta per la verifica della completezza dei dati archiviati al Data Center MedNet: giornalmente i dati vengono controllati automaticamente e completati, se ne risultassero di mancanti (per una caduta della connessione protrattasi nel tempo, ad esempio, fra la stazione ed il server centrale). Un'altra procedura completamente automatica è quella che calcola e pubblica sul sito web i valori di picco di accelerazione, velocità e spostamento in caso di eventi significativi.

Molto importante nel 2005 è stato il lavoro di progettazione per la realizzazione di un diverso sistema automatico di archiviazione e distribuzione dei dati, in collaborazione con la maggior parte del personale del CNT addetto al software e all'archiviazione dei dati.

La collaborazione internazionale per l'integrazione delle reti e lo scambio dati iniziate negli anni scorsi, è proseguita in particolare in due iniziative europee, che si concretizzeranno nel 2006: l'iniziativa nei Balcani (Upgrading Seismological Networks in SE Europe), per lo sviluppo della sorveglianza sismica nell'area (l'INGV, attraverso MedNet, è chiamato a farne parte grazie alla pluriennale esperienze nella regione, come "Scientific Facilitator"); il progetto NERIES, finanziato dalla Comunità Europea, durante il quale sarà costituita (fra le altre attività) una banca dati distribuita, denominata EIDA (European Integrated Data Archive).

RETE CGPS ITALIA CENTRO NORD: STATO DI AVANZAMENTO E SVILUPPO

La costruzione della rete GPS nazionale ha subito nel corso del periodo di riferimento una significativa crescita rispetto al primo nucleo di stazioni esistenti il 2000 e il 2004, realizzate dall'INGV su fondi istituzionale e di progetti. La crescita della rete, sia nel numero di stazioni che per tecniche di trasferimento e analisi dati, grazie alla disponibilità dei finanziamenti messi a disposizione dal MIUR per l'Italia meridionale (area obiettivo 1,

Progetto PROSIS), e dal Dipartimento della Protezione Civile. L'obiettivo finale è quello di disporre di una rete GPS permanente omogenea per tutto il territorio italiano per il monitoraggio continuo delle deformazioni della crosta terrestre, per approfondire le conoscenze dei fenomeni che guidano la sismicità e per fornire vincoli decisivi alla stima della pericolosità sismica. La realizzazione delle rete è avvenuta anche in forte sinergia con la nuova rete sismica digitale satellitare, con cui condivide buona parte dei siti e soprattutto la tecnologia della trasmissione dati.

L'obbiettivo è quello di potenziare l'infrastruttura esistente per un più efficace monitoraggio delle deformazioni del suolo delle aree sismiche italiane, per accrescere le conoscenze sulla cinematica e sui processi dinamici in atto per fornire vincoli decisivi sulla stima della pericolosità sismica e per applicazioni in caso di emergenza. Di seguito sono illustrate le attività e gli obiettivi che sono stati perseguiti nel corso del secondo semestre 2005, che proseguono quelle iniziate nel primo semestre dello stesso anno, in accordo con le tre tematiche principali:

- i) rete GPS permanente;
- ii) reti GPS non permanenti;
- iii) analisi dati, che comprendono attività tecnologiche e di ricerca.

Rete CGPS Italia centro nord: stato di avanzamento al 31-12-2005

La costruzione della rete GPS nazionale, ha subito nel corso del 2005 e in particolare nel secondo semestre una significativa crescita rispetto al primo nucleo di stazioni esistenti alla data del 2004 (Fig.1), realizzate dall'INGV su fondi istituzionale e di progetti. La crescita della rete, sia nel numero di stazioni che per tecniche di trasferimento e analisi dati, è avvenuta con finanziamenti del MIUR per l'Italia meridionale (area obiettivo 1, Progetto PROSIS), e del Dipartimento della Protezione Civile per il centro-nord Italia. Si sta quindi rapidamente raggiungendo l'obiettivo di disporre di una rete GPS permanente omogenea per tutto il territorio italiano per il monitoraggio continuo delle deformazioni della crosta terrestre, per approfondire le conoscenze dei fenomeni che guidano la sismicità e per fornire vincoli decisivi alla stima della pericolosità sismica. La realizzazione delle rete sta avvenendo in forte sinergia con la nuova rete sismica digitale satellitare, con cui condivide sia gran parte dei siti che la tecnologia della trasmissione dati, mediante via satellitare e RUPA. Sulla base del piano di sviluppo della rete GPS nazionale, per la ricerca di nuovi siti nel 2005 sono stati effettuati circa 60 sopralluoghi nel centro nord Italia di cui oltre 20 nel secondo semestre (Tab.2). In particolare nel secondo semestre sono state installate le stazioni selezionate dai sopralluoghi effettuati nel corso del primo semestre, al fine di procedere nella configurazione della rete, prevista con una maglia di

50-100 km e un numero totale di circa 40 stazioni nell'area del centro nord Italia e di 90 per l'intero territorio nazionale. Si prevede la installazione della strumentazione e l'attivazione delle ulteriori stazioni all'inizio del 2006.

Tabella 2 - Piano di sopralluoghi e costruzione della rete GPS permanente nel centro nord Italia. In tabella sono riportati i tipi di collegamento remoto previsti o possibili, il personale incaricato del sopralluogo e/o installazione, il periodo e infine la valutazione del sito o lo stato di costruzione o attivazione della stazione.

N.	Stazione	Stato stazione sismica, stato stazione GPS, tipo collegamento	Regione	Data sopralluogo / Operatori	Valutazione / attivazione
1	MORG	Satellitare	Valle D'Aosta	Primavera 2005 (Del Mese)	Idonea. Attivata settembre 2005
2	LSD (Lago Serrù, Diga) (Ceresole Reale)	Satellitare	Valle D'Aosta	Primavera 2005 (Del Mese)	Idonea, in via di costruzione
3	PZZ (Val Maira, presso DOI)	Telcom	Piemonte	Primavera 2005 (Del Mese)	Non idonea
4	STUE (Stuetta)	Rete LAN	Piemonte	Primavera 2005 (Del Mese)	Idonea. Attiva luglio 2005
5	MONC (Moncucco)	Satellitare	Piemonte (TO)	dicembre 2004 (Del Mese)	Idonea. Attiva maggio 2005
6	RESU (Reno Superiore)	Satellitare	Piemonte	Gennaio/maggio 2005 (Del Mese)	In corso di valutazione
7	PCP (Ponzone A.)	Telecom, Rupa	Liguria	2006	Da valutare test
8	LASP (La Spezia)	Telecom GSM	Liguria	Giugno 2005 (Casula-Serpelloni-Giovani)	Idonea. Attiva giugno 2005
9	MDI (Monte Dinese)	GSM o comm.	Lombardia	Gennaio – febbraio 2005 (Giovani)	Da valutare test
10	SALO (Salò)	GSM o comm.	Lombardia	settembre 2005 (Del Mese)	Idonea. Attiva novembre 2005
11	MAGA (Magasa)	Satellitare.	Lombardia	Luglio/settembre 2005 (Del Mese)	Idonea. In via di costruzione
12	SBPO (San Benedetto Po)	GSM	Lombardia	Maggio 2005 (Giovani-Serpelloni)	Idonea. Attiva maggio 2005
13	FEMB (Ferrara di Montebaldo)	Telecom	Veneto	Maggio 2005 (Giovani-Serpelloni)	Idonea
14	ROVE (Roverè Veronese)	Telecom	Veneto	Maggio 2005 (Giovani-Serpelloni)	Idonea
15	LAPL (La Plose)	Telecom	Trentino	Novembre 2005 (Del Mese)	Idonea
16	BOLZ (Bolzano)	Telecom	Trentino	Luglio 2005 (Del Mese)	Non idonea
17	BOBB (Bobbio)	Telecom, GSM	Emilia R.	Febbraio/settembre 2005 (Giovani)	Idonea, con difficoltà
18	RAVA (Ravarino)	Telecom, Rupa	Emilia R.	Gennaio/maggio 2005 (Giovani-Serpelloni)	Da valutare

19	PARM (Parma)	Rete LAN	Emilia R.	Novembre 2005 (Serpelloni-Giovani-Casula)	Idonea. Attiva ottobre 2005
20	SGIP (San Giovanni in Persicelo)	Telecom	Emilia R.	febbraio 2005 (Loddo-Pesci-Casula-Giovani)	Idonea. Attiva maggio 2005
21	MPAS (Monte Pastore)	GSM	Emilia R.	Febbraio/giugno 2004 (Giovani)	Da valutare opportunità
22	NOVE (Novellara)	Telecom	Emilia R.	Febbraio/ottobre 2005 (Giovani-Serpelloni)	Idonea. In via di costruzione
23	FIUM (Fiumalbo)	Telecom	Emilia R.	Febbraio 2005 (Giovani)	Non idonea
24	MODE (Modena)	Rete LAN	Emilia R.	Ottobre 2005 (Giovani-Serpelloni-Casula)	Idonea. In via di costruzione
25	Campotto Po	n.c.	Emilia R.	Gennaio 2005 (Giovani-Serpelloni)	Non idonea
26	LASC (Lagoscuro)	?	Toscana-Emilia R.	febbraio 2005 (Giovani-Serpelloni)	Non idonea
27	ZCCA (Zocca)	Rupa	Emilia R.	Ottobre 2004 (Giovani)	Non idonea
28	Arezzo	Rete LAN	Toscana	2006 (Giovani)	In corso di valutazione
29	GORG (Gorgona)	Satellitare	Toscana	Febbraio-luglio 2005 (Del Mese)	Idonea. Attiva luglio 2005
30	CPES (Castiglion della Pescaia)	Satellitare	Toscana	Febbraio-aprile 2005 (Massucci)	Idonea. In via di costruzione
31	MAON (Monte Argentario)	Satellitare	Toscana	Febbraio-aprile 2005 (Massucci-Del Mese-Galvani)	Idonea. Attiva maggio 2005
32	SNCS (San Casciano Bagni)	Satellitare	Toscana	Febbraio-settembre 2005 (Massucci-Del Mese)	Idonea. In costruzione
33	CARM (Carmignano)	Satellitare	Toscana	2006 (Del Mese)	Da valutare
34	MACC (Macchie)	?	Umbria	Luglio-novembre 2005	Da valutare
35	CESI (Cesi)	Satellitare	Umbria	Ottobre 2005 (Massucci-Del Mese)	Da valutare
36	MGAB (Monte Gabbione)	Possibile nuova satellitare	Umbria	ottobre 2005 (Anzidei-Massucci)	Idonea. In costruzione
37	MPEG (Monte Peglia)	Telecom	Umbria	Luglio-novembre 2005	Non idonea
38	CING (Cingoli)	satellitare	Marche	Marzo 2005	Non idonea
39	FAGN (Fagnano)	satellitare	Abruzzo	Marzo 2005	Non idonea
40	TERO	satellitare	Abruzzo	Marzo 2005	Idonea con difficoltà
41	INTR (Introdacqua)	satellitare	Abruzzo	Gennaio – febbraio 2005	Da valutare diversa collocazione
42	FRES (Fresa Grandinaria)	satellitare	Abruzzo	Marzo 2005	Idonea. Attiva

43	San Demetrio Ne Vestini	Telecom, GSM	Abruzzo	aprile 2005 (Galvani/Massucci)	Idonea
44	TERA (Teramo)	Telecom, GSM		Marzo 2005 (Massucci)	Da valutare meglio
45	CERT (Cerreto)	satellitare	Lazio	novembre 2005	Idonea. In costruzione
46	VENT (Ventotene)	RUPA	Lazio	Ottobre 2005	Idonea. In costruzione
47	RDPA (Rocca di Papa)	RUPA	Lazio	Ottobre 2005	Idonea. In costruzione
48	MART (Marta)	satellitare	Lazio	Maggio 2005	Non idonea
49	MARI (Marino)	Telecom, GSM	Lazio	Dicembre 2005 (Sepe/Esposito/Massucci)	Idonea
50	RPRA (Rocca Priora)	Telecom, GSM	Lazio	Dicembre 2005 (Sepe/Esposito/Massucci)	Idonea
51	NEMI (Nemi)	Telecom, GSM	Lazio	Dicembre 2005 (Anzidei/Sepe/Massucci)	Idonea. In costruzione
52	VIVA (Vivaro)	Telecom, GSM	Lazio	Dicembre 2005 (Anzidei/Galvani/Massucci)	Idonea
53	PONZ (Ponza)	Telecom, GSM	Lazio	2006 (Anzidei/Massucci)	Da valutare
54	ITRI (Itri)	Telecom, GSM	Lazio	Settembre 2005 (Anzidei/Galvani/Massucci)	Idonea.
55	GIUL (Giuliano di Roma)	RUPA	Lazio	Dicembre 2005 (Massucci)	Da valutare diversa collocazione
56	PIAN (Pianezza-Leonessa)	RUPA	Lazio	Ottobre 2005 (Massucci)	Idonea. In costruzione
57	BAGN (Bagnoregio)	Telecom	Lazio	Dicembre 2005 (Galvani)	Idonea
58	NEPI (Nepi)	Telecom	Lazio	Dicembre 2005 (Sepe)	Idonea
59	GAET (Gaeta)	Telecom	Lazio	Ottobre 2005 (Anzidei)	Non idonea
60	CUPO (Cupone-Sila)	Telecom, GSM	Calabria	Luglio 2005 (Anzidei)	Idonea

**STAZIONI GPS PERMANENTI INGV-CNT
CENTRO-NORD ITALIA e CESIS**
situazione aggiornata al 31 dicembre 2005

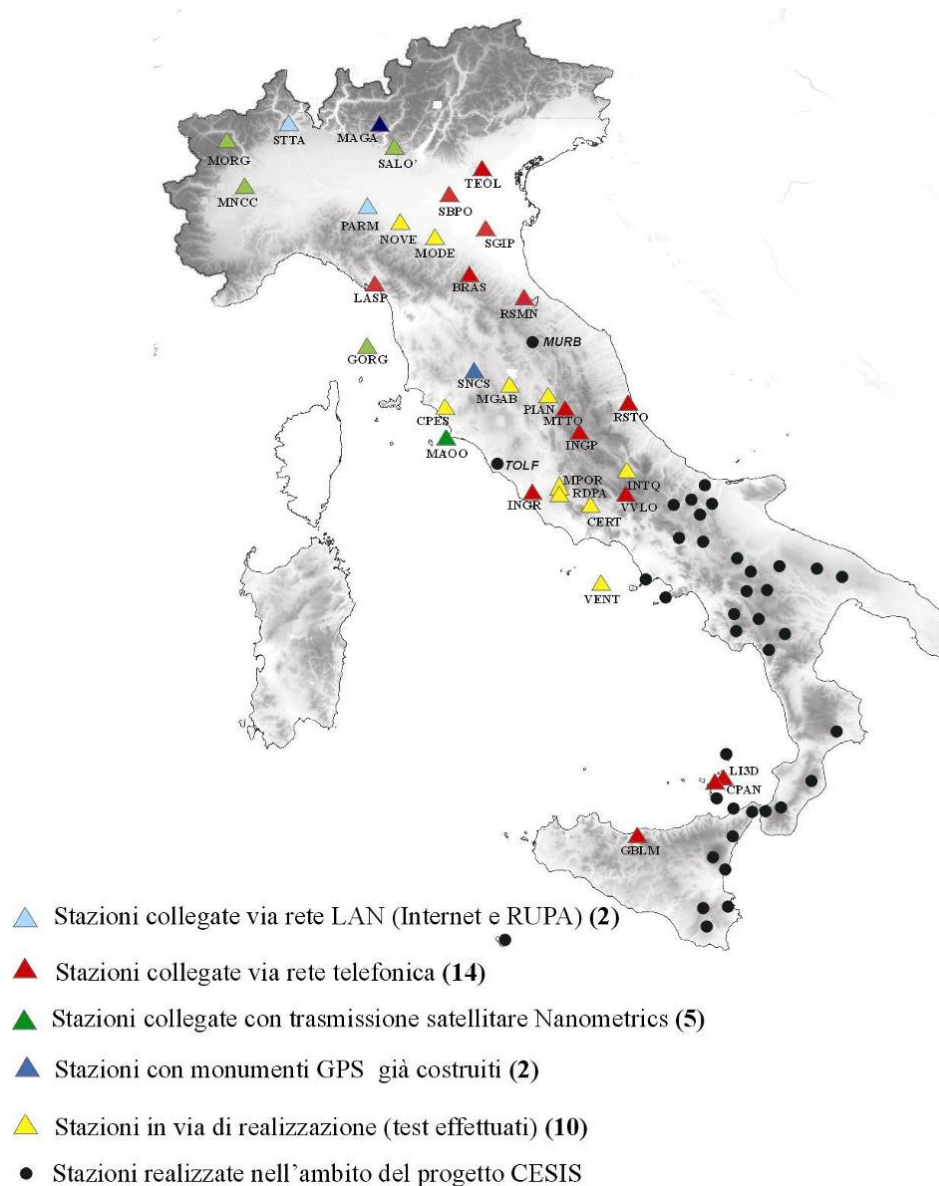


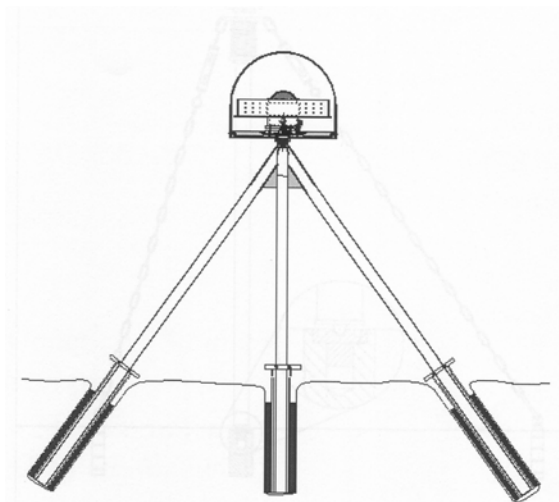
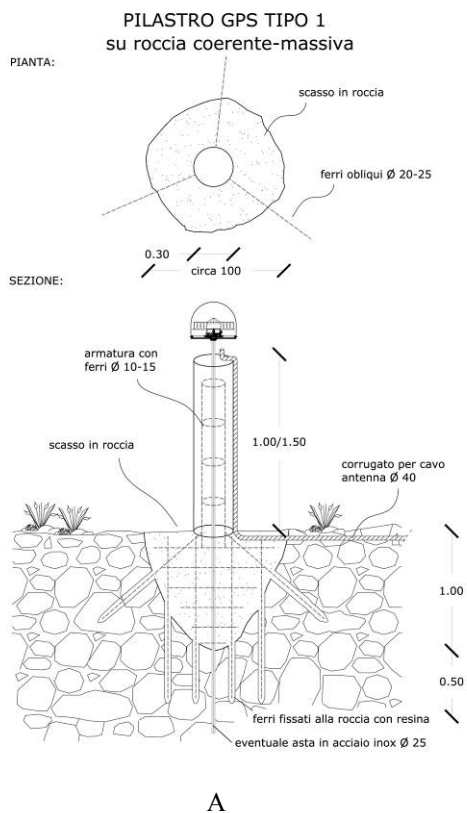
Figura 13 - Stato della rete GPS al termine del 2005.

Le stazioni GPS

I monumenti geodetici delle stazioni GPS della rete permanente sono stati progettati e realizzati con materiali di elevata qualità per essere duraturi nel tempo al fine di disporre di dati geofisici significativi. Per la realizzazione delle opere si ricorre anche a macchine scavatrici (Fig. 14). La collocazione nel territorio è avvenuta prevalentemente su roccia, adottando pilastri in cemento armato con criteri costruttivi adeguati ai terreni presenti e fondazioni dimensionate rispetto al litotipo affiorante (Fig.15).



Figura 14 - Alcune fasi costruttive della stazione GPS di Teolo: a) trivellazione per fondazione; b) collocazione dei ferri; c) gettata in cemento per fondazione; d) ultimazione del pilastro



B

Figura 15 - Schema di collocazione di pilastro in cemento armato con autocentrimento. Il cavo di collegamento antenna/ricevitore scorre nel corrugato dal pilastro fino al ricovero del ricevitore GPS; b) monumento del tipo a tripode, già utilizzato negli USA e utilizzato per la rete GPS Nazionale.

Collocazione dell'antenna

La collocazione dell'antenna geodetica sui pilastri avviene mediante una interfaccia in acciaio inossidabile. A tale scopo vengono adottati due sistemi egualmente efficienti: uno è del tipo adottato negli USA per il monitoraggio delle deformazioni del suolo in California (Southern California Integrated Geodetic Network), l'altro, denominato 3-D/b, è stato progettato all'INGV per questo tipo di applicazioni. Entrambi questi sistemi permettono un accurato montaggio dell'antenna, consentendone la sostituzione in caso di guasto senza perdere la ripetibilità del dato di quota in quanto l'altezza è fissa e il datum verticale e orizzontale sono costanti.

Strumentazione GPS

Al fine di rendere omogenea la rete, sono stati adottati prevalentemente ricevitori GPS Leica dotati di antenne geodetiche Choke Ring con le seguenti caratteristiche: doppia frequenza; codici e fasi su L1 e L2; 24 canali; acquisizione fino a 12 satelliti; passo di campionamento variabile; batteria tampone in caso di mancanza di alimentazione; alimentazione a rete 220 V o mediante pannelli solari; protezione da scariche atmosferiche. L'insieme della strumentazione, antenne, ricevitori e monumenti, costituisce stazioni di tipico uso geodetico per applicazioni geofisiche che rispecchiano gli standard definiti anche dall'IGS-UNAVCO (www.unavco.ucar.edu).

Trasmissione dati

Nel secondo semestre 2005 sono state applicate con successo le tecniche di trasmissione satellitare Nanometrics e RUPA, già sperimentate nel corso del primo semestre dello stesso anno, nelle stazioni in cui è presente una stazione sismica della nuova rete digitale (Fig.4). Questo tipo di comunicazione ha il vantaggio di ridurre i costi di gestione della stazione e di migliorare il trasferimento dati e il controllo del ricevitore GPS remoto. Le linee telefoniche vengono usate in caso di collocazione di sola stazione GPS. In particolare, la rete telefonica commutata viene comunque usata in caso di stazioni GPS poste in luoghi serviti dalla linea fissa della Telecom mentre quella GSM, nei casi in cui non esistano altre possibilità. I dati vengono convogliati presso i server dell'INGV-CNT.

Test di qualità

La realizzazione delle stazioni è stata sempre preceduta da test di acquisizione per verificare il rapporto segnale rumore mediante test di qualità. L'analisi è stata effettuata con il software TEQC (acronimo di Translate, Edit, Quality Check), (Estey and Meertens, 1999; www.unavco.ucar.edu), che consente di analizzare la qualità dei dati, dal conteggio delle riflessioni multiple (multipath) sulle due frequenze per tutti i satelliti disponibili al

momento del test, fino ad una serie di informazioni aggiuntive, come ad es. la visualizzazione e il conteggio dei salti di ciclo (cycle slips). Seguendo questi criteri, sono pertanto stati in genere scartati i siti dove i test di acquisizione presentavano valori di multipath (MP1 e MP2) superiori a 0.50 m (rms) e 0.65 m (rms) che indicano la presenza di sorgenti di disturbo critiche per l'acquisizione di dati di buona qualità.

La stima della qualità del dato viene eseguita effettuando prove di acquisizione per almeno due o tre giorni consecutivi (48/72 ore di dati). Nei casi incerti vengono ripetuti anche per periodi più lunghi prima di procedere alla eventuale costruzione della stazione.



Figura 16 - Stazione integrata sismica e GPS con trasmissione satellitare Nanometrics.

Analisi dati

Nel secondo semestre 2005 è proseguita l'analisi sistematica dei dati GPS provenienti dalle stazioni continue e discontinue. Poiché la rete ha visto un forte incremento nel numero di stazioni GPS, per sostenere la grande quantità di dati prodotti dalla rete, è stato ulteriormente potenziato il sistema di analisi dati per il calcolo delle soluzioni GPS con i software Bernese, Gamit/GlobK e Gipsy. In particolare nel secondo semestre si è proceduto ad una riorganizzazione dello schema di processamento che ora utilizza due PC-Intel dotati di processori dual-Xeon e sistema operativo Linux, cu cui è collocata la

versione 10.21 del software Gamit/GlobK e 1.30 del del software di post processamento QOCA. Sono stati aggiornati i programmi per lo scarico automatico dei dati Rinex da server remoti per la creazione e archivio di dati e meta dati. E' stato mantenuto e aggiornato l'archivio di dati RINEX e dei meta-data necessari al processamento (orbite precise e trasmesse, EOP, ecc) e sono state migliorate le procedure automatiche per la gestione dell'archivio, secondo gli standard IGS (Fig.17).

L'archivio ora viene duplicato su due diversi dischi di back-up e condiviso dalle macchine che processano i dati. Sono stati effettuati calcoli di soluzioni giornaliere e settimanali, includendo nell'analisi anche dati provenienti da altre stazioni GPS permanenti presenti nell'area italiana e mediterranea, attraverso la produzione di soluzioni giornaliere e settimanali (in formato H-file del Gamit, e SINEX). Sono state realizzate e aggiornate soluzioni combinate del campo di velocità 2-D e 3-D, anche includendo le stazioni GPS delle reti non permanenti.

Al termine del 2005, il processamento effettuato con il software Gamit/Globk usa dati provenienti da più di 180 stazioni permanenti distribuite in Italia e nelle regioni limitrofe, afferenti a reti gestite da enti Italiani e stranieri (Fig.17). I dati vengono elaborati seguendo uno schema di processamento distribuito per ottimizzare le risorse di calcolo. Attualmente la rete è suddivisa in 3 cluster che vengono analizzati separatamente su tre differenti computer in ambiente Linux e Sun/Solaris. Le serie temporali di tutte le stazioni, trasformate nel sistema ITRF2000, vengono analizzate per stimare diversi parametri: velocità, offset, segnali stagionali annuali e semi-annuali. Parallelamente al calcolo effettuato con il software Gamit/GlobK, viene analizzato con il software Bernese un cluster di stazioni costituito dalle stazioni permanenti INGV-CNT, insieme ad un set di stazioni afferenti alla rete dell'Agenzia Spaziale Italiana e della rete GPS CESIS.

I dati vengono analizzati tramite la procedura automatica (BPE) del software BERNESE (versione 5.0) su base giornaliera, producendo per ogni giorno un file di coordinate (.crd), uno contenente la matrice di covarianza delle coordinate stesse (.cov) e un file contenente i ritardi troposferici (.trp) stimati ogni ora, di interesse per eventuali applicazioni meteorologiche. Successivamente vengono calcolate le soluzioni settimanali, inquadrare nel sistema di riferimento ITRF2000, con produzione di file settimanali in formato internazionale SINEX (.snx), contenenti coordinate e relative matrici di covarianza. Tali file SINEX sono già disponibili al momento solo per utenti INGV. Parte delle serie temporali delle soluzioni giornaliere ITRF2000 delle stazioni INGV, ripulite dagli outlier, sono disponibili sul sito WEB dell'Unità Funzionale Reti GPS e Geodesia:

<http://www.ingv.it/%7eroma/profilo/fondazione/sezioni/cn/UF-Geodesia/frames/retiGPS-frame.html>

La combinazione delle analisi dei dati provenienti da reti GPS permanenti con quelli delle reti non permanenti ha portato alla stima del campo di velocità e delle caratteristiche cinematiche attive nel Mediterraneo centrale, con particolare riferimento all'area italiana (Fig. 18).

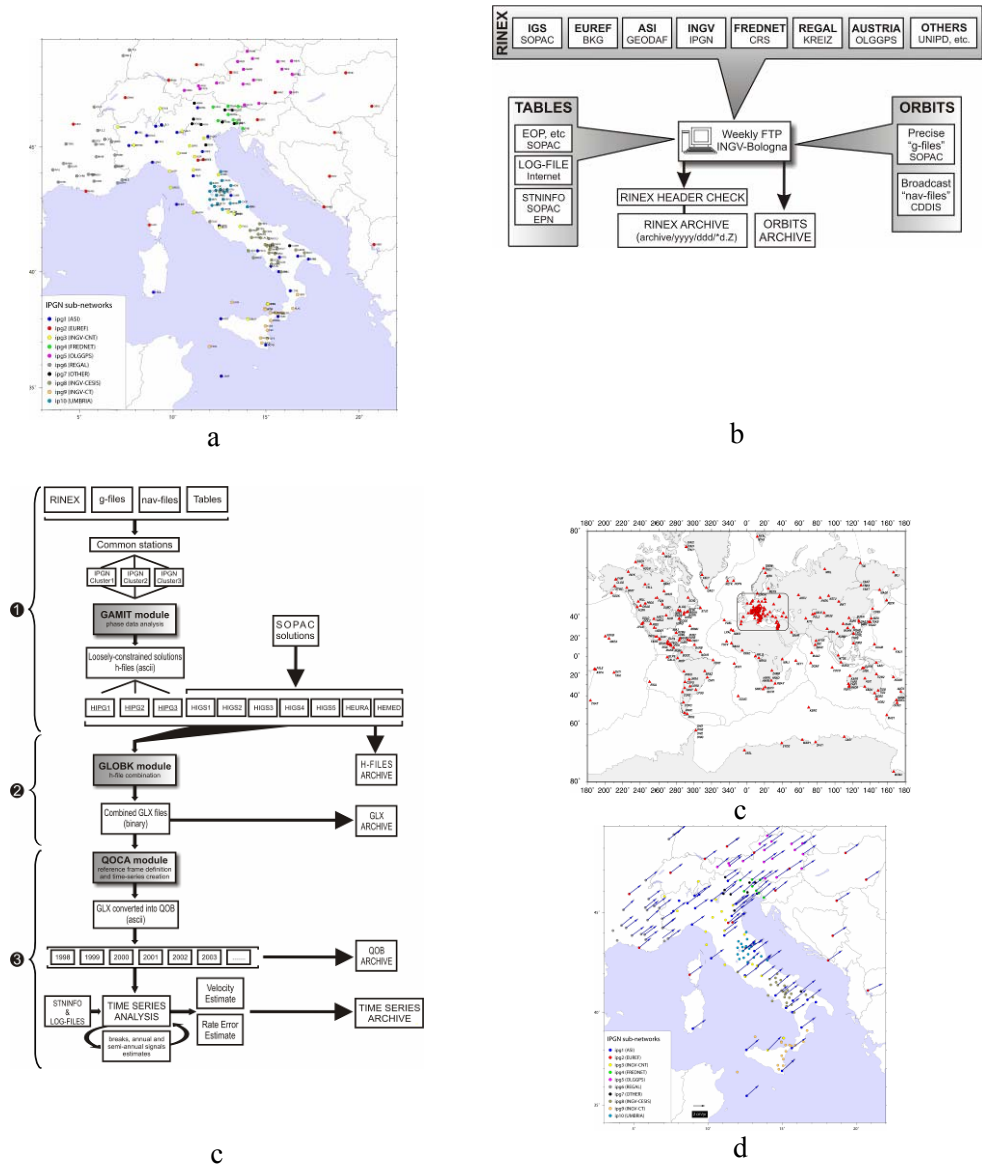


Figura 17 - La rete di stazioni GPS permanenti i cui dati RINEX sono attualmente trasferiti e analizzati con il software Gamit/GlobK (INGV Bologna). a) Stazioni CGPS di cui vengono analizzati i dati; b) schema dell'archivio dati; c) schema del sistema di procesamiento automatico con Gamit/Globk; d) velocità ITRF2000 per le stazioni CGPS che hanno più di 1.8 anni di dati.

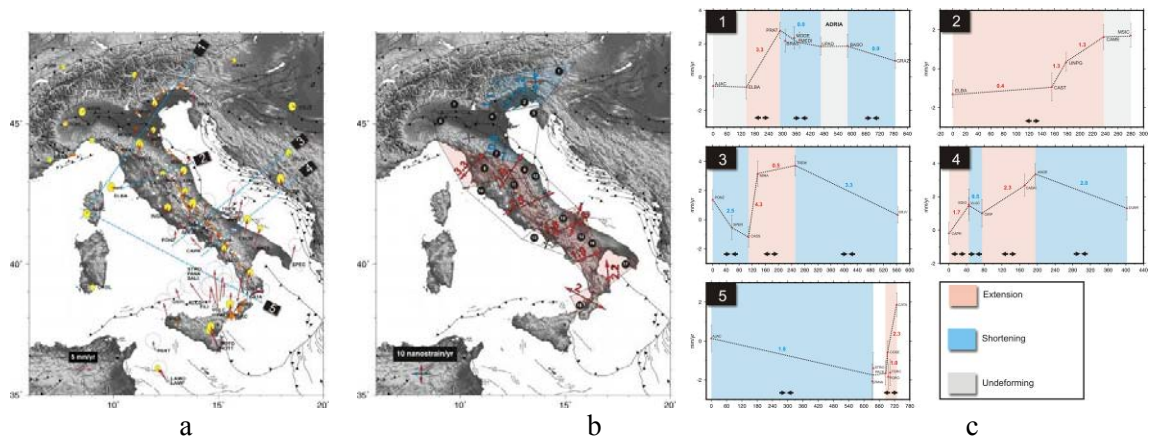


Figura 18 - a) campo di velocità GPS in un sistema Eurasiatico dalla combinazione di dati provenienti da stazioni permanenti e non permanenti; b) schema semplificato della cinematica del Mediterraneo centrale da dati GPS. Freccie rosse = estensione, frecce blu = compressione, frecce bianche = velocità residue medie; c) profili di velocità tracciati come mostrato in fig.a (da Serpelloni et al, Annals of Geophysics, 2005, in stampa).

ATTIVITÀ DI POTENZIAMENTO DELLE RETI DI MONITORAGGIO SISMICO E DELLA RETE GPS NAZIONALE

Nel corso del secondo semestre del 2005 sono stati fatti numerosi investimenti per potenziare le reti di monitoraggio e le infrastrutture connesse. In particolare, gli investimenti riguardano i settori descritti nell'allegato tecnico alla Convenzione triennale INGV - Dipartimento di Protezione Civile:

- Reti di Monitoraggio Sismico (Rete Sismica Nazionale, Rete Mobile, MedNet).
- Rete GPS nazionale.

Gli investimenti fatti nel secondo semestre 2005 sono relativi ad un nuovo sistema per l'archiviazione dei dati delle varie reti di monitoraggio gestiti dal CNT-INGV e ad una licenza software illimitata per lo scambio dati delle reti sismiche basate su tecnologia Nanometrics (InterNaqs).

Rete Sismica Nazionale

Una frazione significativa degli investimenti del 2005 è dedicata al potenziamento delle stazioni satellitari, con l'introduzione del canale accelerometrico (buoni d'ordine n. 529 e 541). Infatti i primi test effettuati su stazioni a 6 canali, con sensore strong-motion on demand, hanno dato risultati molto positivi, grazie anche allo sviluppo di un software apposito (in parte realizzato all'interno dell'Istituto, e in parte dalla ditta Nanometrics) per la richiesta automatica dei dati interessanti in caso di eventi sismici significativi.

Altre spese hanno riguardato l'ulteriore potenziamento della parte di rete a trasmissione satellitare (buono 539), e l'acquisto di sensori broad-band anche per la frazione di rete a trasmissione terrestre, finora equipaggiati con sensore a banda estesa (buono 542).

Discorso a parte merita l'ordine per il nuovo nucleo di rete di pronto intervento (buono n. 540): dopo vari tests e analisi di mercato, si è deciso di adottare la tecnologia Nanometrics, con un sistema di trasmissione misto UHF-Spread Spectrum-Satellitare, onde garantire la piena integrabilità della rete di pronto intervento con la rete permanente centralizzata; il concetto di base è una gestione centralizzata ed unificata dei segnali provenienti sia dalla rete permanente che dalla rete temporanea installata in caso di emergenze, onde garantire un controllo in tempo reale dell'evoluzione spazio-temporale delle sequenze sismiche.

Prosegue inoltre lo sviluppo dell'acquisitore sismico GAIA2, prodotto dal Laboratorio di Sismologia Sperimentale del CNT (buoni n. 500 e dal 627 al 634): si è usciti dalla fase prototipale e si è iniziata la produzione effettiva, che consentirà nei prossimi anni di garantire la strumentazione sia per le stazioni della rete nazionale centralizzate tramite trasmissione terrestre, sia di adottare tale strumentazione per altri utilizzi più specifici.

Per quanto riguarda lo sviluppo di stazioni sismiche da fondo mare, avviato nel 2004, gli investimenti 2005 sono stati destinati al completamento degli acquisti della strumentazione sismica (buoni d'ordine 506-607-609), dei cavi e connettori (buoni d'ordine 604-605), delle batterie (buoni d'ordine 595-599), delle boe di spinta (buoni d'ordine 603-608) da installare a bordo degli OBS (Ocean Bottom Seismometer).

E' stato completato il nuovo laboratorio indispensabile per l'assemblaggio ed i test degli OBS e dotato della specifica strumentazione (buoni d'ordine 552-572-598-600-601).

Durante l'anno 2005 è stato messo a punto e sperimentato con successo un sistema di recupero in emergenza degli stessi OBS nel caso di uno sgancio fortuito della zavorra che tiene la stazione ancorata al fondo marino, quando operativa, ed è stata acquistata la strumentazione occorrente per implementare detto sistema sul primo gruppo di strumenti (buoni d'ordine parte 603-606) .

E' stata acquistata una coppia di radiomodem di potenza operanti in banda UHF per sperimentare la possibilità di collegamento delle stazioni digitali, già in dotazione alla rete mobile dell'INGV, installate in siti remoti fino al carro sismico in occasione di interventi della rete mobile a seguito di forti terremoti (buono d'ordine 602).

Ricevitori GPS per rete nazionale

Nel 2005 parte degli investimenti è stata dedicata al potenziamento delle stazioni GPS per il monitoraggio geodetico mediante una rete GPS continua a scala nazionale (15 stazioni, buono n. 520). E' stata data prevalenza alla co-locazione di queste stazioni con le stazioni

della rete sismica nazionale, in particolare con quelle dotate di trasmissione satellitare Nanometrics. Le stazioni dimostrano un funzionamento molto positivo, grazie allo sviluppo di software dedicati realizzati anche in collaborazione con la Leica Geosystem (ditta produttrice della strumentazione GPS), per il trasferimento e archiviazione automatica dei dati. Sono stati parallelamente mantenuti e sviluppate stazioni con sistema di comunicazione via linea telefonica commutata e GSM e sono iniziate le sperimentazioni per l'utilizzo della linea RUPA. Altre spese hanno riguardato la costruzione dei monumenti geodetici e dei sistemi di calcolo e archiviazione dati.

STAZIONI ACCELEROMETRICHE IN ITALIA SETTENTRIONALE

(a cura dell'INGV - Sezione di Milano)

Come noto, l'Italia Settentrionale è una regione a sismicità relativamente bassa (con l'esclusione del Friuli), in termini sia di rilascio medio di energia sia di frequenza degli eventi. Le conoscenze attuali non consentono tuttavia di escludere il verificarsi, con bassa probabilità di occorrenza, di terremoti medio-forti, come testimoniato da eventi storici ancora poco definiti (1117, 1222, ecc.) o abbastanza conosciuti ma la cui associazione a sorgenti resta da definire (es. 1695, ecc.). A fronte di questo quadro sismico, la stessa regione presenta un'alta esposizione al terremoto, in ragione dell'elevato numero di abitanti e della elevata industrializzazione di alcune aree. A titolo di esempio possiamo considerare il recente terremoto del 24 Novembre 2004 (zona Lago di Garda, ML5.2). Questo terremoto è stato risentito in tutto il nord Italia ed ha fortemente interessato 66 comuni nell'area epicentrale danneggiando circa 3700 edifici (coinvolgendo 2500 persone) e 300 chiese per un danno stimato dell'ordine dei 215 milioni di Euro. Nella zona prossima all'epicentro si è attivato il solo accelerometro analogico della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) installato a Gavardo, a circa 10 km. Questa carenza di stazioni accelerometriche era ben nota ed a tale proposito la Sezione ha elaborato un progetto, denominato "Stazioni accelerometriche in Italia Settentrionale", finalizzato nel giugno 2005 e che ha visto l'avvio con un finanziamento iniziale di 180.000 Euro sui fondi DPC-Convenzione 2004-2006, art. 5b.

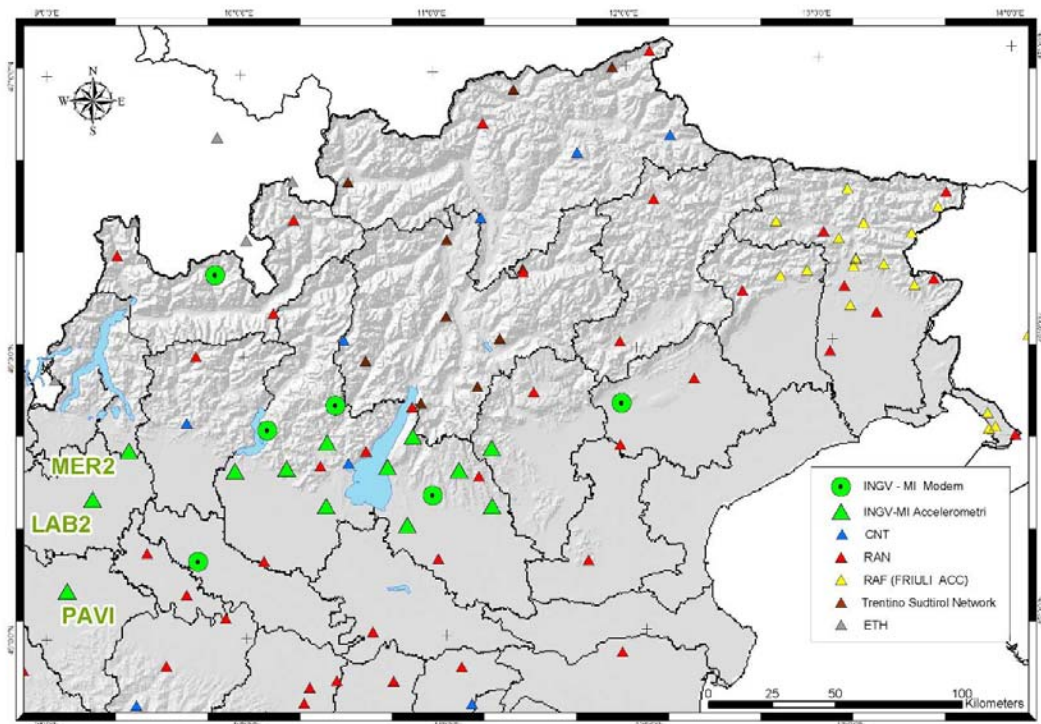


Figura 1 - Stazioni di registrazione esistenti (dicembre 2005) ed accelerometri in progetto (prima fase).

In aree a sismicità relativamente bassa diventa più che necessario raccogliere e distillare il maggior numero possibile di informazione dai terremoti che si verificano.

Si tratta quindi di aumentare la capacità di detezione delle reti di monitoraggio (operazione in corso ad opera di CNT) e, in modo complementare, di sviluppare la raccolta di dati accelerometrici.

Per il progetto di installazione di sensori accelerometrici nel nord Italia si è sin dall'inizio considerata la piena integrazione con le stazioni accelerometriche esistenti, anche se appartenenti ad altre istituzioni, in modo da evitare inutili doppioni e spreco di risorse finanziarie ed umane.

L'acquisto della strumentazione (in particolare per quanto concerne i sensori accelerometrici) è stato programmato in accordo con altre Sezioni dell'INGV coinvolte in progetti simili. A luglio 2005 una apposita commissione interna INGV costituita da esperti del settore delle Sezioni di Milano, CNT e Roma-1 ha effettuato una valutazione della strumentazione proposta dalle case produttrici specializzate che offrono prodotti tecnologicamente avanzati e siano inoltre supportate da adeguate strutture di sviluppo e di assistenza.



Figura 2 - Esempio installazione stazione accelerometrica e velocimetrica per il sito MER2 (Merate).

E' stato scelto il sensore Episensor FBA ES-T, un accelerometro triassiale con oltre 155 dB di dinamica prodotto dalla Kinematics Inc. Con la dotazione finanziaria disponibile dalla Convenzione per il secondo semestre del 2005, si è proceduto all'acquisto di 30 sensori accelerometrici che sono stati consegnati alla Sezione di Milano alla fine di agosto. Per gli acquisitori si è scelto di adottare i nuovi acquisitori (GAIA2 a 24 bit) prodotti dal Laboratorio Strumentale del CNT, che erano in fase di avanzata realizzazione nel corso del 2005. Tale scelta consente un ulteriore significativo abbattimento dei costi. Nell'attesa della consegna, c

ui farà seguito una fase di sperimentazione con installazione in siti di prova, si è effettuato il monitoraggio accelerometrico con acquisitori a dinamica lievemente inferiore (20 bit). Nel secondo semestre del 2005 sono stati installati i primi 3 accelerometri, indicati in Fig. 1 con le sigle LAB2, MER2 e PAVI, a Milano (pochi giorni dopo la consegna degli accelerometri, nei fondi dell'edificio della nostra Sezione), Merate (LC, in ottobre presso la locale sede dell'Osservatorio Astronomico di Brera, Figura 2) ed a Pavia (a dicembre presso la sede dell'EUCENTRE).

Tali accelerometri sono stati affiancati a delle stazioni velocimetriche ad alta dinamica e broad-band. E' stato quindi possibile confrontare direttamente i segnali acquisiti dalle 2 differenti tipologie di sensori, confermando la possibilità di utilizzare anche le registrazioni velocimetriche per studi accelerometrici (Fig. 3).

L'area oggetto del potenziamento strumentale in atto potrà anche usufruire del recupero di informazioni accelerometriche da registrazioni velocimetriche effettuate negli anni passati ed utilizzare in maniera completa tutti i dati dai canali velocimetrici delle stazioni di altre reti sismiche attualmente acquisiti presso la Sezione di Milano, oltre che naturalmente dalle altre stazioni velocimetriche gestite direttamente dalla Sezione di Milano in Lombardia e Veneto (9 stazioni nel secondo semestre del 2005).

Storicamente l'accelerometria strong motion si è evoluta come fondamentale strumento di ausilio e sviluppo per l'ingegneria sismica.

Tuttavia gli usi di gran lunga più significativi dei dati accelerometrici si registrano da un lato nella progettazione e verifica ingegneristica delle strutture (oggi si tende sempre di più a eseguire analisi di risposta strutturale nel dominio del tempo, con accelerogrammi reali come eccitazione), e dall'altro nell'ambito di studi della pericolosità sismica, attraverso le relazioni di attenuazione di parametri del moto del suolo (possibilmente su base tettonico-regionale), lo studio quantitativo degli effetti di sito e la caratterizzazione del comportamento non lineare (e la stabilità) dei terreni.

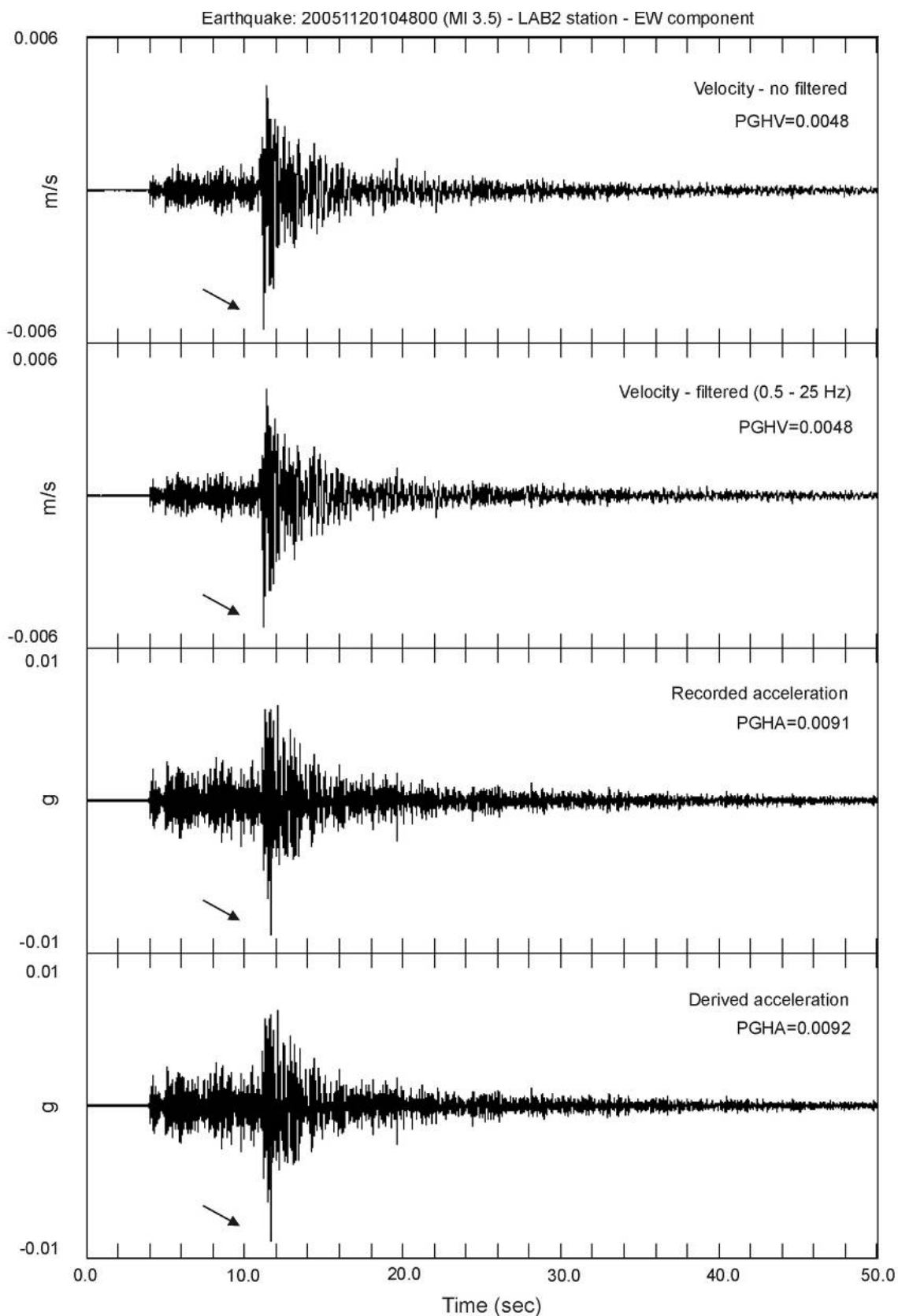


Figura 3 - Esempio di sismogrammi registrati da una stazione velocimetrica ed accelerometrica in uno stesso sito.

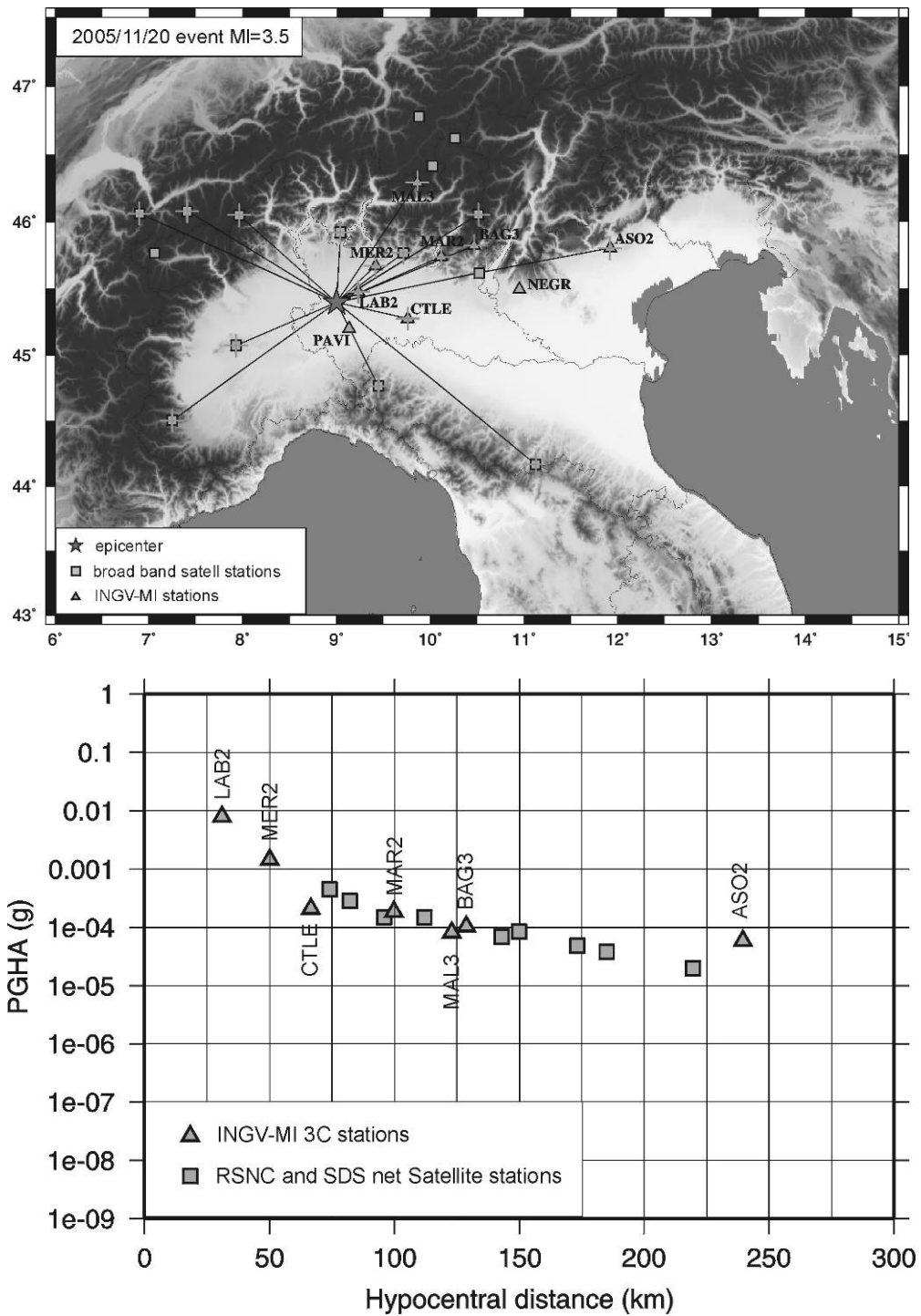


Figura 4 - Valori delle accelerazioni di picco per l'evento del 20 Novembre 2005 (ML=3.5).

In Figura 4 è riportata, a titolo di esempio, un'analisi effettuata sul terremoto del 20 Novembre 2005 localizzato e risentito in provincia di Milano. Dall'insieme di osservazioni di questo tipo è possibile, ad esempio, definire delle stime quantitative dell'attenuazione dei parametri del moto del suolo.

Nel corso del secondo semestre del 2005 la Sezione di Milano si è inoltre occupata, per conto ed in collaborazione del CNT, della trasformazione di un sito precedentemente allestito con un sensore velocimetrico monocanale in una nuova installazione di una stazione satellitare costituita da sensori accelerometrico e velocimetrico a tre componenti broad-band (stazione MDI, provincia BG) ed ha contribuito all'installazione di un'altra stazione satellitare nei pressi di Salò (provincia BS).

La Sezione di Milano, nell'ambito del potenziamento delle reti di monitoraggio, sta dunque sviluppando in particolare gli aspetti relativi all'acquisizione e gestione dei dati accelerometrici nel settore dell'Italia Settentrionale. L'area di studio, come mostrato in Fig.1, ricade principalmente in Lombardia e Veneto, in particolare nelle province di Brescia, Verona, Vicenza, Padova, Belluno e Treviso. Al termine della prima parte del progetto, che riguarderà una fase di verifica di funzionamento dei nuovi acquisitori GAIA2 e delle caratteristiche di stabilità ed efficienza dei sistemi di trasmissione sulle prime 10 installazioni previste, si procederà ad una successiva fase di ricerca siti ed all'installazione delle altre 20 stazioni accelerometriche disponibili. Al termine del progetto di potenziamento si ridurrà quindi l'interdistanza media delle stazioni accelerometriche in questo settore dai 50 km del novembre 2004 a circa 15-20 km, permettendo inoltre di strumentare aree attualmente sprovviste di sensori accelerometrici di moderna generazione.

VULCANI DELL'AREA NAPOLETANA E DI STROMBOLI

(a cura dell'INGV – Osservatorio Vesuviano, Napoli)

MONITORAGGIO SISMICO¹

La Rete Sismica dell'Osservatorio Vesuviano (RSOV) è costituita da stazioni sismiche analogiche a corto periodo (20 a una componente e 12 a 3 componenti), stazioni digitali a larga banda (3 a 3 componenti) e dilatometri (6) con trasmissione continua dei segnali al Centro di Monitoraggio. La Rete è progettata per il monitoraggio delle aree vulcaniche attive della Campania (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia) e fornisce informazioni relative alla sismicità a scala regionale in collaborazione con la Rete Sismica Nazionale Centralizzata (INGV – Centro Nazionale Terremoti). L'attuale geometria della rete, in condizioni di basso rumore sismico di fondo, consente di localizzare in maniera affidabile anche alcuni eventi sismici con $M \leq 1$, nelle aree del Vesuvio e dei Campi Flegrei. La ricezione dei segnali delle stazioni della RSOV è centralizzata presso un punto di raccolta dati sito in via Manzoni ed è basato prevalentemente su trasmissione radio e subordinatamente su linee telefoniche dedicate. Da qui i dati sono trasmessi al Centro di Monitoraggio, sito in via Diocleziano mediante protocollo TCP/IP su linea dedicata. In Tab.2 sono riportati i dettagli di configurazione delle stazioni della rete permanente OV e nella Fig. 1 è rappresentata la relativa mappa.

Le stazioni analogiche sono equipaggiate con sismometri a corto periodo (1s); quelle a componente verticale con sensori Mark L4-C o Geotech S13, mentre quelle a tre componenti sono dotate di sensori Mark L4-3D o terne di sensori Geotech S13. Gli apparati di amplificazione e modulazione sono stati sviluppati e realizzati dal Laboratorio di Manutenzione e Sviluppo della Rete Sismica (sistema MARCAP). Questi apparati hanno sostituito i precedenti modulatori in esercizio (Lennartz Mars-66), ormai obsoleti. La trasmissione dei segnali è effettuata prevalentemente mediante telemetria UHF con apparati radio sintetizzati a banda stretta (ERE PMDU2000) programmabili via porta RS-232 su tutta la banda operativa (430-450 MHz). Per alcune stazioni (NIS, STH, DMP, SFT, PE9 e TR9) la trasmissione è realizzata mediante linea telefonica dedicata (CDA). Le stazioni digitali a larga banda sono equipaggiate con sensori a 3 componenti Guralp CMG-40T con risposta in frequenza 60s – 50Hz. I dati sono digitalizzati a 100Hz da un acquisitore locale costituito da una stazione Kinematics K2 e trasmessi in continuo via porta seriale RS-232 a 9600 baud mediante telemetria UHF. Gli apparati ricetrasmittitori

¹A cura di: M. Martini, G. Borriello, C. Buonocunto, M. Capello, A. Caputo, L. D'Auria, W. De Cesare, A. Esposito, F. Giudicepietro, D. Lo Bascio, M. Orazi, R. Peluso, P. Ricciolino, G. Scarpato, G. Talarico

sono costituiti da radio-modem SATEL mod. SATELLINE 3AS a banda stretta con canalizzazione a 12.5 kHz.

Per tutte le stazioni il sistema di alimentazione primaria è garantito dalla linea elettrica o da pannelli solari da 75W. Un sistema di alimentazione a tampone con caricabatteria KERT da 3A e batterie al piombo sigillate FIAMM da 70 A/h garantisce un'autonomia di 3-4 giorni in caso di interruzione della corrente elettrica.

I sistemi di ricezione ed acquisizione dei dati della rete analogica sono ospitati dal febbraio 2004 in un container messo a disposizione del Dipartimento di Protezione Civile. L'attuale sistemazione di detti sistemi è da ritenere provvisoria in attesa di una collocazione più idonea.

Sviluppo della rete

Nel corso del II semestre 2005 è stata effettuata la conversione della stazione analogica 1C CAI (Castello Aragonese, Ischia) in stazione analogica a 3C.

Durante il II semestre 2005, è proseguita la realizzazione delle infrastrutture per la trasmissione in tempo reale, dei segnali acquisiti dalle stazioni dilatometriche installate al Vesuvio ed ai Campi Flegrei verso il centro di acquisizione di Via Diocleziano. Tale trasmissione è attualmente implementata attraverso link ADSL. Tale attività è stata svolta in collaborazione con l'Università di Salerno, nell'ambito del Centro Regionale di Competenza AMRA. In Tab.1 sono mostrate le caratteristiche delle stazioni con la data di inizio della trasmissione in tempo-reale dei segnali. In Tab. 2 è illustrato un quadro riassuntivo della configurazione attuale della rete sismica, la cui mappa è mostrata in Fig. 1.

Tabella 1 – Posizione e data inizio trasmissione per i dilatometri installati al Vesuvio ed ai Campi Flegrei.

Codice	Località	Lat.	Long.	Data inizio trasmissione
CMDT	Camaldoli della Torre (<i>Vesuvio</i>)	40°46'46"	14°24'32"	Dic. 2004
SANA	S. Anastasia (<i>Vesuvio</i>)	40°52'36"	14°22'53"	Nov. 2005
EROV	Osservatorio Vesuviano (<i>Vesuvio</i>)	40°49'42"	14°23'44"	Sett. 2005
MRUS	Monte Rusciello (<i>Campi Flegrei</i>)	40°51'4"	14°04'47"	Sett. 2005
QUAR	Quarto (<i>Campi Flegrei</i>)	40°53'07"	14°53'06"	Sett. 2005
ARCO	Arco Felice (<i>Campi Flegrei</i>)	40°50'37"	14°05'35"	Sett. 2005

Tabella 2 – Stazioni della rete sismica al 31/12/2005.

Stazione	Sigla	Tipologia	Trasmissione
Osservatorio Vesuviano	OVO	Analogica 3C	Radio diretta
Bunker Est	BKE	Analogica 3C	Radio ponte su PPV
Cappella Vecchia	CPV	Analogica 3C	Radio diretta
Ercolano	HR9	Analogica 1C	Radio diretta
Torre del Greco	TDG	Analogica 1C	Radio diretta
San Sebastiano	SSB	Analogica 1C	Radio diretta
S. Maria del Castello	SMC	Analogica 1C	Radio ponte su Nola
Ottaviano	OTV	Analogica 1C	Radio ponte su Nola
Terzigno	TRZ	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Pompei	PPV	Analogica 1C	Radio diretta
Array Bunker Est 1	BE1	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Array Bunker Est 2	BE2	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Array Bunker Est 3	BE3	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Osservatorio Vesuviano	OVB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Pollena	POB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Nisida	NIS	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Solfatara Tennis Hotel	STH	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Deposito Marina	DMP	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Solfatara	SLF	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Pozzuoli	POZ	Analogica 1C	Radio ponte su BAC
Baia	BAC	Analogica 1C	Radio diretta
Astroni Est	ASE	Analogica 1C	Radio diretta
Astroni Ovest	ASO	Analogica 1C	Radio diretta
Posillipo	CAP	Analogica 1C	Diretta via cavo
Solfatara	SOB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Casamicciola	OC9	Analogica 3C	Radio diretta
Castello Aragonese	CAI	Analogica 3C	Radio diretta
Forio d'Ischia	FO9	Analogica 1C	Radio ponte su Massico
San Gregorio Matese	SGG	Analogica 3C	Radio ponte sul Vesuvio
Trevico	TR9	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Sorrento	SOR	Analogica 3C	Radio diretta
Monte Massico	MSC	Analogica 1C	Radio ponte sul Vesuvio
Pescosannita	PE9	Analogica 1C	Linea telefonica CDA
Nola	NL9	Analogica 1C	Radio diretta
Monte Stella	MT9	Analogica 1C	Radio diretta
Camaldoli della Torre	CMDT	Dilatometro	Link ADSL
Osservatorio Vesuviano	EROV	Dilatometro	Link ADSL
S.Anastasia	SANA	Dilatometro	Link ADSL
Quarto	QUAR	Dilatometro	Link ADSL
Monte Ruscello	MRUS	Dilatometro	Link ADSL
Arco Felice	ARCO	Dilatometro	Link ADSL

INGV - Osservatorio Vesuviano

Rete permanente di monitoraggio sismico

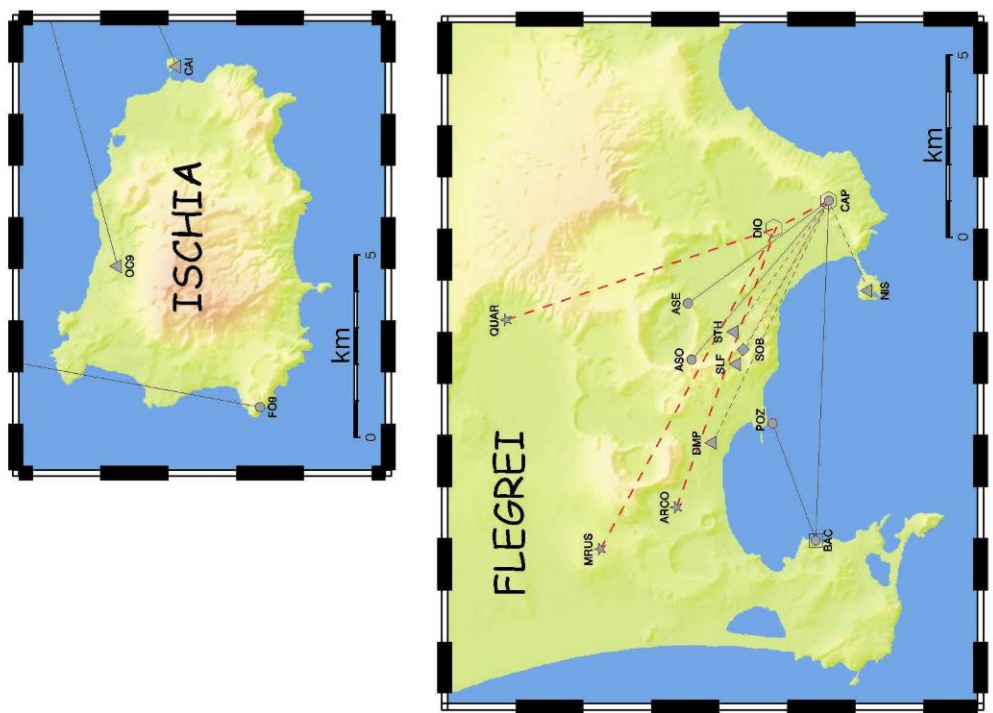


Fig. 1 - Mappa della rete sismica dell'Osservatorio Vesuviano

Sala di monitoraggio

La sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano è destinata alla sorveglianza del Vesuvio, dei Campi Flegrei e di Ischia. In essa, dal maggio 2003, si svolgono anche le attività per la sorveglianza dello Stromboli, utilizzando i segnali in trasmissione continua della rete sismica a larga banda installata sull'isola a seguito della crisi eruttiva Dic. 2002 - Lug. 2003.

La sala riceve i dati trasmessi da 48 stazioni sismiche (di cui 13 da Stromboli), tra monocomponenti e triassiali e 6 dilatometriche (con 6 canali ciascuna), per un totale di 138 canali, installate nelle aree citate ed è dotata di sistemi per la visualizzazione e l'analisi dei segnali in tempo reale, con procedure automatiche e manuali. Nella sala si svolgono i turni di sorveglianza e da qui partono le comunicazioni alle autorità di Protezione Civile.

Dal gennaio 2000 l'acquisizione, parte della trasmissione dati, la visualizzazione e l'analisi automatica dei segnali della rete analogica sono effettuate utilizzando i moduli software del Sistema Sismometrico Modulare Integrato (SISMI), sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano. Per l'analisi manuale "off Line" è utilizzato il programma Winpick, in uso anche presso il laboratorio sismico. Per l'acquisizione dei segnali delle stazioni a larga banda della rete di monitoraggio dei vulcani della Campania è stato installato un sistema, considerato provvisorio, che sfrutta il software di acquisizione IASPEI e realizza la temporizzazione dei segnali grazie a un dispositivo hardware-software sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano.

Oltre ai sistemi fin qui citati nella sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano è utilizzato anche Earthworm (USGS) per le localizzazioni automatiche degli eventi sismici delle aree flegrea e vesuviana e per l'importazione ed esportazione dei dati da e verso le altre sezioni INGV ed i sistemi di acquisizione remoti della rete a larga banda di Stromboli.

Analisi e archiviazione dei dati

I dati acquisiti dalla rete sismica sono analizzati quotidianamente dal personale del laboratorio sismico che effettua la detezione, la classificazione, la stima della Magnitudo e la localizzazione ipocentrale degli eventi. I risultati delle analisi (letture delle fasi, parametri ipocentrali) e le forme d'onda, sono inserite in una banca dati relazionale (GeoVes) che è dotata di un'interfaccia web dinamica che consente un accesso rapido ai dati. Tale struttura consente inoltre di effettuare in maniera immediata analisi statistiche su tutto il data set. Il laboratorio sismico cura, inoltre, l'aggiornamento dei cataloghi sismici delle aree vulcaniche monitorate ed effettua analisi di maggior dettaglio per eventi di particolare interesse.

Le forme d'onda delle stazioni a 3 componenti, sia analogiche che digitali e dei dilatometri sono archiviate in maniera completa, mentre per le altre stazioni sono conservate solo le forme d'onda relative agli eventi.

Sismicità

Nel corso del II semestre 2005 la rete sismica permanente dell'Osservatorio Vesuviano ha registrato 1214 eventi, di cui 564 eventi artificiali (probabili esplosioni) (vedi Tab. 3).

La distribuzione per area geografica degli eventi registrati è mostrata in Fig. 2, mentre la distribuzione per tipologia è riportata in Fig. 3.

Tabella 3 – Eventi locali registrati dalla rete sismica, raggruppati per tipologie ed area.

	VESUVIO	CAMPI FLEGREI	ISCHIA	REGIONE CAMPANIA	TOTALE
TERREMOTI	279	89	2	122	492
LONG PERIOD	2	0	0	0	2
ESPLOSIONI	430	13	0	121	564
FRANE	45	0	0	0	45
ALTRO	84	8	8	11	111
TOTALE	840	110	10	254	1214

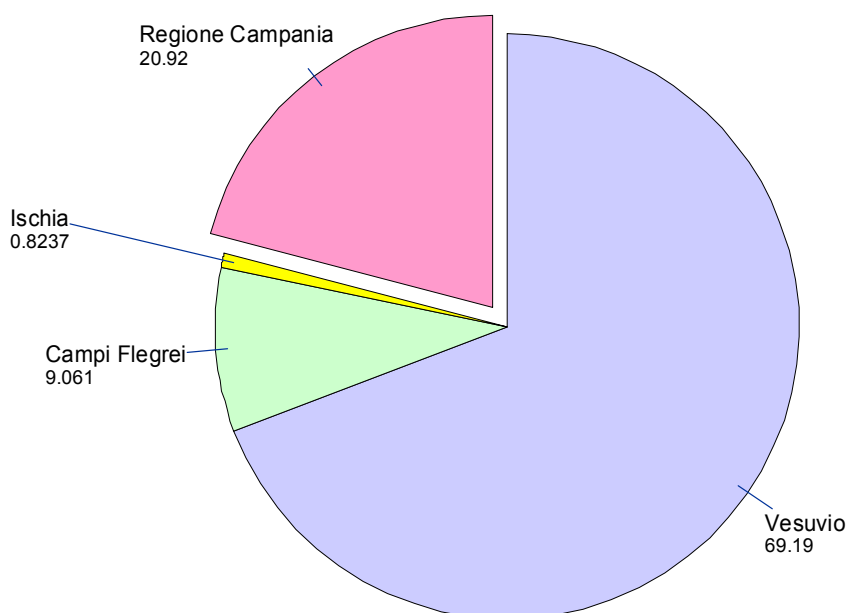


Figura 2 – Distribuzione percentuale degli eventi per area geografica nel II semestre 2005.

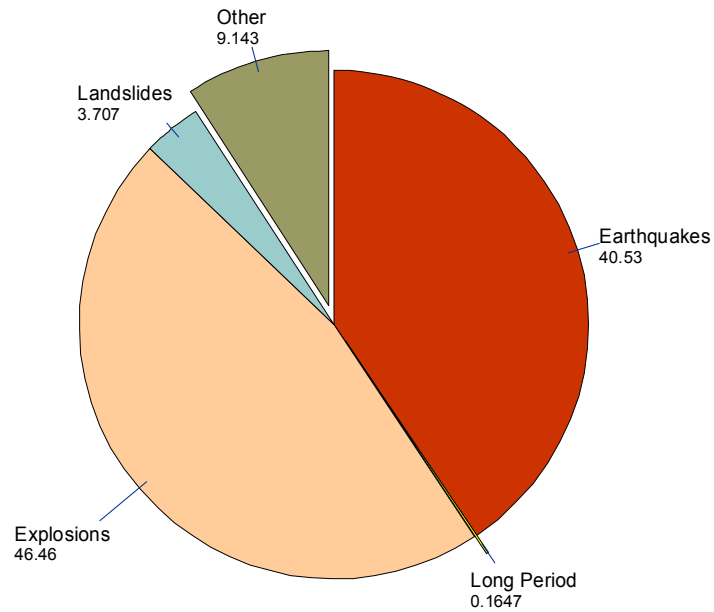


Figura 3 – Distribuzione percentuale degli eventi per tipologia nel II semestre 2005.

Vesuvio

Nel corso del II semestre 2005, la rete sismica del Vesuvio (Fig. 4) ha registrato un totale di 840 eventi locali ripartiti nelle diverse tipologie riportate in Fig. 5.

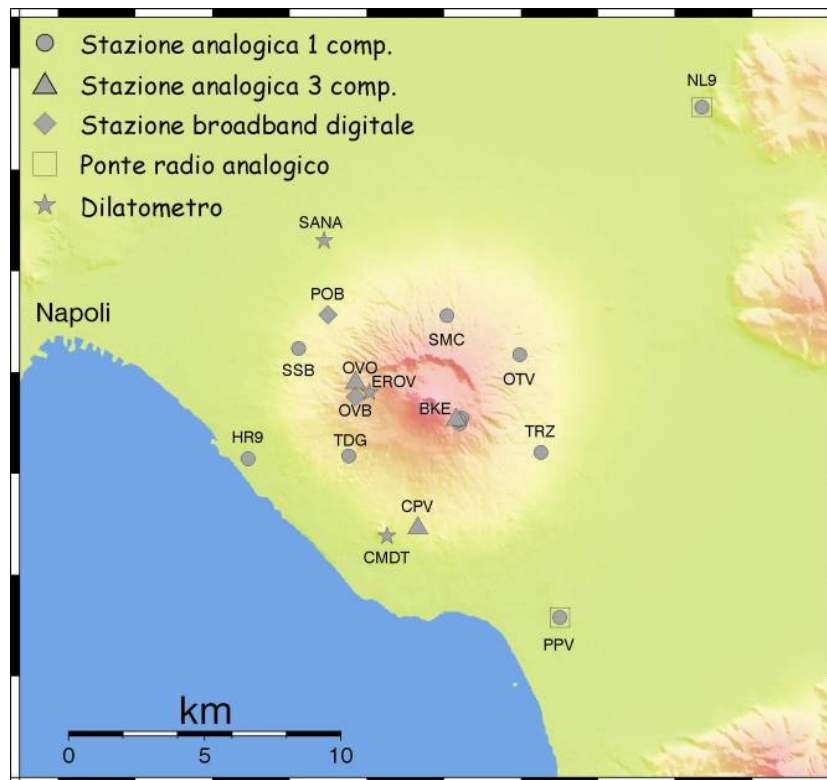


Figura 4 – Dettaglio della rete sismica del Vesuvio.

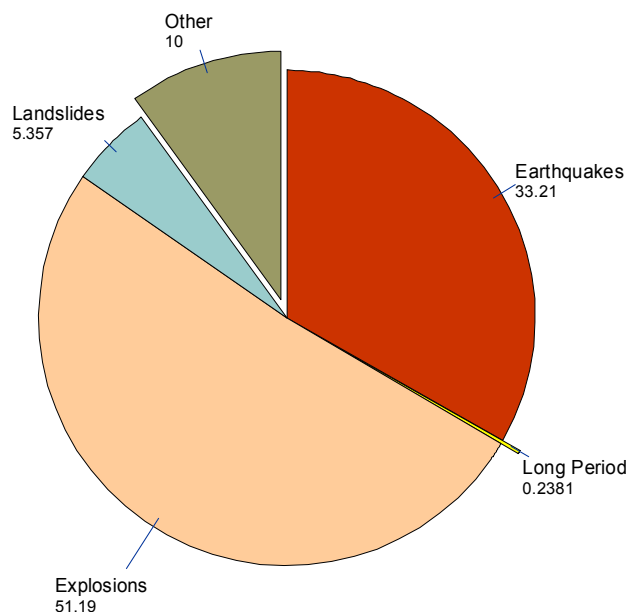


Figura 5 – Distribuzione percentuale degli eventi vesuviani per tipologia nel II semestre 2005.

La maggior parte dei segnali sismici transienti registrati nell'area vesuviana sono dovuti ad esplosioni di natura artificiale legate ad attività antropiche locali. Vi sono poi alcuni segnali attribuibili a frane che interessano l'area craterica. Altri tipi di segnali dovuti a fenomeni naturali (es. tuoni) e a diverse attività antropiche sono compresi nella tipologia "altro".

Per quanto riguarda l'attività sismica naturale nel corso del II semestre 2005 sono stati registrati 279 terremoti, la maggior parte dei quali è di magnitudo inferiore a 1.8 (Fig 7, Fig 10, Fig 12). Il numero totale di eventi registrati, non si discosta significativamente da quello medio degli anni precedenti (Fig.6). Non si evidenziano particolari trend né nella frequenza di accadimento mensile (Fig. 7), né nelle profondità ipocentrali (Fig.9), né nella distribuzione temporale delle Magnitudo (Fig.10).

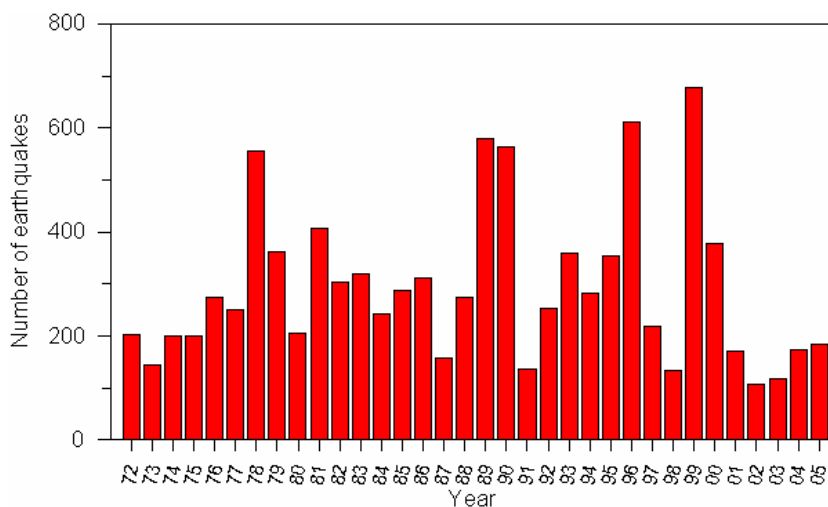


Figura 6 – Numero annuale di eventi sismici vesuviani (registrati alla stazione OVO) dal 1972 al 2005.

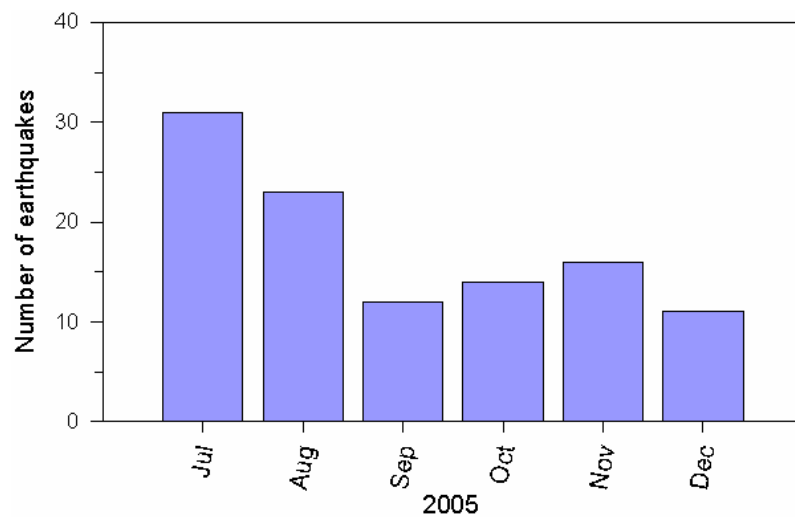


Figura 7 – Frequenza mensile dell'accadimento dei terremoti (registrati alla stazione OVO) nel II semestre 2005.

Tutti i terremoti risultano localizzati al di sotto dell'area craterica, con ipocentri fortemente concentrati nei primi tre chilometri di profondità (Fig. 8 e 9). Il modello di velocità attualmente utilizzato è stato introdotto dal gennaio 2001 e deriva dai risultati della tomografia sismica. Tale modello a strati omogenei è riportato di seguito. Il rapporto V_p/V_s è assunto costante e pari a 1.9.

Tabella 4 - Modello di velocità del Vesuvio.

Prof. iniziale	Prof. finale	V_p
Topografia	0 Km	2 Km/s
0 Km	2 Km	3 Km/s
2 Km	semispazio	6 Km/s

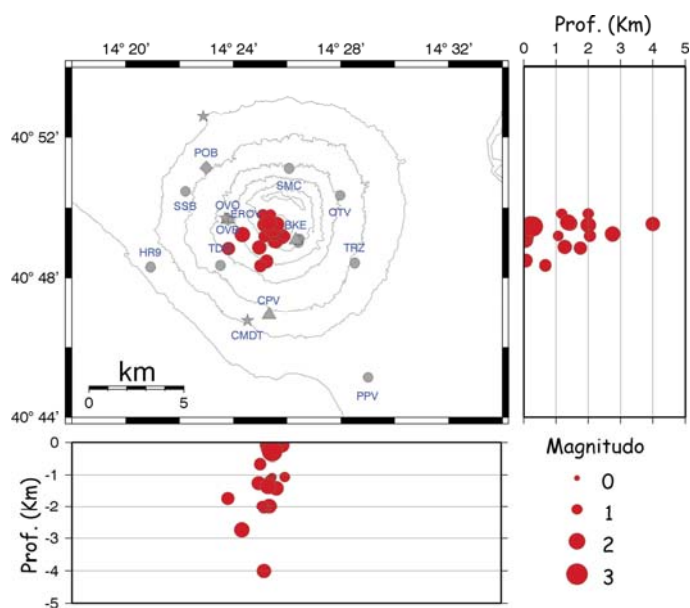


Figura 8 – Localizzazione degli ipocentri nell'area vesuviana durante il II semestre 2005.

I parametri ipocentrali degli eventi di magnitudo maggiore o uguale a 1.9, sono riportati in Tab. 5.

Tabella 5 - Parametri ipocentrali degli eventi con $M_d \geq 1.9$

Data	Ora	Lat	Long	Prof (Km)	M_d
2005/07/02	06:17:16	40°49'03"	14°25'34"	0.04	1.9
2005/08/30	11:33:57	40°49'26"	14°25'28"	0.28	2.8
2005/12/18	22:35:28	40°49'33"	14°25'19"	1.37	1.9

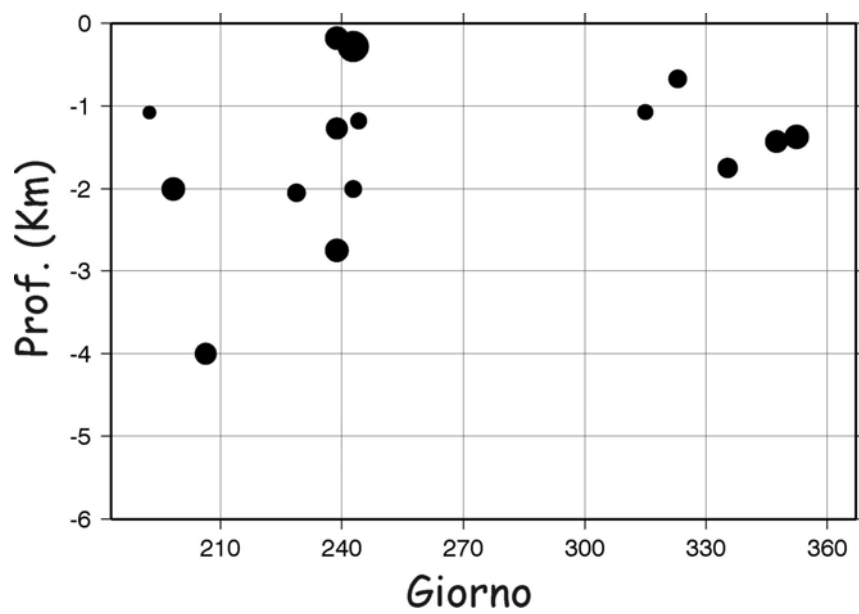


Figura 9 – Variazione temporale della profondità ipocentrale dei terremoti vesuviani, nel corso del II semestre 2005.

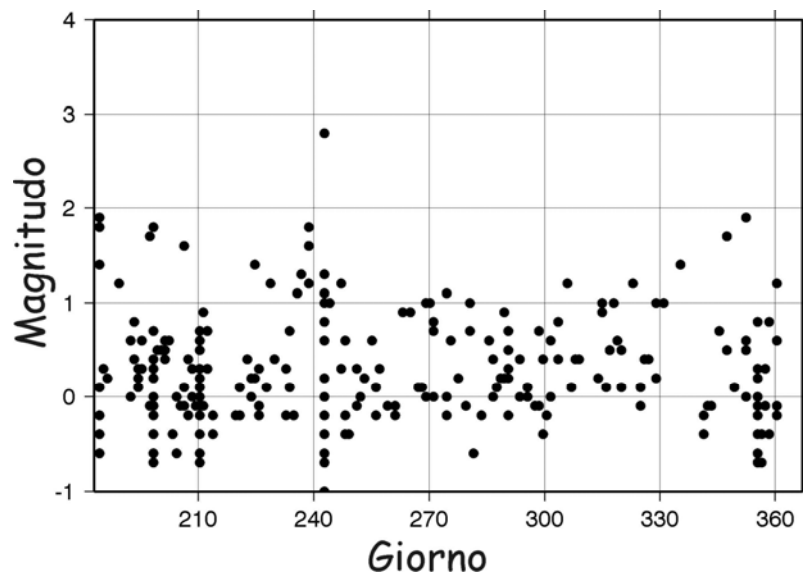


Figura 10 - Variazione temporale della magnitudo dei terremoti vesuviani, nel corso del II semestre 2005.

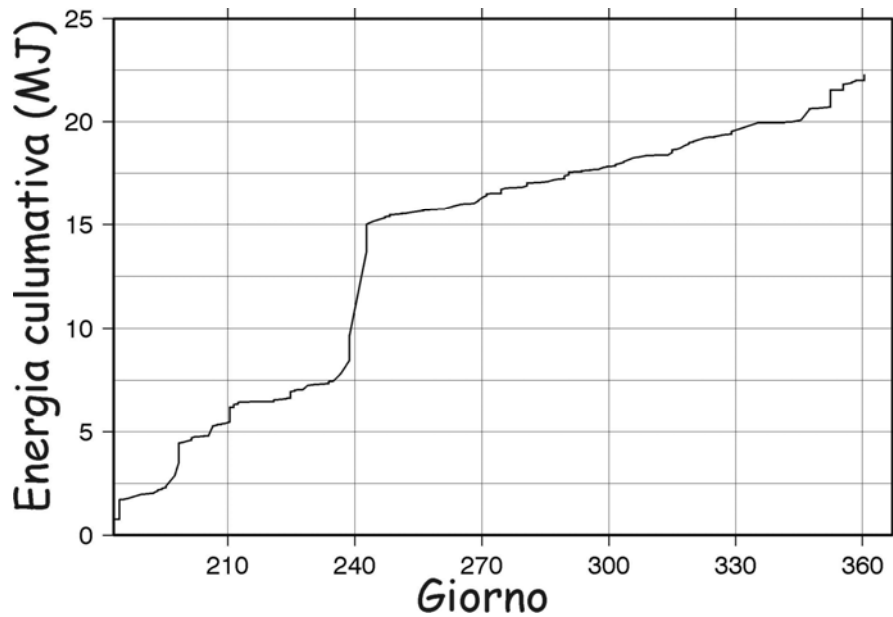


Figura 11 – Andamento cumulativo dell'energia rilasciata dai terremoti vesuviani nel corso del II semestre 2005, calcolato attraverso la relazione: $\log E=9.9+1.9M$

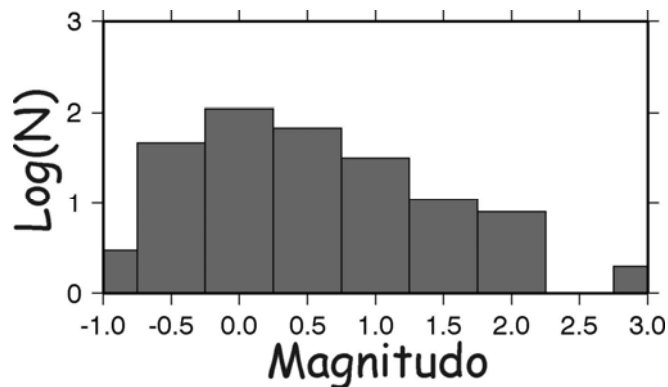


Figura 12 – Diagramma di Gutenberg-Richter per i terremoti vesuviani nel II semestre 2005.

Sciame del 16 e del 28 Luglio 2005

Nel corso del Luglio 2005, sono stati registrati 2 sciame sismici costituiti da eventi di piccola magnitudo. Durante il primo sciame, avvenuto il 16 Luglio sono stati registrati circa 21 eventi e la magnitudo massima è stata di 1.8. In Tab.6 sono riportate l'ora e la magnitudo degli eventi (con $M>0$) registrati alla stazione BKE.

Tutti gli eventi sono classificati come tipo vulcano-tettonico per la chiara presenza di fasi P ed S. Gli eventi di magnitudo maggiore risultano localizzati in prossimità dell'area craterica a scarsa profondità, non discostandosi quindi dalla normale attività sismica vesuviana. Lo sciame del 28 Luglio ha presentato caratteristiche analoghe, con un totale di circa 32 eventi, aventi magnitudo massima di 0.7.

Tabella 6 - Elenco degli eventi ($M>0$) registrati dalla stazione BKE tra il 15/7/2005 ed il 17/7/2005.

Data	Ora (GMT)	Md
2005/07/15	20:17	1.7
2005/07/16	08:00	1.8
2005/07/16	11:35	0.7
2005/07/16	11:38	1.8
2005/07/16	11:40	0.3
2005/07/16	11:42	0.2
2005/07/16	12:07	0.4
2005/07/17	19:56	0.6

In Tab. 7 sono riportate l'ora e la magnitudo degli eventi (con $M>0$) registrati alla stazione BKE il 28/7/2005.

Tabella 7 - Elenco degli eventi ($M>0$) registrati dalla stazione BKE il 28/7/2005.

Data	Ora (GMT)	Md
2005/07/28	06:18	0.6
2005/07/28	06:27	0.1
2005/07/28	06:29	0.6
2005/07/28	06:30	0.2
2005/07/28	06:31	0.5
2005/07/28	06:32	0.2
2005/07/28	06:40	0.7
2005/07/28	06:49	0.3
2005/07/28	07:06	0.2
2005/07/28	11:15	0.7
2005/07/28	20:01	0.3
2005/07/28	21:58	0.5

Anche tali eventi sono chiaramente di tipo vulcano-tettonico. Non è stato possibile localizzarli a causa della piccola magnitudo, tuttavia la differenza T_p-T_s di circa 0.3 s suggerisce una localizzazione simile a quella dello sciame del 16 Luglio.

Eventi Long Period del 4 e 12 Dicembre 2005

Il 4/12/2005 alle 09:54 GMT ed il 12/12/2005 alle 18:47 GMT sono stati registrati, dalla rete sismica vesuviana, due eventi atipici. Tali eventi presentano un contenuto spettrale essenzialmente al di sotto dei 5 Hz (Fig.13) ed una polarizzazione prevalentemente orizzontale. E' stata esclusa, sulla base delle precedenti caratteristiche e dei tempi di arrivo osservati, un'origine artificiale. Tali osservazioni inducono quindi a classificare tali eventi come Long-Period. L'origine di tali eventi, analogamente ad altre aree vulcaniche e geotermiche,

può essere attribuita al flusso di fluidi all'interno del sistema geotermico vesuviano. L'evento del 4/12, di ampiezza maggiore, è stato localizzato ed il suo ipocentro è mostrato in Fig. 14.

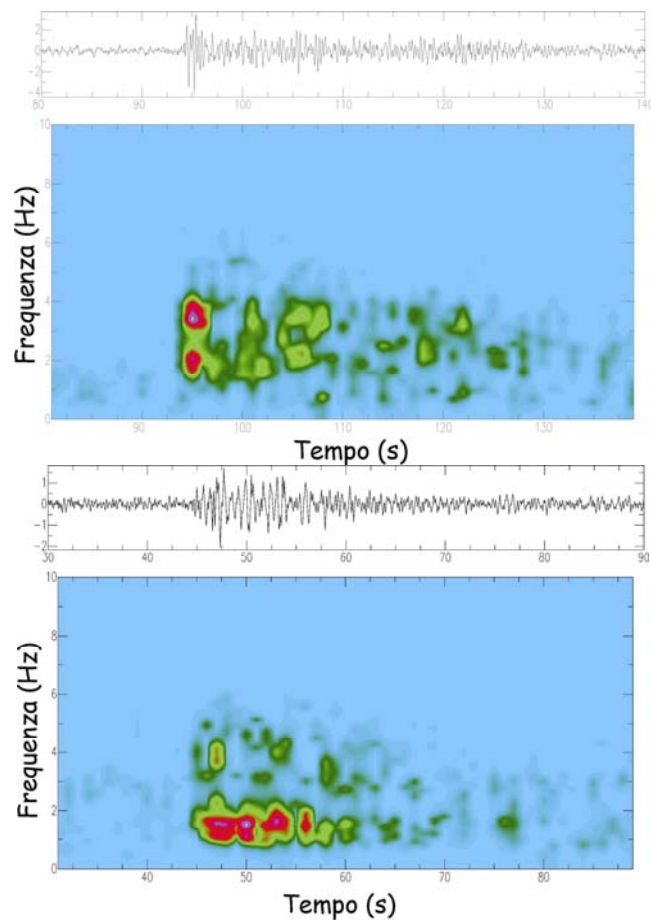


Figura 13 – Spettrogrammi degli eventi del 4/12 e del 12/12 (componente N-S di BKE).

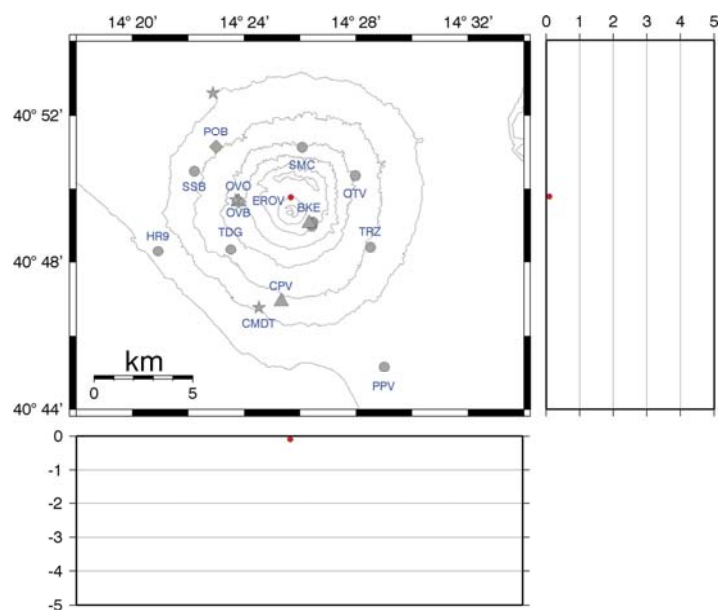


Figura 14 – Ipocentro dell'evento LP del 4/12/2005.

Campi Flegrei

Nel corso del II semestre 2005 le stazioni installate nell'area Flegrea (Fig. 15) hanno registrato 89 eventi sismici, la maggior parte dei quali legata allo sciame del 5 Ottobre 2005. Tutti questi eventi sono stati classificati come vulcano-tettonici. In Tab. 8 sono riportati gli eventi con $M \geq 1.0$.

Tabella 8 – Parametri ipocentrali degli eventi ($M \geq 1.0$) registrati nel II semestre 2005 ai Campi Flegrei.

Data	Ora (GMT)	Lat	Long	Prof (Km)	Md
2005/08/25	09:37	ND	ND	ND	1.1
2005/10/05	16:18	40°49'43"	14°09'06"	2.3	1.1
2005/11/05	06:16	40°49'53"	14°09'25"	3.2	1.2

Le localizzazioni (Fig. 16) sono state effettuate secondo il modello di velocità in tab. 9. Il rapporto V_p/V_s è assunto costante e pari a 1.7.

Tabella 9 - Modello di velocità dei Campi Flegrei.

Prof. iniziale (Km)	Prof. finale (Km)	V_p (Km/s)
0	0.5	1.7
0.5	1.0	2.0
1.0	3.0	3.0
3.0	10.0	5.5
10.0	23.0	5.7
23.0	37.0	6.7
37.0	semispazio	8.2

La maggior parte degli eventi localizzati (Fig. 16), ricade nell'area compresa tra la Solfatara ed Agnano. Tale area è la stessa interessata dalla maggior parte degli eventi sismici negli ultimi anni.

Oltre agli eventi sismici naturali, sono state registrate anche 13 esplosioni artificiali nel Golfo di Pozzuoli.

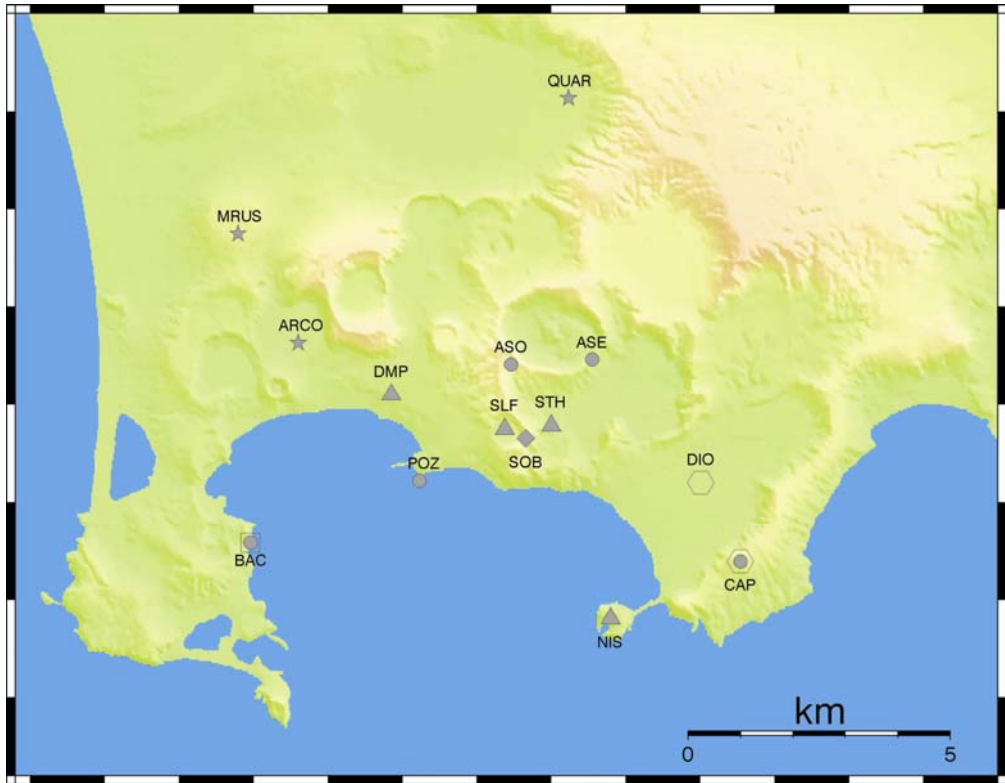


Figura 15 – Dettaglio della rete sismica dei Campi Flegrei.

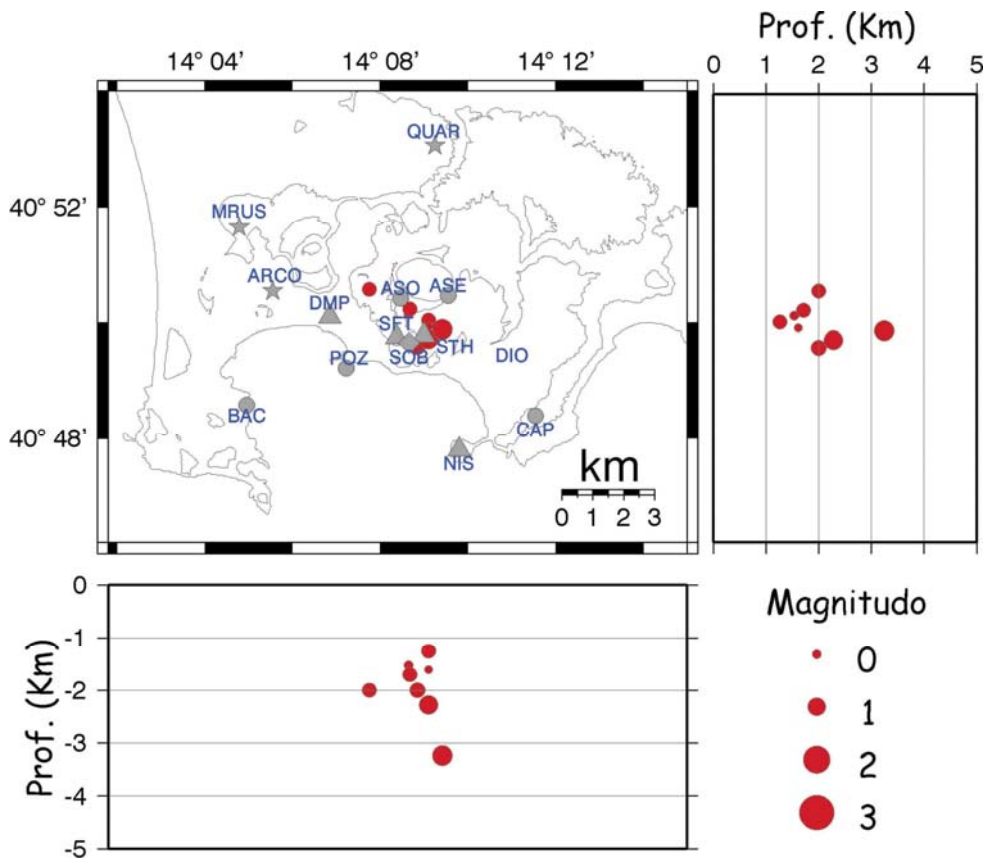


Figura 16 – Localizzazione degli ipocentri nell'area flegrea durante il II semestre 2005.

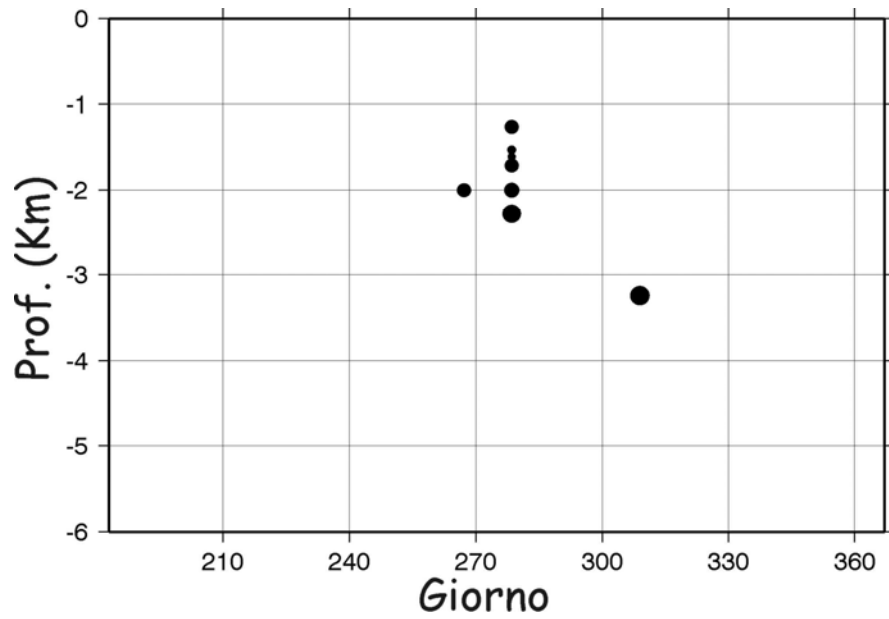


Figura 17 – Variazione temporale della profondità ipocentrale dei terremoti flegrei, nel corso del II semestre 2005.

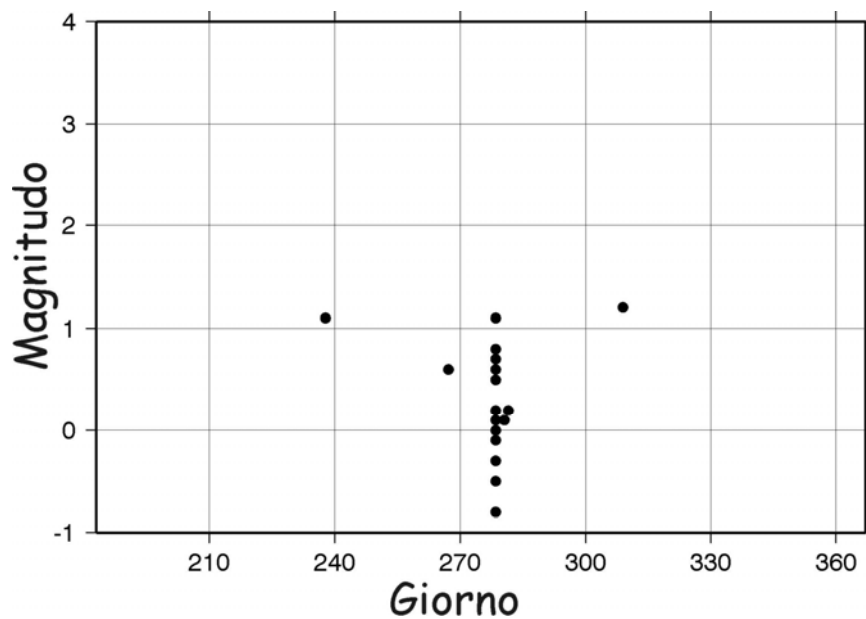


Figura 18 - Variazione temporale della magnitudo dei terremoti flegrei, nel corso del II semestre 2005.

Lo sciame del 5 Ottobre 2005

Il 5 Ottobre 2005 è stato registrato ai Campi Flegrei uno sciame, di circa 84 eventi (alla stazione SOB), con magnitudo massima di 1.1. Vengono riportati in Tab. 10 i tempi e le magnitudo degli eventi (con $M > 0$) relativi allo sciame.

Tabella 10 - Elenco degli eventi (M>0) registrati dalla stazione STH il 5/10/2005.

Data	Ora (GMT)	Md
2005/10/5	11:53	0.5
2005/10/5	12:38	0.7
2005/10/5	13:21	0.2
2005/10/5	13:33	0.6
2005/10/5	14:09	0.7
2005/10/5	14:39	0.1
2005/10/5	14:51	0.6
2005/10/5	15:22	0.2
2005/10/5	15:22	0.6
2005/10/5	15:39	0.2
2005/10/5	15:49	0.5
2005/10/5	16:00	0.7
2005/10/5	16:18	1.1
2005/10/5	16:21	0.6
2005/10/5	16:29	0.8
2005/10/5	16:45	0.6
2005/10/5	16:54	0.1
2005/10/5	17:09	0.2
2005/10/5	17:11	0.2
2005/10/5	17:31	0.6

Le localizzazioni (Fig.19) mostrano che gli ipocentri sono localizzati nella stessa area (Agnano-Solfatara) interessata dalla sismicità degli ultimi anni.

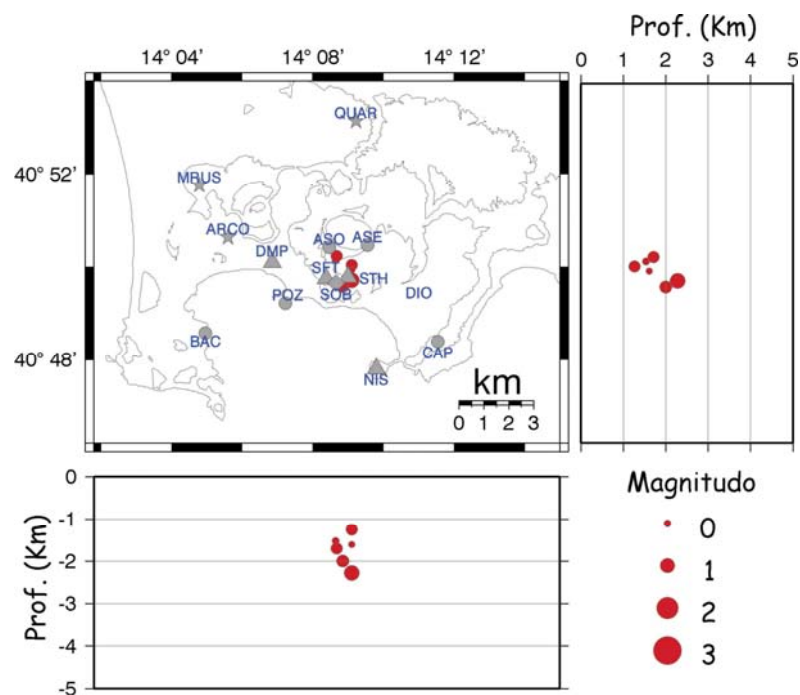


Figura 19 – Localizzazioni degli eventi maggiori dello sciame del 5/10/2005.

Ischia

La rete sismica di Ischia (Fig. 20), ha registrato, durante il II semestre 2005, 2 eventi sismici (Tab. 11). Nessuno dei due eventi, di tipo vulcano-tettonico, ha potuto essere localizzato essendo stato registrato solo dalla stazione OC9.

Tabella 11 – Eventi sismici registrati ad Ischia durante il II semestre 2005.

Data	Ora	Durata OC9
2005/09/20	04:26	19 s
2005/09/25	06:29	16 s



Figura 20 – Dettaglio della rete sismica di Ischia.

Evento sismo-acustico del 10 Settembre 2005

Il 10 Sett. 2005, alle ore 15:11 GMT (17:11) ora locale, un forte boato è stato udito su tutta l'isola di Ischia. Contemporaneamente quasi tutta la rete sismica di Ischia, Campi Flegrei, Vesuvio e la stazione regionale MSC (M.Massico) hanno registrato un potente transiente sismo-acustico (Fig.21)

Una particolare caratteristica delle forme d'onda registrate dalle stazioni (in particolare da SOB) è quella di presentare una forma ad "N" capovolta (Fig. 22). Dalla letteratura

scientificamente si evince che tale forma d'onda è associata all'impatto al suolo di un'onda di pressione generata da un oggetto in moto supersonico nell'atmosfera. Sulla base dei tempi di arrivo osservati, sono state fatte diverse ipotesi sull'origine di tale evento. La più plausibile risulta essere quella di un bolide, entrato nell'atmosfera provenendo da NE ad una velocità superiore a 30 Km/s ed esploso in atmosfera ad una quota di circa 11 Km sul Golfo di Napoli, circa 15 Km SW di Ischia (Fig. 23)

Tale evento non è quindi in alcun modo associabile all'attività geotermica dell'isola, come è stato accertato in passato per altri eventi sismo-acustici.

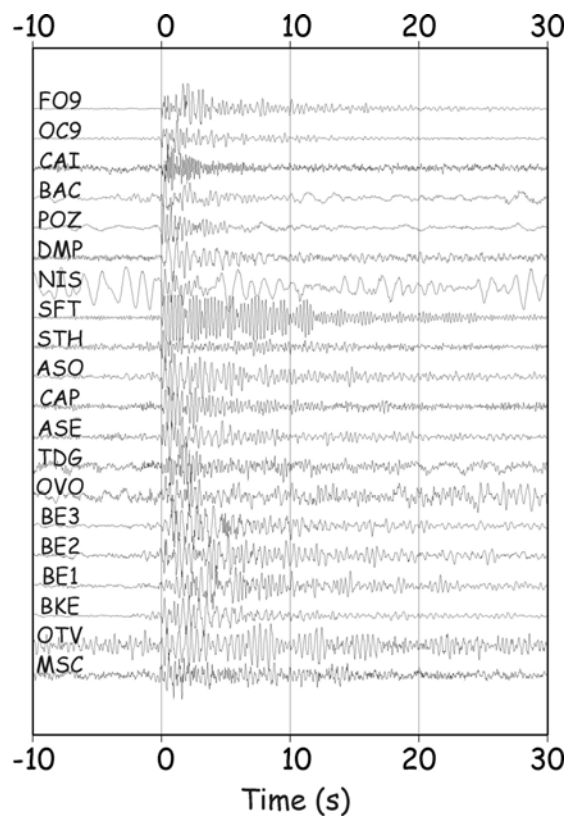


Figura 21 – Forme d'onda registrate dalla RSOV allineate al primo arrivo dell'evento sismo-acustico.

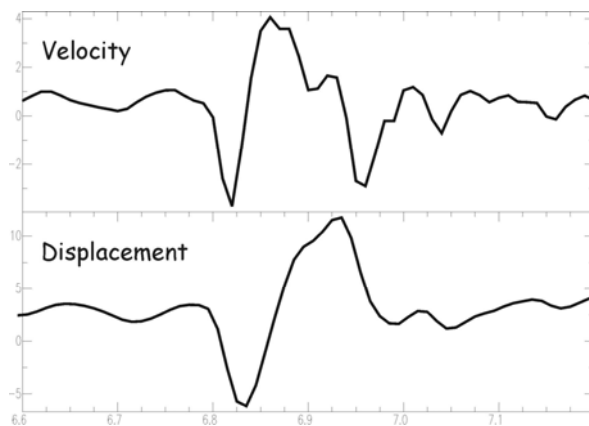


Figura 22 – Forme d'onda, in velocità e spostamento registrate alla stazione SOB (Solfatara broadband). E' evidente la forma ad "N" capovolta nello spostamento.

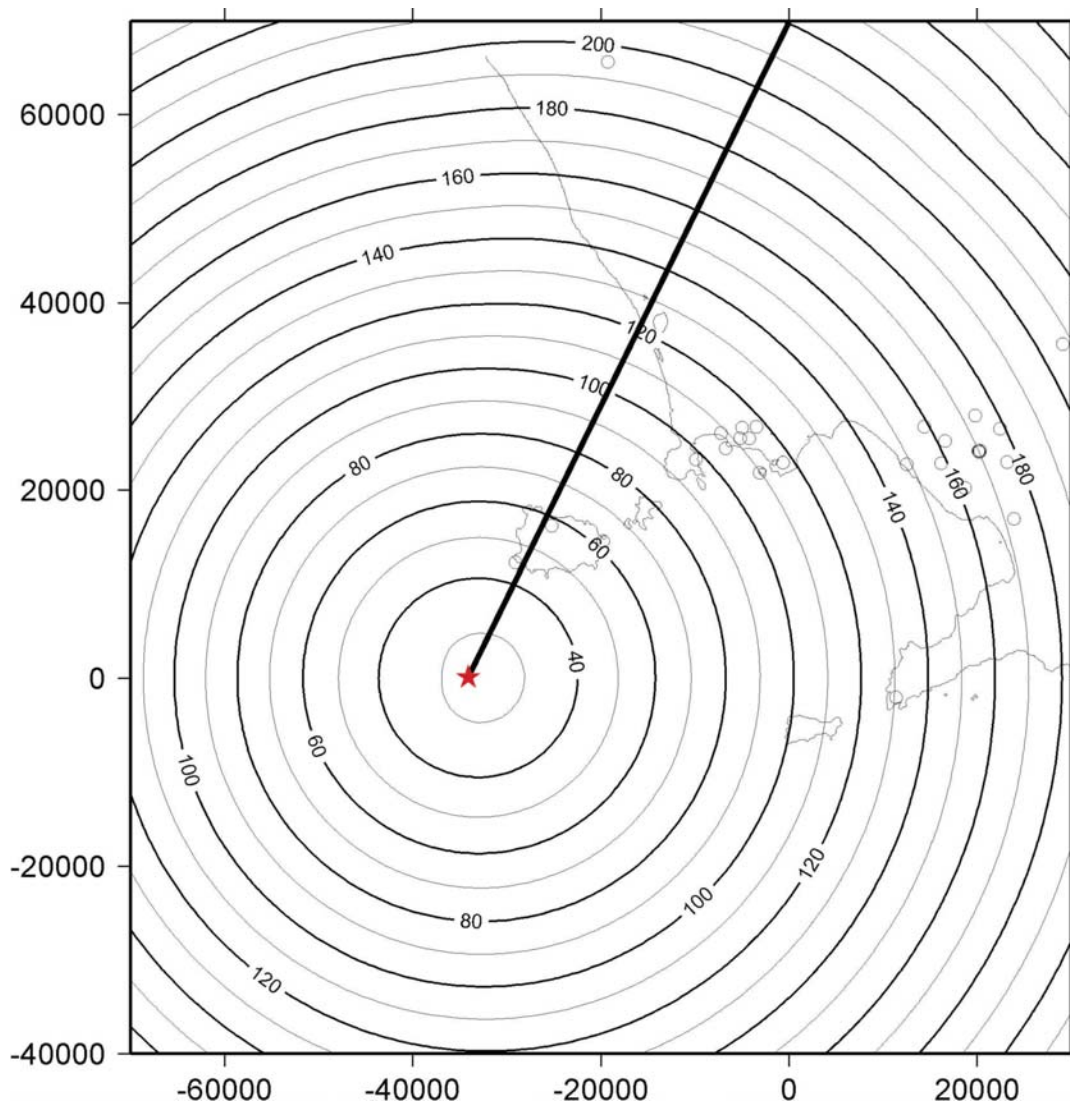


Figura 23 – Ricostruzione della traiettoria di ingresso del bolide e dell'epicentro dell'esplosione (indicato dalla stella rossa).

ATTIVITÀ DELLA RETE SISMICA MOBILE²

Nel secondo semestre del 2005 la Rete Sismica Mobile dell'INGV-Osservatorio Vesuviano ha continuato l'attività di ricerca sia sui vulcani campani, nell'ambito dei compiti istituzionali, che in altre aree vulcaniche attive come l'Etna e il Colima (Messico) nell'ambito di progetti di ricerca nazionali ed internazionali. All'Etna sono state installate nove stazioni sismiche a Giugno 2005, e queste sono rimaste in acquisizione fino a Ottobre 2005. Nove sismometri a corto periodo erano già installati dall'estate 2004 in due array, uno dei quali, composto da sei sismometri, è tuttora operativo in località Cratere del Piano. A fine Novembre quattro stazioni Lennartz Marslite con sismometri Lennartz LE-3D/20s sono state installate sul vulcano Colima (Messico), nell'ambito di un progetto

² A cura di: M. La Rocca, D. Galluzzo, E. Del Pezzo, G. Saccorotti, M. Castellano & F. Bianco.

internazionale (FIRB - Studio del campo d'onda in aree di vulcanismo attivo) in collaborazione con l'Università di Colima e l'Università di Granada (Spagna). Per quanto riguarda i vulcani campani, diversi interventi sono stati realizzati al Vesuvio e ai Campi Flegrei con lo scopo di:

1. Registrare dati di elevata qualità in caso di eventi sismici significativi, utilizzando la migliore strumentazione sismica disponibile.
2. Monitorare il rumore sismico al fine di evidenziarne eventuali variazioni imputabili a cambiamenti nello stato dinamico del vulcano.
3. Studiare le caratteristiche sismiche di diversi siti in modo da definirne il background. Tale informazione è essenziale qualora essi debbano essere occupati da strumentazione in caso di emergenza.
4. Affiancare la Rete Sismica Permanente nelle aree vulcaniche, incrementando il numero di stazioni digitali ad alta dinamica ed i sensori a larga banda.

Interventi della rete sismica mobile al Vesuvio

Durante il secondo semestre del 2005 è continuata la gestione delle stazioni della Rete Sismica Mobile già operative al Vesuvio (Tabella 12, Fig. 24). Alla data del 31 Dicembre 2005 le stazioni in funzione sono le seguenti:

BKS: installata nel settore meridionale della Strada Forestale "Alto Tirone" all'interno di un bunker di cemento armato di proprietà dell'INGV-OV.

BKN: installata nel settore settentrionale in prossimità di "Quota 1000" all'interno di un bunker di cemento armato di proprietà dell'INGV-OV.

FTC: installata nel seminterrato della Caserma del Comando Forestale di Trecase.

FAL: installata all'interno di una cantina di una proprietà privata nel comprensorio di S. Giuseppe Vesuviano.

TRBB: installata nel seminterrato della Caserma del Comando Forestale di Trecase.

Tabella 12 - Situazione a tutto Dicembre 2005 e caratteristiche strumentali della Rete Sismica Mobile operativa al Vesuvio.

Stazione	Acquisitore	Sensore	Data installazione	Sampling (sps)
BKS	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Aprile 2003	125
TRBB	Lennartz M24	Guralp CMG-40T Episensor FBA ES-T	Giugno 2004	125
FTC	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Dicembre 2004	125
BKN	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Dicembre 2004	125
FAL	Lennartz PCM 5800	LE-3Dlite	Gennaio 2005	125

Le stazioni BKS, BKN, FTC e FAL sono costituite da acquisitori Lennartz PCM 5800 a 12 bit, che con un sistema di acquisizione a guadagno variabile raggiungono i 120 db di dinamica, equipaggiati con sensori Lennartz LE-3Dlite a corto periodo smorzati al 70% del valore critico. L'acquisizione viene effettuata a trigger mediante l'algoritmo standard STA/LTA su registratori digitali Sony Hi-MiniDisc dotati di supporti magneto-ottici rimovibili da 1Gb. La frequenza di campionamento è di 125 sps e la temporizzazione avviene mediante codifica del segnale DCF. I parametri di trigger sono impostati tenendo conto del livello di sismicità attesa e del rumore di fondo presente nei diversi siti. Le stazioni FTC e FAL sono alimentate dalla corrente di rete, mentre BKS e BKN sono dotate di pannelli solari.

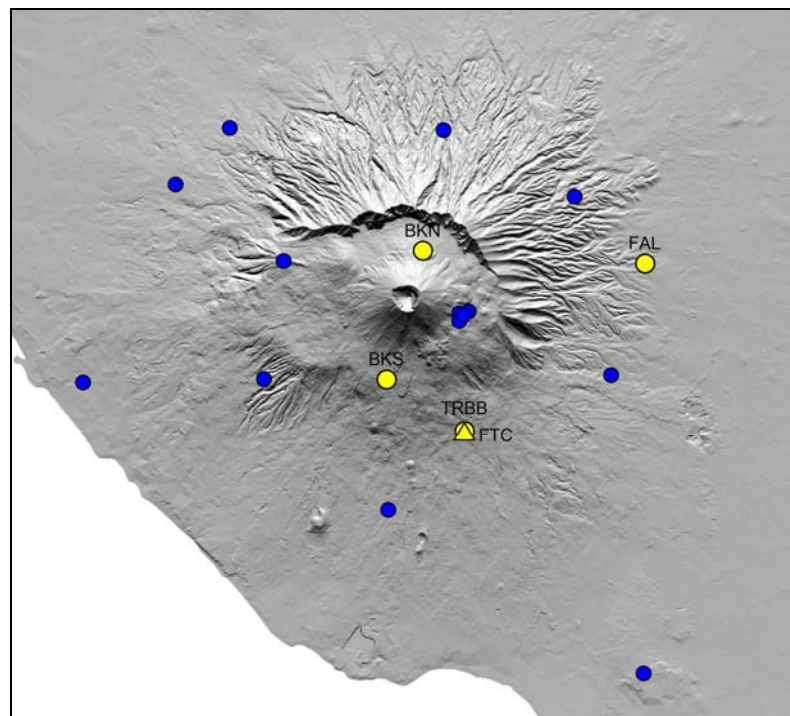


Figura 24 - Rete Sismica Mobile installata al Vesuvio. I cerchi gialli identificano le stazioni Lennartz PCM 5800 equipaggiate con sensori a corto periodo, il triangolo rappresenta la stazione Lennartz M24 dotata di sensori a larga banda ed accelerometrico. I cerchi blu identificano le stazioni della Rete Sismica Permanente.

Le stazioni digitali Lennartz PCM 5800, alcune operative già dal 2003, sono state installate con lo scopo di acquisire eventi sismici locali di magnitudo medio-alta che porterebbero alla saturazione la Rete Sismica Permanente costituita prevalentemente da stazioni analogiche a bassa dinamica.

La stazione TRBB è una stazione sismica multisensore installata a Giugno 2004 nel seminterrato della caserma del Comando Forestale di Trecase. L'acquisitore di TRBB è una stazione digitale Lennartz M24 a 6 canali a cui sono collegati due sensori: un sismometro a larga banda Guralp CMG-40T ed un accelerometro Kinemetrics Episensor FBA ES-T. La frequenza di campionamento dei segnali del Guralp è stata incrementata

da 62.5 sps a 125 sps per uniformare questa stazione con le altre. Per tutti i canali dell'acquisitore il fondo scala dei segnali di input è ± 5 Volt, mentre il range dinamico nominale dell'acquisitore è di 144 dB, corrispondente a 24 bit.

Le stazioni multisensore sono uno dei punti di forza della Rete Sismica Mobile in quanto garantiscono una registrazione ottimale di ogni tipo di segnale sismico in una banda di frequenze estremamente ampia, non eguagliabile utilizzando un solo sensore. Infatti il sismometro a larga banda Guralp CMG-40T, caratterizzato da risposta piatta in velocità nel range 0.016-50 Hz ed elevata sensibilità, è lo strumento ideale per registrare tutti i segnali sismici comunemente osservabili in ambiente vulcanico, dal tremore agli eventi VLP. D'altra parte l'accelerometro Episensor FBA ES-T ha risposta piatta in accelerazione nel range di frequenze 0-50 Hz. Pertanto è utilizzabile sia per osservare gli eventi sismici legati all'attività vulcanica e tettonica, che per osservare segnali di periodo estremamente lungo. In pratica l'accelerometro è equivalente ad un tiltmetro in una banda di frequenze molto ampia. Inoltre il range dinamico di 144 dB nominali dell'acquisitore, corrispondente a 24 bit, associato alle caratteristiche dinamiche dell'accelerometro, garantiscono una registrazione propria dei segnali sismici associati al massimo evento atteso nell'area del Vesuvio. Una novità importante introdotta in alcune stazioni della Rete Sismica Mobile nel secondo semestre 2005 è l'uso del modem GSM per la trasmissione dei dati mediante telefonia integrata fissa/mobile. Questo dispositivo di basso costo e basso consumo può essere facilmente collegato alle stazioni sismiche dell'ultima generazione, come le Lennartz M24 e le Taurus della Nanometrics dotate di interfaccia seriale. Tramite il modem GSM la stazione sismica può essere interrogata direttamente da qualunque computer situato nel Laboratorio Rete Mobile presso la sede di Via Diocleziano. Questo determina un grande risparmio di tempo in quanto il controllo del funzionamento della strumentazione può essere effettuato in pochi minuti dal laboratorio. Per molti mesi la stazione TRBB è stata dotata di modem GSM il che ha consentito di realizzare un collegamento tra essa ed il Laboratorio Rete Mobile, per il controllo del corretto funzionamento della strumentazione e per lo scarico di dati in caso di eventi interessanti.

Esempi di eventi registrati con la Rete Sismica Mobile al Vesuvio

Nel secondo semestre del 2005 la sismicità del Vesuvio si è mantenuta su livelli bassi, sia per quanto riguarda il numero di eventi che per l'energia liberata. L'evento di maggiore energia ($M_D = 2.8$) si è verificato il 30 Agosto 2005 alle ore 11:33 (UTC). Questo è stato registrato alle stazioni di BKN e FTC con forme d'onda molto differenti (Fig. 25); tale differenza è imputabile alla superficialità dell'evento (circa 600-700m al sopra del livello del mare; Fig. 33) ed alla sua estrema vicinanza alla stazione BKN ($T_s - T_p = 0.3s$).

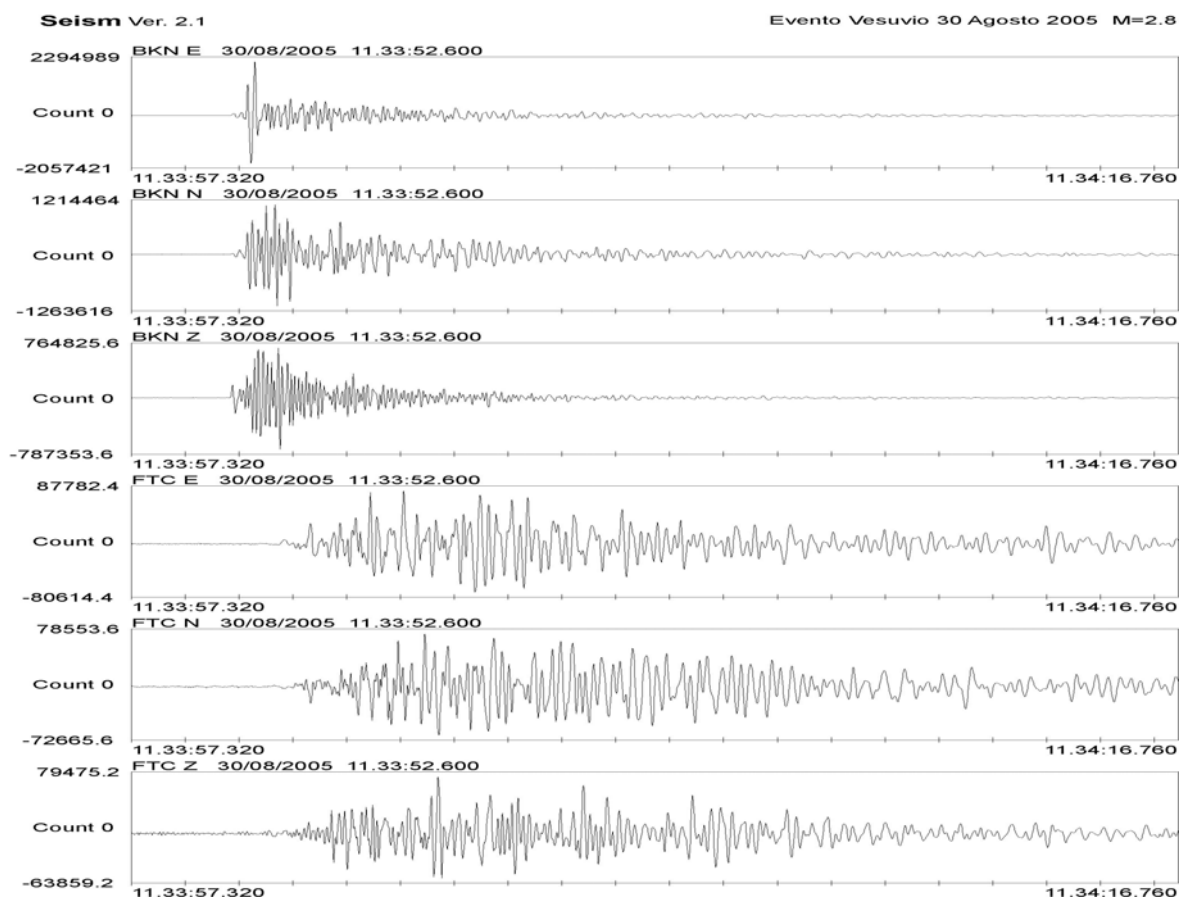


Figura 25 - Evento sismico del 30 Agosto 2005 11:33 (UTC), MD=2.8 registrato alle stazioni BKN (Bunker Nord) e FTC (Forestale Trecase). La localizzazione ipocentrale è mostrata nella Fig. 33.

Nonostante siano state programmate per la registrazione di terremoti locali di energia medio-alta, le stazioni Lennartz PCM 5800 installate al Vesuvio hanno registrato anche eventi regionali e terremoti provenienti dal bacino del Mediterraneo, nonché esplosioni artificiali legate ad attività estrattiva nelle cave del settore sud-orientale e ad attività di pescatori di frodo al largo del litorale di Torre del Greco. Inoltre, è stato registrato un segnale anomalo legato al passaggio di un bolide nell'atmosfera all'altezza dell'Isola d'Ischia. Nelle Figg. 26 e 27 sono riportati, a titolo di esempio, i segnali della stazione BKS relativi, rispettivamente, all'evento dei Balcani del 29 Settembre 2005 alle ore 00:26 (UTC) di $M = 5.1$, ed al passaggio del bolide sui cieli di Ischia il 10 Settembre 2005 alle ore 15:12 (UTC).

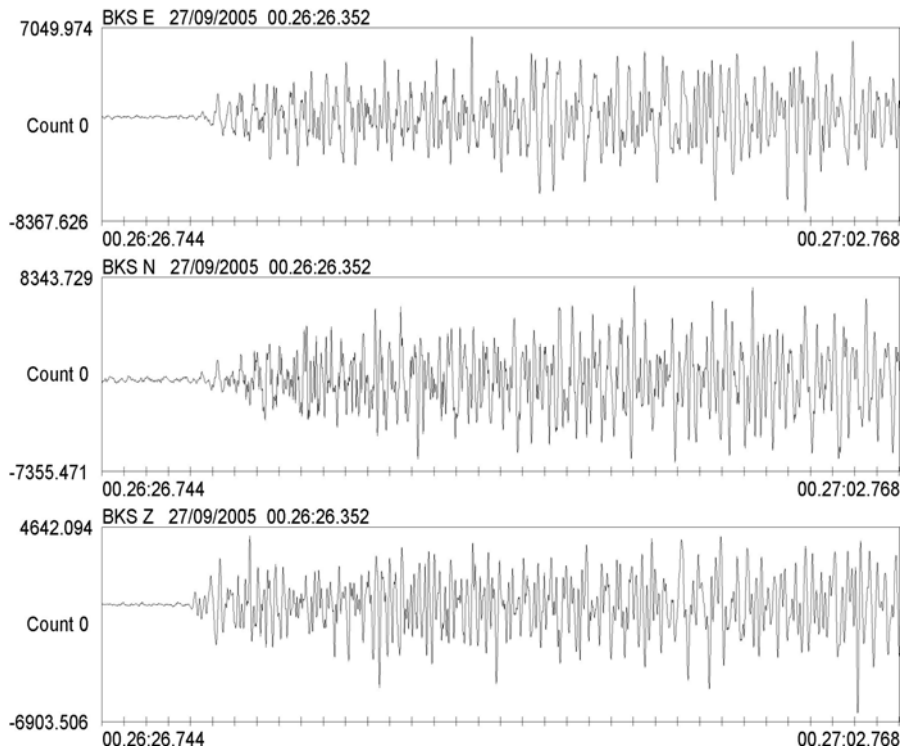


Figura 26 - Evento sismico dei Balcani del 27 Settembre 2005 00:26 (UTC), M=5.1 registrato alla stazione BKS (Bunker Sud).

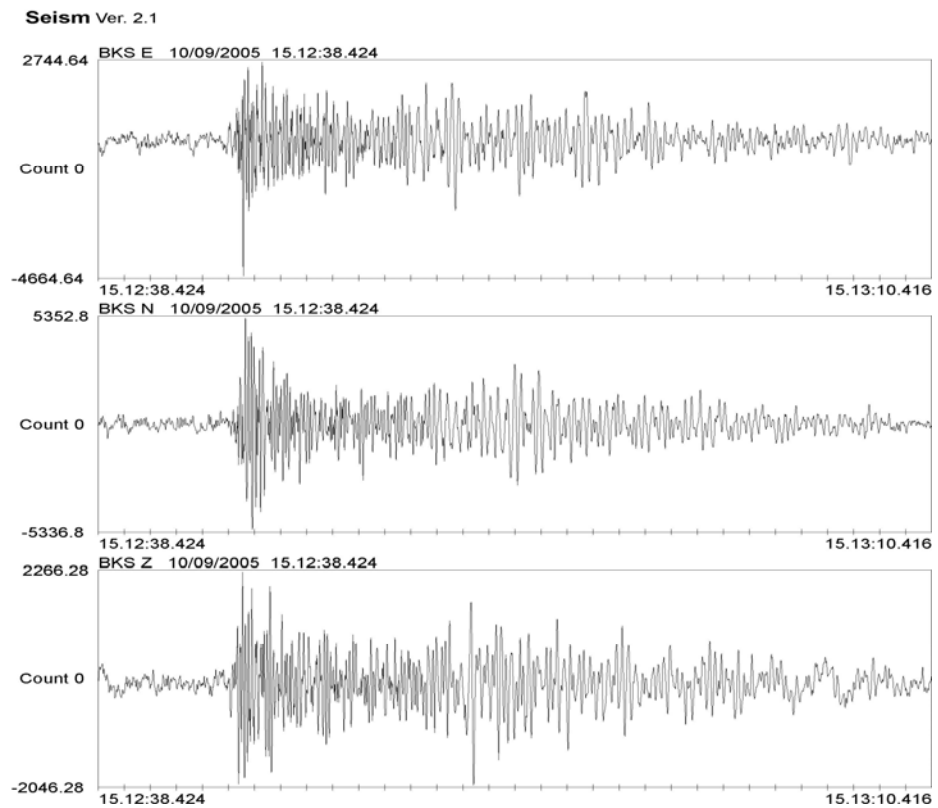


Figura 27 - Segnale della stazione digitale BKS (Bunker Sud) relativo al passaggio di un bolide nell'atmosfera in corrispondenza dell'isola d'Ischia.

Interventi della rete sismica mobile ai Campi Flegrei

Tre nuove stazioni sono state installate nel secondo semestre 2005 nell'area dei Campi Flegrei. Pertanto, a tutto Dicembre 2005 le stazioni digitali della Rete Sismica Mobile installate sui vulcani campani sono 11, di cui 7 a larga banda (di queste 2 sono di tipo multisensore, cioè dotate di sismometro a larga banda ed accelerometro) e 4 a corto periodo.

La tabella 13 riassume la situazione operativa al 31 Dicembre 2005.

Tabella 13 - Situazione a tutto Dicembre 2005 e caratteristiche strumentali della Rete Sismica Mobile operativa ai Campi Flegrei. (NB): L'accelerometro della stazione BGNB è installato ma non ancora acquisito per mancanza dell'energia elettrica di rete.

Stazione	Acquisitore	Sensore	Data installazione	Sampling (sps)
OVD	Lennartz M24	LE-3D/20s	Dicembre 2003	100
ASB2	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	Novembre 2004	125
OMN2	Lennartz MARSlite	LE-3D/20s	Giugno 2005	125
TAGB	Lennartz M24	LE-3D/20s Episensor FBA ES-T	Agosto 2005	125
CUBB	Lennartz MARSlite	Guralp CMG-40T	Ottobre 2005	125
BGNB	Lennartz M24	Guralp CMG-40T Episensor FBA ES-T ^(NB)	Ottobre 2005	125

Le tre stazioni sismiche digitali della Rete Mobile, installate nel secondo semestre del 2005 nell'area dei Campi Flegrei, sono: TAGB, BGNB e CUBB (Tab. 13, Fig. 28).

Esse si aggiungono alle tre già operative: OVD, ASB2, OMN2 (Tab.13, Fig. 28).

Tutte sono a larga banda e ampio range dinamico, come riassunto in Tabella 13, e quindi sono ideali per la registrazione di tutti i tipi di segnali sismici solitamente associati ad attività vulcanica.

Inoltre lo studio dei telesismi attraverso la tecnica della "receiver function" fornisce utili informazioni sulla struttura crostale locale.

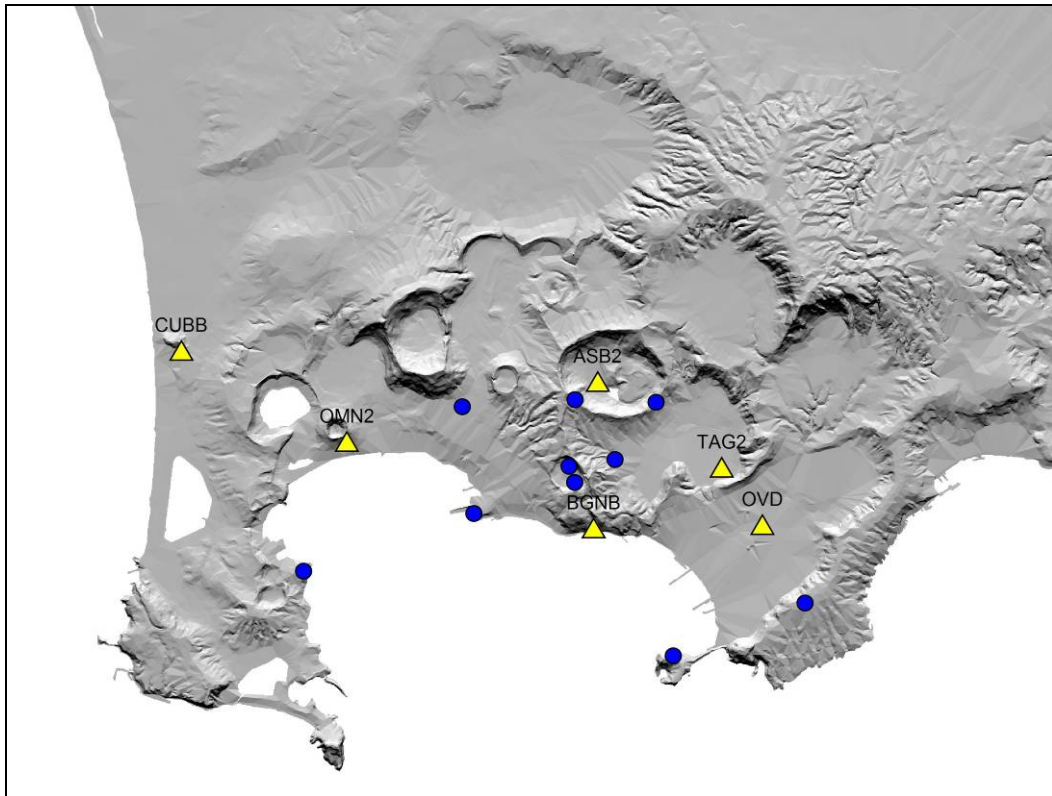


Figura 28 - Rete Sismica Mobile installata ai Campi Flegrei. Per le specifiche della strumentazione installata si veda la Tabella 13. I cerchi blu identificano le stazioni della Rete Sismica Permanente.

La stazione TAGB

La stazione TAGB è stata installata ad Agosto 2005 nella caldera di Agnano, nella proprietà dell'Ente "Terme di Agnano". Nella prima fase operativa, tale stazione era equipaggiata con un acquirente Marslite con sismometro a corto periodo per verificare la risposta sismica locale e l'ampiezza media del rumore di fondo. L'acquirente, severamente danneggiato da un forte temporale verificatosi il 17 Settembre 2005, è stato successivamente sostituito da una stazione M24 che acquisisce i segnali prodotti da un sismometro Lennartz LE-3D/20s e da un accelerometro Kinematics Episensor FBA ES-T. L'acquisizione è continua a 125 sps per entrambi i sensori. Le stazioni multisensore sono uno dei punti di forza della Rete Sismica Mobile in quanto garantiscono una registrazione ottimale di ogni tipo di segnale sismico in una banda di frequenze estremamente ampia, non eguagliabile utilizzando un solo sensore.

Una novità importante introdotta in alcune stazioni della Rete Sismica Mobile nel secondo semestre 2005 è l'uso del modem GSM per la trasmissione dei dati mediante telefonia integrata fissa/mobile. Questo dispositivo di basso costo e basso consumo può essere facilmente collegato alle stazioni sismiche dell'ultima generazione, come le Lennartz M24 e le Taurus della Nanometrics dotate di interfaccia seriale. Tramite il modem GSM la

stazione sismica può essere interrogata direttamente da qualunque computer situato nel Laboratorio Rete Mobile presso la sede di Via Diocleziano. Questo determina un grande risparmio di tempo in quanto il controllo del funzionamento della strumentazione può essere effettuato in pochi minuti dal laboratorio. La stazione TAGB è dotata di modem GSM che consente di collegarsi dal Laboratorio Rete Mobile per controllare il funzionamento della strumentazione e per scaricare i dati in caso di eventi particolarmente interessanti. L'alimentazione di rete 220 V utilizzata per il funzionamento della strumentazione installata a TAGB è gentilmente messa a disposizione dall'amministrazione delle Terme di Agnano. La stazione ha registrato la maggior parte dei pochi eventi locali naturali avvenuti nel secondo semestre 2005, nonché numerosi eventi artificiali, terremoti regionali e telesismi.

La stazione CUBB

E' stata installata ad Ottobre 2005 nella torre bizantina del parco archeologico di Cuma. L'acquisitore è una stazione Lennartz Marslite mentre il sismometro è un Guralp CMG-40T. L'alimentazione è garantita da due pannelli solari installati sul cornicione della torre. L'acquisizione è continua a 125 sps. Questa stazione è la più lontana dal centro del complesso vulcanico dei Campi Flegrei, dove è concentrata la scarsa attività sismica degli ultimi anni, pertanto registra solo gli eventi locali di magnitudo maggiore di circa 1.0-1.5. D'altra parte, la lontananza dai principali centri urbani fa sì che il rumore sismico di fondo a questa stazione sia tra i più bassi registrati nell'area dei Campi Flegrei. Pertanto telesismi e terremoti regionali vengono registrati a CUBB con un buon rapporto segnale/rumore.

La stazione BGNB

La stazione BGNB è stata installata ad Ottobre 2005 nella galleria ferroviaria dismessa della S.E.P.S.A. (società che gestisce le linee ferroviarie e le autolinee per i collegamenti tra Napoli e Pozzuoli) in località La Pietra, a pochi metri dalla costa tra Bagnoli e Pozzuoli. L'acquisitore è una stazione digitale a 6 canali Lennartz M24 cui sono collegati un sismometro broad band Guralp CMG-40T e un accelerometro Kinematics Episensor FBA ES-T. Poiché non è stata ancora attivata la linea elettrica richiesta un anno fa, e l'accelerometro richiede una notevole energia (minimo 130 mA), attualmente solo i segnali prodotti dal sensore Guralp vengono acquisiti in modalità continua a 125 sps. La stazione BGNB si trova in posizione strategica rispetto agli eventi sismici localizzati nell'area di Pozzuoli in quanto è vicina all'area epicentrale ed è installata su basamento poggiato direttamente su roccia in posto e non su sedimenti o materiali sciolti come la maggior parte delle stazioni flegree. Inoltre l'ubicazione all'interno del tunnel ferroviario riduce fortemente le escursioni termiche che sono causa di forti derive strumentali sia per i sismometri a larga banda Guralp che per gli accelerometri,

soprattutto per quanto riguarda le componenti orizzontali. D'altra parte la vicinanza alla strada dal lato sud e al nuovo tunnel ferroviario dal lato nord è causa di rumore di fondo non particolarmente basso.

Le altre stazioni flegree

Le stazioni sismiche ASB2, OMN2 e OVD erano già operative a Giugno 2005, pertanto si rimanda ai precedenti rapporti di sorveglianza per una descrizione dettagliata. Le caratteristiche salienti sono comunque riportate in Tabella 13. L'unica modifica effettuata nel secondo semestre ha riguardato la frequenza di campionamento di OMN2, che è stata incrementata da 62.5 sps a 125 sps per uniformità con le altre stazioni.

Alcuni eventi registrati con la Rete Sismica Mobile ai Campi Flegrei

Nel secondo semestre 2005 si sono verificati 95 microterremoti classificabili come eventi vulcano-tettonici (VT) e alcuni terremoti a bassa frequenza (LP). Inoltre sono state registrati oltre 30 eventi di natura artificiale attribuiti a esplosioni localizzate soprattutto nel golfo di Pozzuoli, e un evento raro di natura atmosferica prodotto dal passaggio di un bolide il 10 Settembre 2005. Il primo esempio di evento sismico presentato riguarda il terremoto LP avvenuto il 25 Agosto 2005. La magnitudo di questo evento non è stimabile mediante la formula della magnitudo locale applicata normalmente agli eventi VT in quanto il meccanismo della sorgente è diverso da una semplice dislocazione di faglia. Nonostante l'energia molto piccola si tratta di un evento interessante perché caratterizzato da contenuto in frequenza praticamente monocromatico nella banda 2-3 Hz e predominanza di onde S fin dai primi arrivi alla maggior parte delle stazioni (Fig. 29). L'evento è stato localizzato mediante il software Hyposat (Schweitzer, 2001) utilizzando tutte le registrazioni disponibili in cui fosse possibile effettuare il picking di una fase. Alla maggior parte delle stazioni a tre componenti l'ampiezza del segnale sulle componenti orizzontali è chiaramente maggiore che sulla verticale, indicando che si tratta di onde S. L'analisi di polarizzazione conferma che alla maggior parte delle stazioni l'inizio del segnale ha le caratteristiche di onda S. In pratica l'evento è stato localizzato utilizzando i tempi di una fase P e 8 fasi S. Il modello di velocità è quello correntemente utilizzato dal Laboratorio Sismico per la localizzazione degli eventi flegrei. L'epicentro ottenuto da tale localizzazione, mostrato in Fig. 30, si trova nel golfo di Pozzuoli e la profondità risulta 0.1 km. La qualità della localizzazione è comunque molto modesta a causa del gap maggiore di 180°, pertanto l'errore sulla latitudine è dell'ordine di 1.5 km mentre la profondità è praticamente indeterminata, essendo l'errore di 3 km.

Registrazione di un telesisma

Il terremoto avvenuto in Pakistan l'8 Ottobre 2005, $M=7.6$, è stato registrato molto bene da tutte le stazioni funzionanti al momento. I parametri della sorgente sono: $\text{lat} = 34.5390^\circ$, $\text{lon} = 73.5880^\circ$, $\text{prof} = 26 \text{ km}$, $T_0 = 03:50:40.8$, $M_w = 7.6$, $\text{distanza} = 5189 \text{ km} = 46.7^\circ$, $\text{azimuth} = 77.6^\circ$. Le componenti orizzontali sono state ruotate dell'azimuth corrispondente all'epicentro per ottenere le componenti radiale e trasversale. In Fig. 31 sono mostrati i sismogrammi registrati dalla stazione CUBB, filtrati a frequenze molto basse per mettere in evidenza le fasi principali dell'evento, dalle varie onde di volume alle onde superficiali. Le fasi più evidenti sono state classificate confrontando i tempi di arrivo con i tempi teorici. Grazie alla notevole energia del terremoto e alle caratteristiche della stazione a larga banda è stato possibile individuare le fasi PP, PPP, PPPP e PcS, oltre ovviamente alle P e S dirette. Nei sismogrammi filtrati tra 50 e 200 secondi, dopo la correzione per la curva di risposta del sensore, sono evidenti le onde superficiali di Love e Rayleigh. Queste onde, caratterizzate da lunghezza d'onda dell'ordine di 250 km, si propagano prevalentemente nella crosta e nel mantello superiore.

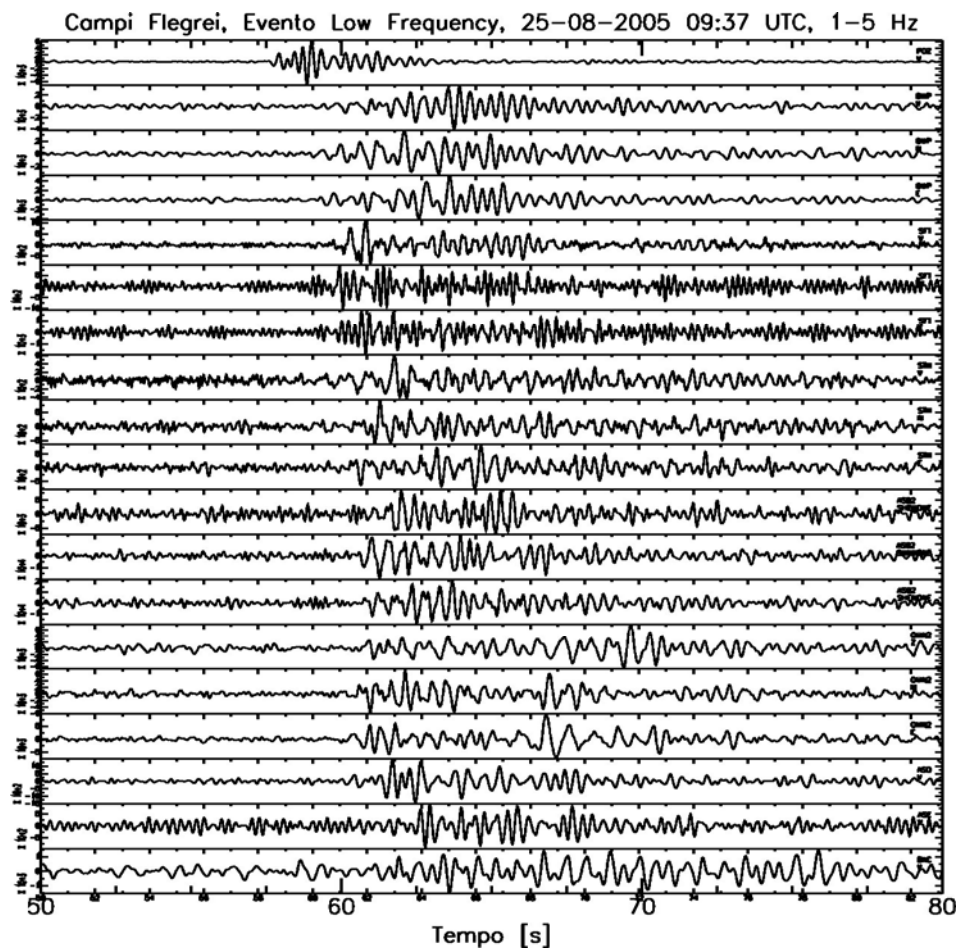


Figura 29 - Segnali sismici registrati dalle stazioni flegree il 25 agosto 2005. Sono mostrati sia i segnali della Rete Permanente che quelli delle stazioni della Rete Mobile in ordine di distanza dall'epicentro. I segnali sono stati filtrati tra 1 e 5 Hz per ridurre il rumore ad alta frequenza su alcune stazioni e il rumore a frequenza molto bassa sui segnali delle stazioni a larga banda.

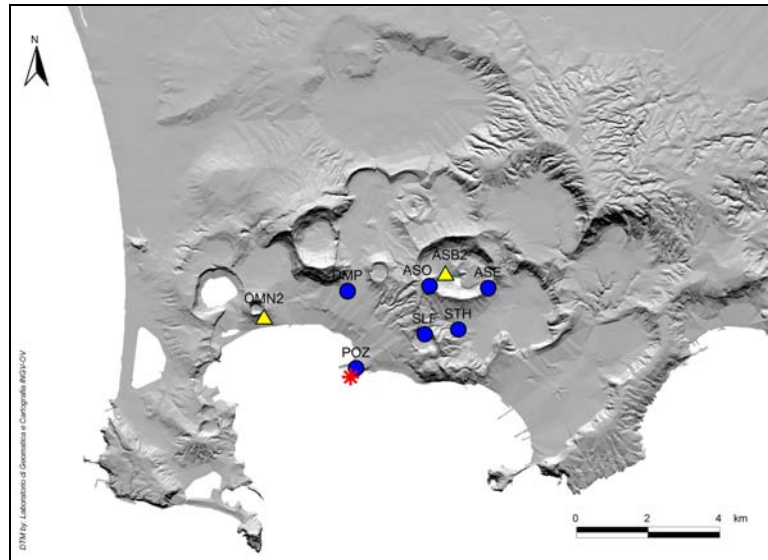


Figura 30 - Localizzazione dell'evento LP del 25 Agosto 2005 ai Campi Flegrei (asterisco rosso). Sono mostrate le stazioni sismiche utilizzate per la localizzazione: i cerchi blu indicano le stazioni della Rete Sismica Permanente mentre i triangoli gialli identificano le stazioni della Rete Sismica Mobile.

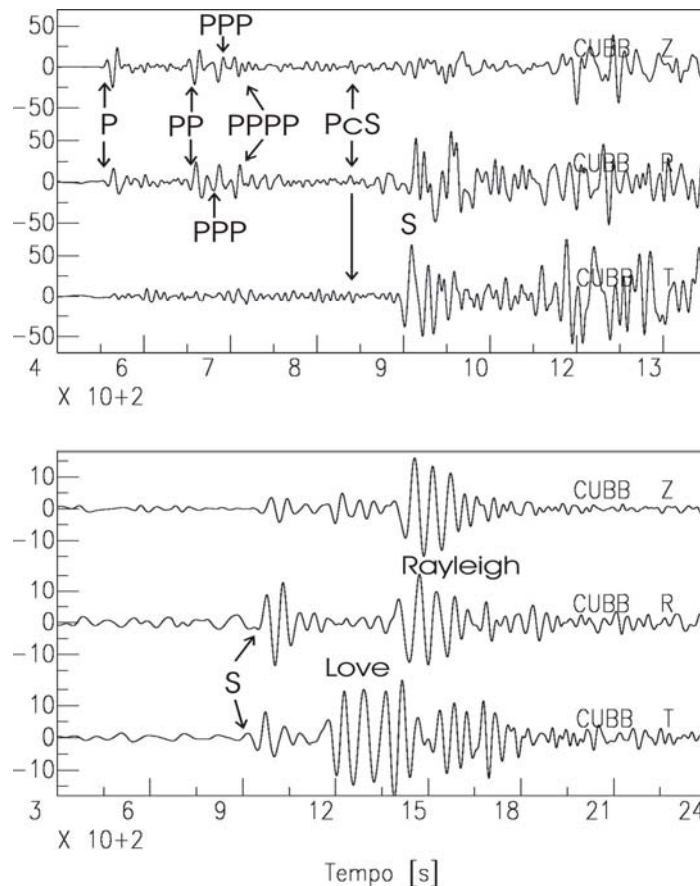


Figura 31 - Terremoto dell' 8 Ottobre 2005 registrato alla stazione CUBB. Il primo grafico mostra i segnali filtrati nella banda 0.01 – 0.1 Hz. Le fasi P, PP, PPP e PPPP sono evidenti sulle componenti verticale e radiale, mentre la fase S domina sulla componente trasversale. Notare come sulla componente verticale l'ampiezza della fase P sia maggiore rispetto alla radiale, mentre per le successive PP, PPP e PPPP il rapporto di ampiezza verticale/radiale diminuisce a causa dell'angolo di incidenza maggiore. Nel secondo grafico i sismogrammi sono stati filtrati nella banda 0.005 – 0.02 Hz. In questi segnali si apprezzano la fase S diretta e le onde superficiali di periodo estremamente lungo che si propagano nella crosta e nel mantello superiore.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione Maurizio Ciampi, Norma Damiano, Vincenzo Nisii, Lucia Zaccarelli, Marco Capello, Patrizia Ricciolino, l'Oasi naturalistica del WWF degli Astroni, l'Ente "Terme di Agnano", la Soprintendenza ai Beni Culturali di Napoli, il Comune di Pozzuoli e la SEPSA.

Si ringrazia, inoltre, Ferruccio Ferrari (INGV-CT) che ha reso disponibili i programmi SEISM e CONWIZ con i quali vengono, rispettivamente, analizzati e convertiti nel formato SAC i dati delle stazioni Lennartz PCM5800.

Bibliografia

Schweitzer, J. (2001): HYPOSAT – an enhanced routine to locate seismic events. Pure and Applied Geophysics 158, 277-289.

ATTIVITÀ DEL LABORATORIO ANALISI AVANZATE (LAV)³

Il Laboratorio di Analisi avanzate (LAV) è stato istituito (D.D. n.5 del 21.2.2005) con lo scopo di effettuare analisi con metodologie avanzate, sperimentando anche nuove tecniche di elaborazione dati per il monitoraggio sismologico. L'attività del LAV consiste nell'analisi off-line dei dati raccolti dalla rete sismica di sorveglianza (fissa e mobile) dell'INGV - Osservatorio Vesuviano. In particolare l'attività è devoluta alla definizione di procedure per:

- il calcolo della localizzazione ipocentrale e dei meccanismi focali di precisione con modelli di velocità 3-D;
- la determinazione della curva di risposta della catena strumentale;
- la definizione dei parametri spettrali per gli eventi sismici significativi avvenuti nelle aree vulcaniche napoletane;
- l'analisi di array per la caratterizzazione del campo d'onda degli eventi sismici non-VT e per la loro classificazione;
- l'analisi dell'andamento temporale dei parametri di propagazione e di splitting relativi agli eventi VT;
- la caratterizzazione multispettrale del rumore sismico attraverso lo studio dell'andamento temporale dei parametri spettrali (spettrogrammi) e di polarizzazione.

³ A cura di: S. Petrosino, P. Cusano, E. del Pezzo & F. Bianco.

Vesuvio

Nel corso del II semestre 2005 il LAV ha fornito i seguenti risultati, per i segnali sismici registrati nell'area vesuviana:

Localizzazioni 3D degli eventi vulcano tettonici dell'area Vesuviana

Le localizzazioni probabilistiche dei terremoti rilevati nel periodo Gennaio 1999 – Dicembre 2005 sono state ottenute utilizzando il modello di velocità 3D (Scarpa et. al, 2002), mediante algoritmi di ricerca su griglia (Lomax et al., 2000). Nella figura seguente sono mostrata le tre sezioni (orizzontale, Nord-Sud, Est-Ovest), con la distribuzione di probabilità ottenuta per il data-set analizzato (Fig. 32). La sismicità risulta concentrata in area craterica ed interessa i primi 4 Km di crosta al di sotto del livello del mare.

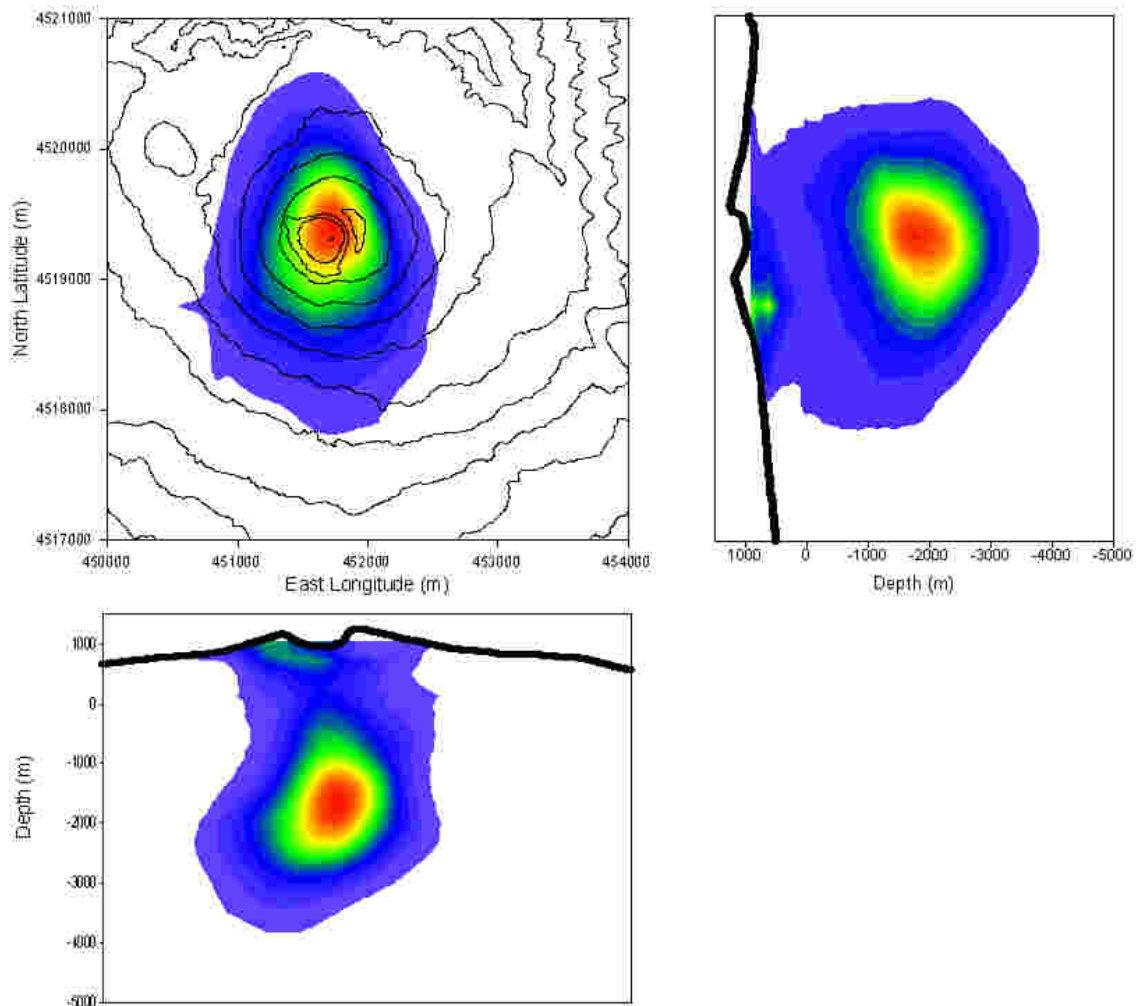


Figura 32 - Localizzazione delle sorgenti sismiche al Vesuvio attraverso la distribuzione di probabilità marginale proiettata nel piano orizzontale e nei due piani verticali orientati NS ed EW. La probabilità è massima nelle aree contraddistinte dal rosso, minima per quelle con l'azzurro.

Analisi degli eventi rilevanti

Il 30 Agosto 2005 le stazioni della rete fissa e della rete mobile dell'OV hanno rilevato un evento sismico di magnitudo pari a 2.8. La localizzazione 3-D fornisce una profondità ipocentrale molto superficiale, essendo l'evento localizzato a circa 700 m al di sopra del livello del mare (Fig. 33).

Questo valore è in buon accordo con la localizzazione 1D effettuata con HYPO71 (Fig. 34) dal Laboratorio Sismico dell'INGV - OV.

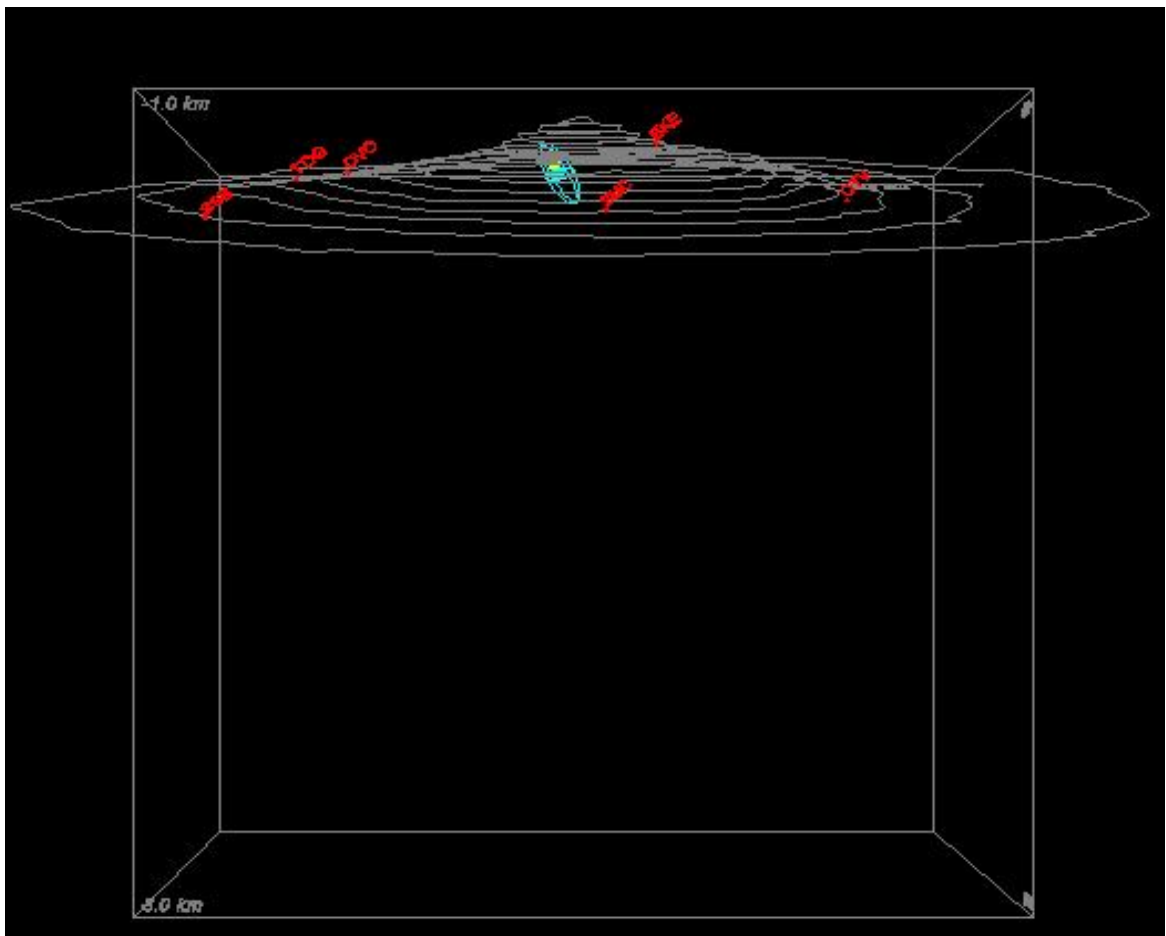


Figura 33 - Localizzazione 3D dell'evento sismico del 30 Agosto 2005 al Vesuvio. Il punto giallo rappresenta la localizzazione ottenuta con il metodo "maximum likelihood", mentre in azzurro è rappresentato il valore di aspettazione per l'ipocentro con l'elissoide di confidenza associato.

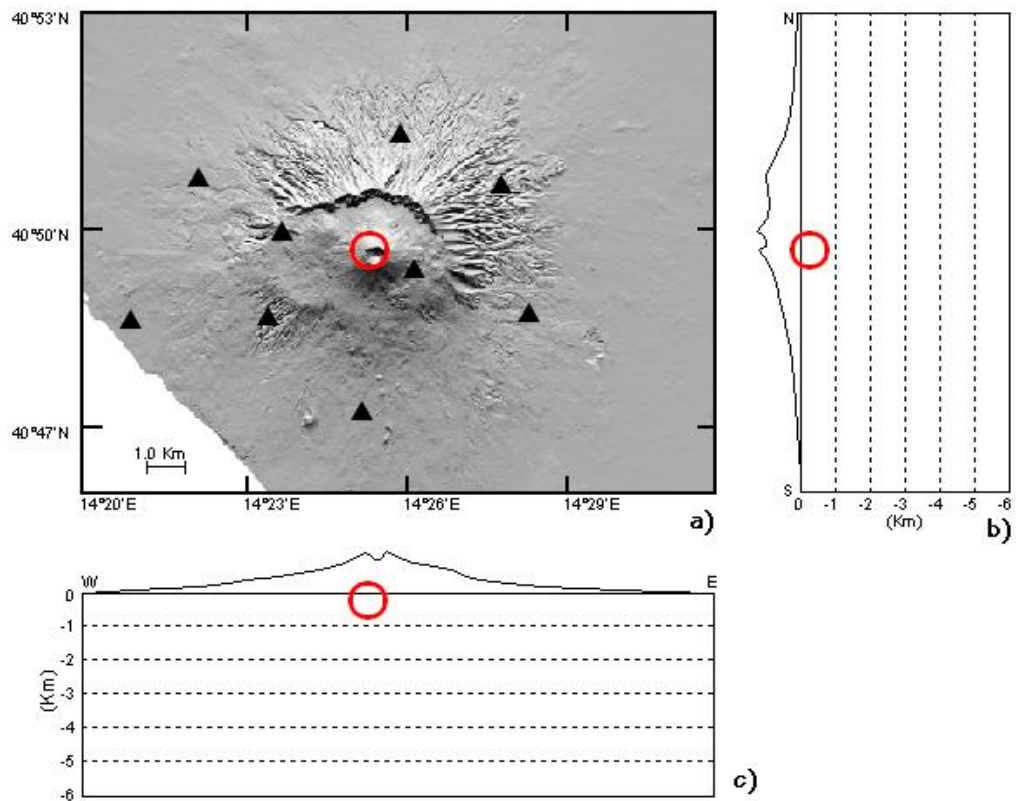


Figura 34 - Localizzazione 1D dell'evento sismico del 30 Agosto 2005 al Vesuvio ottenuta dal Laboratorio Sismico dell'INGV - OV con HYPO71. a) Posizione epicentrale. b) sezione NS. c) sezione EW.

Analisi temporale dei parametri di propagazione

I parametri di splitting costituiscono una misura del campo di stress compressivo che agisce in una determinata area; variazioni nel tempo di tali parametri permettono di definire eventuali variazioni del campo di stress. Tale fenomeno generalmente prelude l'accadimento di terremoti o/e eruzioni, ed una variazione significativa dei parametri di splitting al Vesuvio è stata osservata circa 20 giorni prima del terremoto del 9 Ottobre 1999 ($M = 3.6$, Del Pezzo et al., 2004).

L'attività del LAV su questa tematica, nel periodo esaminato, è stata, come per il I semestre 2005, ancora relativa alla messa a punto di codici e procedure (quasi-)automatiche per la misura dei parametri di splitting; per tali procedure è stata attualmente completata la fase di test.

Le misure di splitting dell'onda di taglio possono essere effettuate solo se sono realizzate le seguenti condizioni: 1) angoli di incidenza inferiori all'angolo critico (35°); $S/R > 6$; chiara evidenza di fasi S. I segnali relativi alla sismicità osservata al Vesuvio nel II semestre del 2005 mostrano, per pochi campioni, le caratteristiche richieste, conferendo ai risultati ottenuti una non attendibilità dal punto di vista statistico.

Campi Flegrei

Nel corso del II semestre 2005 il LAV ha fornito i seguenti risultati, per i segnali sismici registrati nell'area flegrea.

Analisi degli eventi rilevanti

Tra il 1 Luglio e il 31 Dicembre 2005 sono stati rilevati nell'area Flegrea 95 terremoti, di cui 84 avvenuti il 5 Ottobre. Tutti i terremoti di questo sciame sono di piccola magnitudo (max 1.1) e, come si può vedere dall'esempio di spettrogramma in Fig. 35, sono caratterizzati da alte frequenze (8-20 Hz). La Fig. 36 mostra l'alto valore di correlazione che sussiste tra le forma d'onda dei terremoti dello sciame. Non si rileva invece una correlazione significativa tra la forma d'onda i terremoti dello sciame del 5 Ottobre e gli eventi sismici avvenuti ai Campi Flegrei nel corso dei primi sei mesi del 2005.

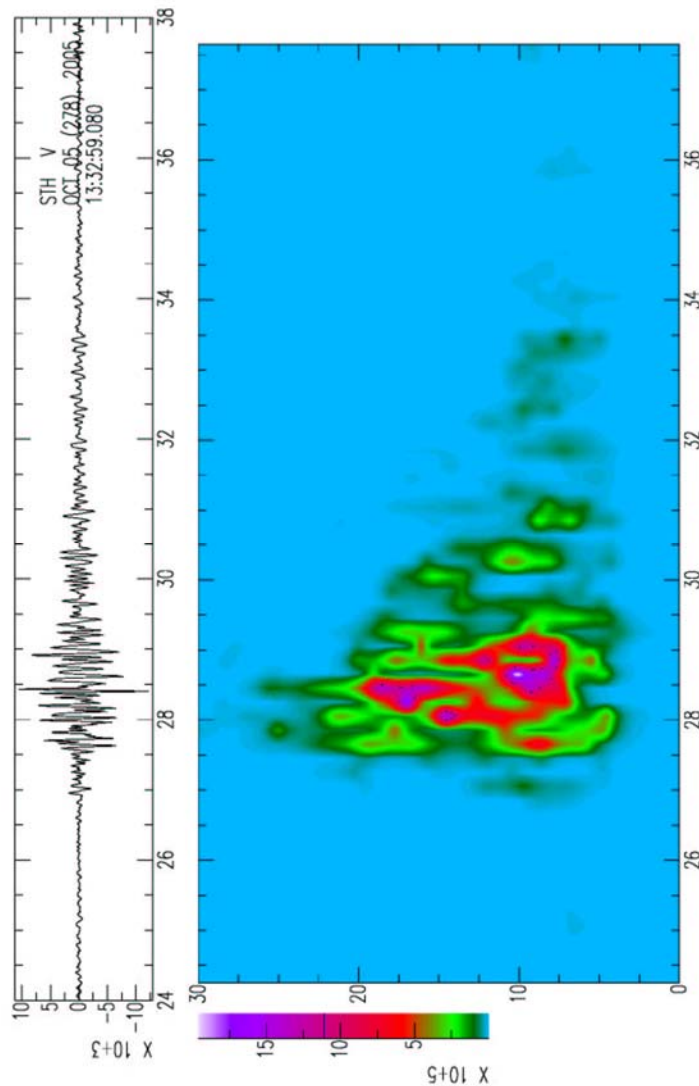


Figura 35 - Spettrogramma della componente verticale di un evento dello sciame sismico avvenuto il 5 Ottobre ai Campi Flegrei.

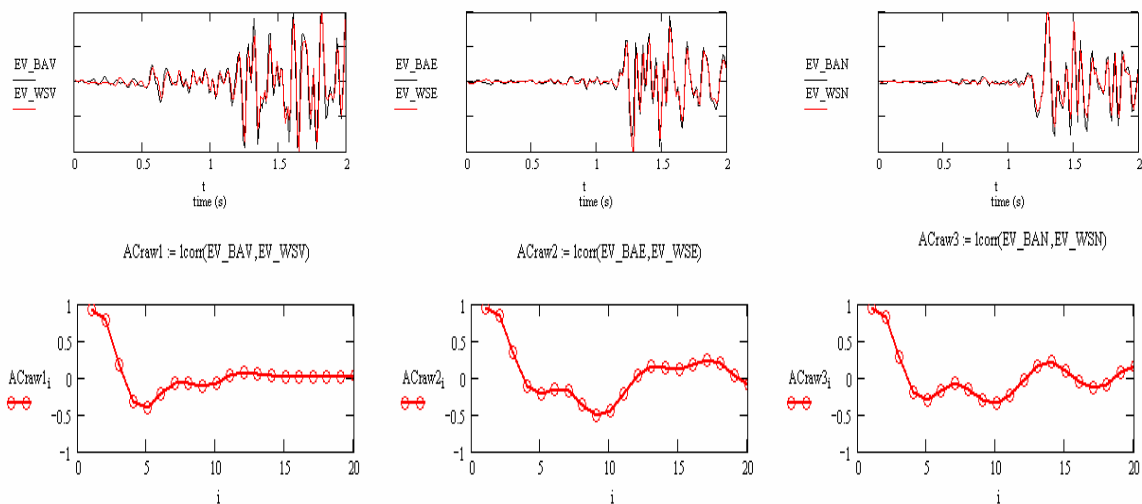


Figura 36 - Confronto tra le forme d'onda di due eventi dello sciame sismico avvenuto il 5 Ottobre nell'area dei Campi Flegrei. Nel pannello in basso è mostrata la correlazione tra le 3 componenti spaziali delle forme d'onda.

Analisi temporale del rumore sismico

Il monitoraggio delle variazioni di ampiezza del rumore sismico viene effettuato sui dati rilevati alla stazione sismica broad-band della Rete Mobile ASB2. Tale parametro viene monitorato per rilevare eventuali incrementi nei livelli di rumore che potrebbero essere correlati all'insorgenza di tremore vulcanico. Il valore medio (RMS) dell'ampiezza del rumore viene calcolato su finestre temporali di 10 minuti estratte dalle registrazioni giornaliere notturne e diurne. L'RMS viene calcolato sia sul segnale non filtrato, sia in 3 bande di frequenza (0.05-0.1 Hz, 0.1-1 Hz, 1-5 Hz). Nell'area Flegrea non si evidenziano particolari variazioni nei livelli di rumore sismico rilevati nel corso 2005 (Fig. 37).

Bibliografia

- Del Pezzo, E., Bianco, F., Petrosino, S. and Saccorotti, G. 2004. Changes in the coda decay rate and shear wave splitting parameters associated to seismic swarms at Mt. Vesuvius, Italy. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 94, 439 – 452.
- Scarpa R., Tronca F., Bianco F., Del Pezzo E., 2002. High resolution velocity structure beneath Mount Vesuvius from seismic array data. *Geophys. Res. Lett.*, 29 N.0, doi:10.1029/2002GL015576.
- Lomax, A., J. Virieux, P. Volant and C. Berge, 2000. Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations, in *Advances in Seismic Event Location* Thurber, C.H., and N. Rabinowitz (eds.), Kluwer, Amsterdam, 101-134.

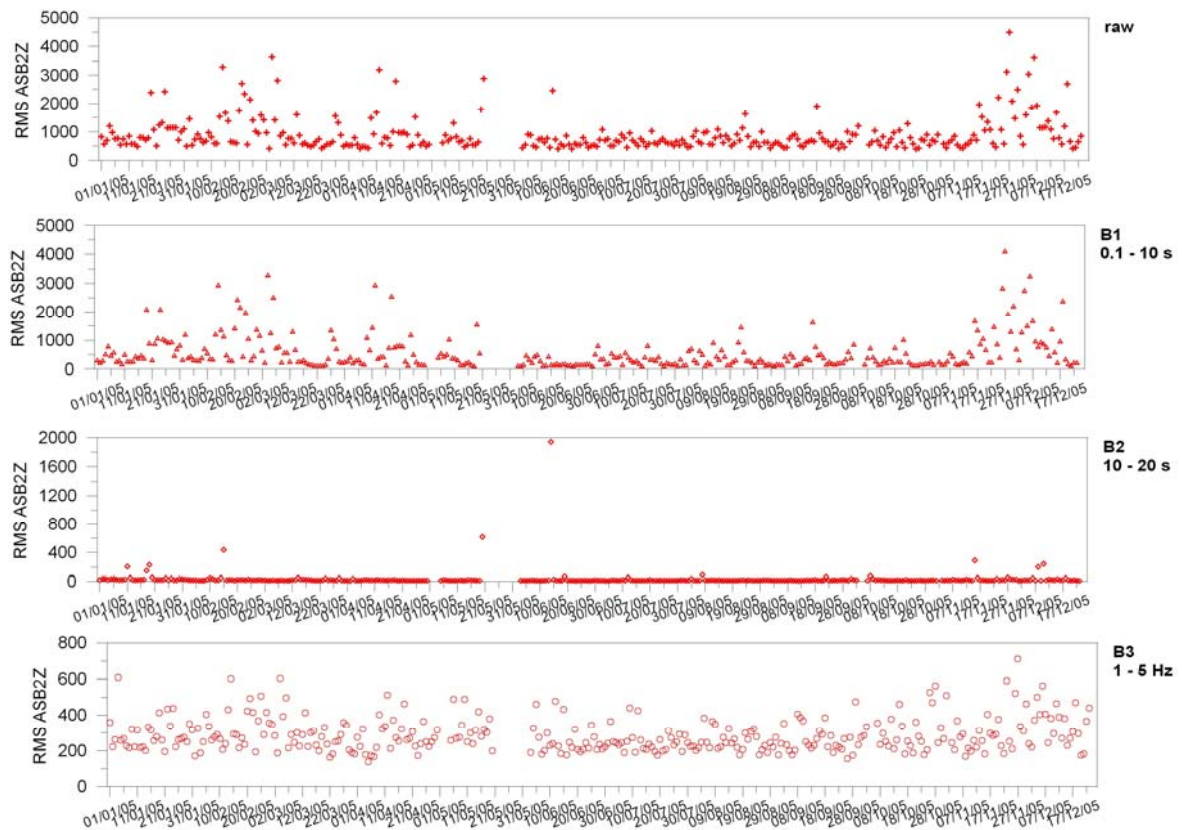


Figura 37 - Andamento temporale del valor medio dell'ampiezza (RMS) del rumore (componente verticale) alla stazione ASB2 nelle tre bande di frequenza esplicitate nel testo.

LIVELLAZIONI DI PRECISIONE AI CAMPI FLEGREI⁴

L'area dei Campi Flegrei, dopo la crisi bradisismica avvenuta tra il 1982 e il 1984, è in fase di subsidenza, talvolta interrotta da piccoli sollevamenti di breve durata. La velocità di abbassamento del suolo, inizialmente più elevata, è andata diminuendo nel tempo come mostrato in Fig. 38. La zona in cui si registra la maggiore dinamica è sempre quella prossima al Rione Terra nel Comune di Pozzuoli ed in particolare nell'area in cui sono installati i capisaldi 24,25A e 60 della rete di livellazione di precisione dell'INGV-Napoli Osservatorio Vesuviano. Dalle ultime campagne di livellazione risulta un abbassamento del suolo di circa un centimetro nel periodo compreso tra Giugno 2004 e Novembre 2004, seguito da un innalzamento di 12 millimetri al caposaldo n.24 tra Novembre 2004 e Ottobre 2005, quando è stata effettuata l'ultima campagna di livellazione. Nel periodo Maggio 2005 Ottobre 2005 non si riscontrano, complessivamente, significative variazioni di quota a conferma di una stasi del fenomeno. La velocità di sollevamento, relativa alla recente inversione del moto del suolo, può essere considerata bassa, se comparata a quella osservata durante le crisi avvenute a partire dal 1989.

⁴ A cura di: C. Del Gaudio, C. Ricco, S. Malaspina, I. Aquino, G. Brandi, C. Serio

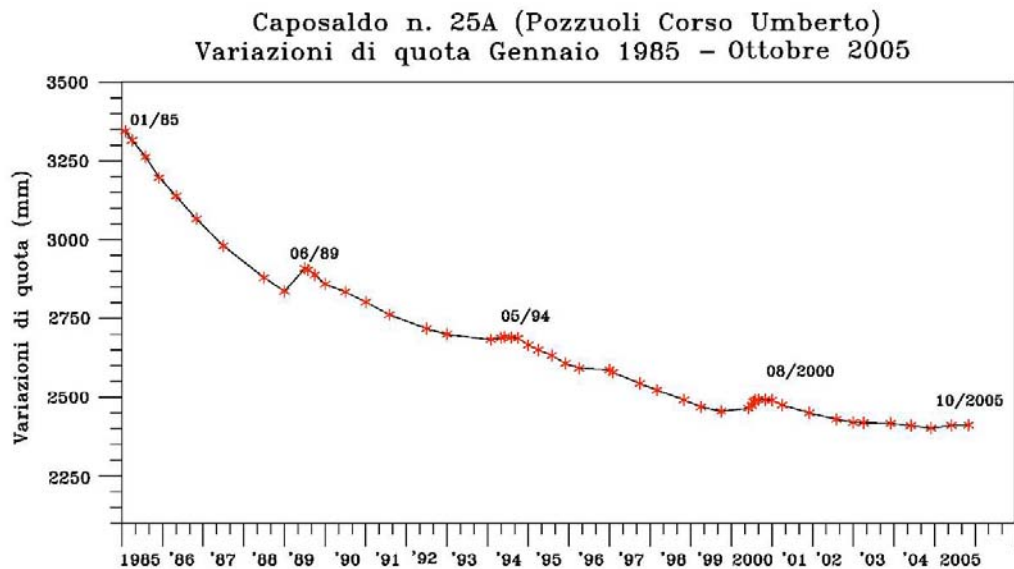


Figura 38 - Grafico delle variazioni di quota riferite, a Gennaio 1985, calcolate al caposaldo 25A che, com'è noto, storicamente rappresenta le recenti fasi del bradisismo flegreo.

Dettagli sulle misure di livellazione di precisione ai Campi Flegrei

La rete altimetrica dei Campi Flegrei, compresi i tratti Napoli Mergellina - Mareografo Molo Carmine e Quarto Flegreo - Qualiano, è costituita da circa 330 capisaldi distribuiti su circa 135 km di linea con interdistanza media di 400 m e strutturata in quattordici circuiti concatenati (fig. 39).

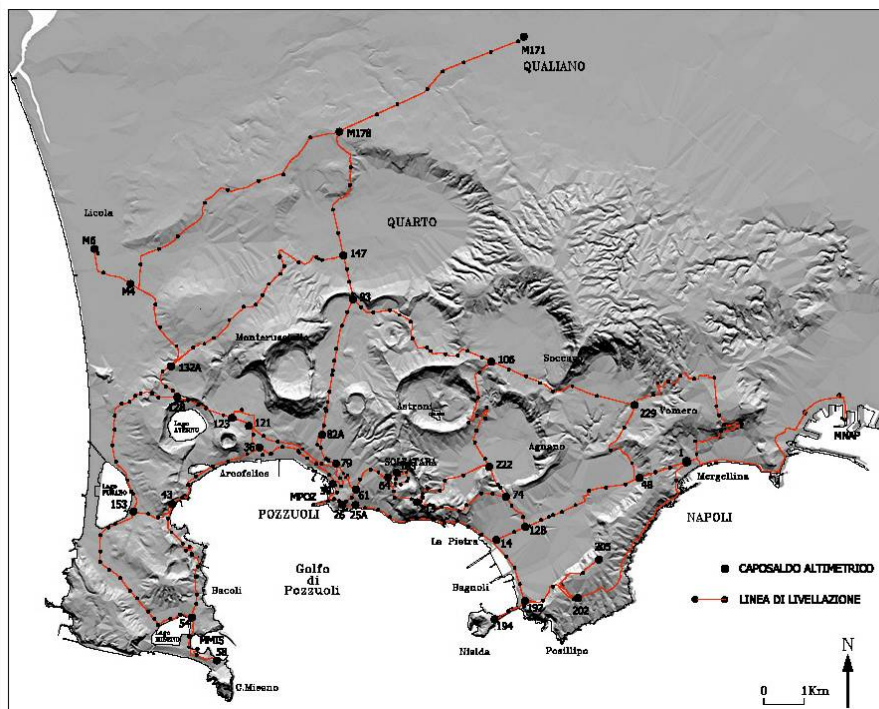


Figura 39 - Rete altimetrica dei Campi Flegrei.

Nell'ambito del programma di sorveglianza geodetica dei Campi Flegrei, l'Osservatorio Vesuviano, sezione di Napoli dell'I.N.G.V. ha eseguito a partire dagli inizi del mese di Ottobre 2005, misure altimetriche di precisione che hanno interessato una parte della rete di livellazione dell'area flegrea. In particolare quest'ultime misurazioni hanno interessato le linee: "Costiera" (Cs 1-58), "Solfatara" (Cs 59-76), Pisciarelli (Cs 213-222), "Interna Solfatara", "Posillipo (Cs 189-212) e i collegamenti alle stazioni mareografiche e tiltmetriche operanti in continuo nell'area (fig 40).



Figura 40 - Parte della Rete Altimetrica dei C.Flegrei interessata dalle misurazioni di Ottobre 2005.

L'ultimo rilievo di dati, riguardanti l'intera rete altimetrica, è stato effettuato a Maggio 2004 mentre a Novembre dello stesso anno è stata portata a termine una livellazione riguardante tutta la linea costiera (Cs 1 – Cs 58), la linea denominata "Solfatara" ed un tratto (Cs 30 – Cs 82 A/B) della linea Pozzuoli – Quarto (fig 41).

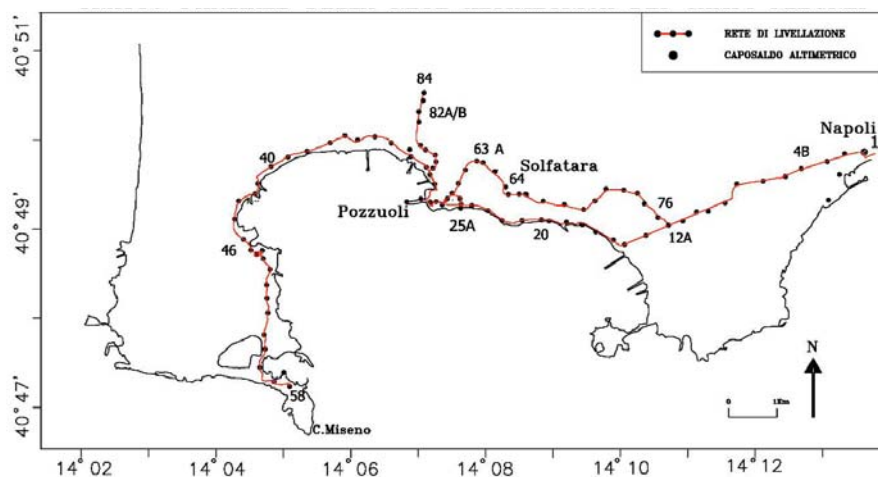


Figura 41 - Parte della Rete Altimetrica dei Campi Flegrei interessata dalle misurazioni di Novembre 2004.

A maggio 2005 sono state eseguite una serie di misurazioni altimetriche di precisione lungo il circuito chiuso che, partendo dal caposaldo 4B (Napoli Galleria 4 Giornate) proseguendo lungo la linea costiera, collega il caposaldo 30 (Pozzuoli Serapeo) per poi ricongiungersi al caposaldo 4B seguendo la linea denominata "Solfatara" (Fig. 42).

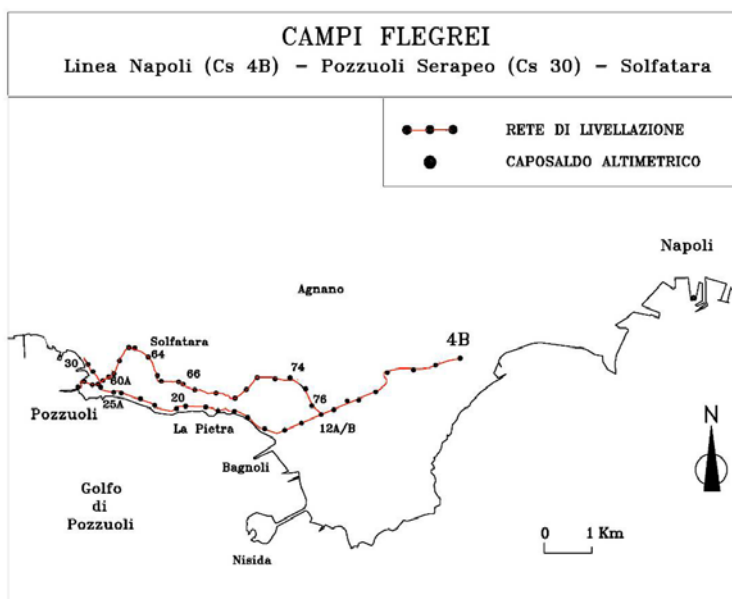


Figura 42 - Parte della Rete Altimetrica dei Campi Flegrei interessata dalle misurazioni di Maggio 2005.

Come di consueto, prima dei rilievi di campagna, è stato eseguito un sopralluogo su tutti i punti di misurazione per il controllo e l'eventuale ripristino dei capisaldi andati distrutti per varie cause. Le ultime misurazioni sono terminate nella seconda metà di Ottobre 2005 e sono state eseguite a norma, mediante livellazione geometrica di precisione dal mezzo

con l' utilizzo di autolivelli ottici "Wild" mod. Na2, corredati di micrometri a lamina piano-parallelata e mire con graduazione su nastro invar. In tabella 14 sono riportati gli errori di chiusura dei circuiti interessati.

Tabella 14

POLIGONO	L (Km)	Err (mm)	Err. Max (mm)	Err/Err. max %
FA CIRCUITO SOLFATARA	11.595	-3.6	6.8	52.9
FI CIRCUITO POSILLIPO	14.374	0.8	7.6	11.1
FL CIRCUITO PISCIARELLI	5.91	1.4	4.9	29.4
FN CIRCUITO INT. SOLFATARA	1.226	-0.5	2.2	23.7
FT CIRCUITO TOIANO	1.871	0.2	2.7	9.0

Dopo la verifica delle chiusure dei circuiti, le misurazioni di campagna sono state sottoposte a compensazione ai minimi quadrati con il metodo delle osservazioni indirette. Le quote compensate, della parte di rete investigata, sono state calcolate imponendo quale riferimento il cs. 1, localizzato a Napoli Mergellina (Q0 = 2.7540 m slm). Nelle figg. 43 e 44 sono riportati i grafici delle variazioni di quota dei capisaldi appartenenti rispettivamente alle linee "Napoli - Pozzuoli" e "Napoli - Solfatara", relative al periodo Maggio - Ottobre 2005.

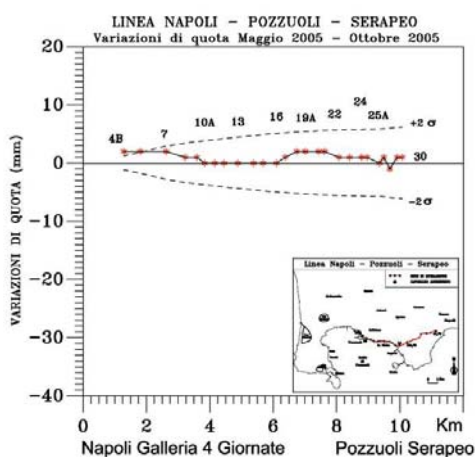


Figura 43 - Variazioni di quota lungo la linea costiera da Maggio a Ottobre 2005.

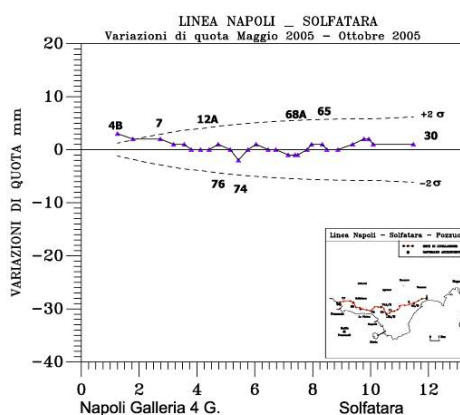


Figura 44 - Variazioni di quota lungo la linea Napoli - Solfatara da Maggio a Ottobre 2005.

Le misure eseguite a Ottobre 2005, messe a confronto con quelle di Maggio dello stesso anno, complessivamente, non hanno mostrato variazioni di quota significative (cioè non hanno superato i limiti dell'errore) lungo le due linee rappresentate nelle figure 43 e 44.

Nelle figure le linee tratteggiate rappresentano i limiti di confidenza a 95% delle serie di dati messe a confronto. Queste misurazioni riferite a quelle di Novembre 2004, hanno confermato che l'area flegrea è stata interessata da un piccolo ma significativo sollevamento del suolo (valore massimo +12 mm al Cs.24). I grafici nelle figure 45 e 46 evidenziano con chiarezza l'andamento complessivo della componente verticale del campo di deformazione del suolo nel tempo e lungo le linee considerate. Il significativo valore in abbassamento, calcolato in corrispondenza del cs. 42 (-7 mm), potrebbe essere dovuto ad un'anomalia locale e comunque, le prossime misurazioni potranno fornire maggiori informazioni sui valori "anomali" calcolati ai capisaldi localizzati in località Arco Felice.

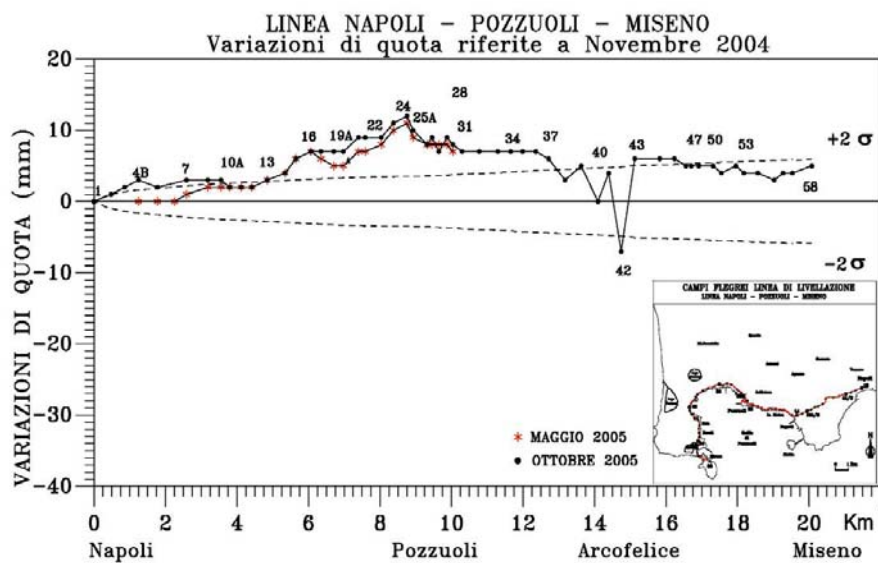


Figura 45 - Variazioni di quota lungo la linea "Costiera" riferite a Novembre 2004.

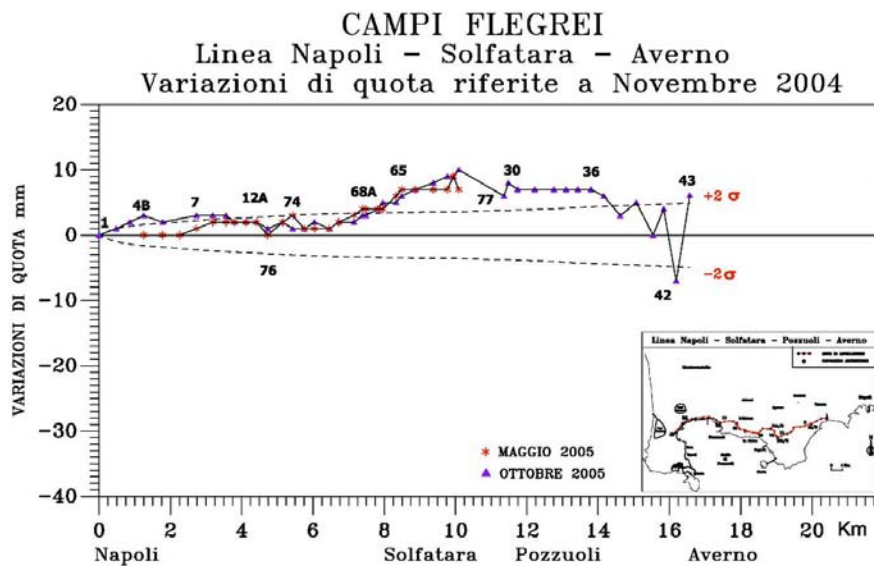


Figura 46 - Variazioni di quota lungo la linea "Solfatara" riferite a Novembre 2004.

Conclusioni

Le livellazioni eseguite dal 2004 al 2005 mostrano che, dopo l'evento di sollevamento verificatosi tra la primavera e l'estate del 2000 ed il successivo abbassamento proseguito fino alla fine del 2002, la fase di subsidenza ha prima mostrato un significativo rallentamento per poi annullarsi in seguito a un lieve sollevamento che ha raggiunto valori massimi di 12 mm, nel periodo Novembre 2004 – Ottobre 2005, al caposaldo n. 24, localizzato a Pozzuoli nell'area di massima deformazione verticale.

Allo stato attuale, i dati rilevati dalle reti di sorveglianza geodetica, non permettono di ritenere conclusa la recente inversione del moto del suolo ai Campi Flegrei e pertanto, in base a queste considerazioni, oltre a proseguire con la massima attenzione nel monitoraggio in continuo dell'area, si prevedono successive campagne di livellazione, che interesseranno parte della linea costiera e/o tutta la rete altimetrica; esse permetteranno di disporre di maggiori informazioni per il monitoraggio e lo studio relativi agli sviluppi del fenomeno bradisismico.

RETE GPS PERMANENTE DELL'AREA VESUVIANA⁵

La rete di stazioni permanenti GPS nell'area vesuviana è costituita da 7 stazioni. La configurazione della rete è mostrata in fig. 47. In essa sono anche mostrati il sito di riferimento (FRUL) utilizzato fino a tutto il 2004 ed abbandonato a causa della degradazione del segnale sulla L2 e il nuovo sito di riferimento ENAV.

Dal 30 luglio 2005 è stata rioccupata la stazione OSVE, che era stata abbandonata a causa del forte inquinamento elettromagnetico presente nella zona della sede storica dell'O.V.

La stazione BKES che presentava problemi di ricezione del segnale è stata disattivata nel maggio 2005 ed è stata sostituita dalla stazione BKE1, che ha iniziato a funzionare dal 21 dicembre.

Tutte le stazioni sono attrezzate con ricevitori LEICA RS500 ed antenna LEIAT504+R (Choke Ring con radome di protezione).

⁵ A cura di: G. Brandi, A. D'Alessandro, P. De Martino, M. Dolce, S. Malaspina, F. Pingue, C. Serio, U. Tammaro.

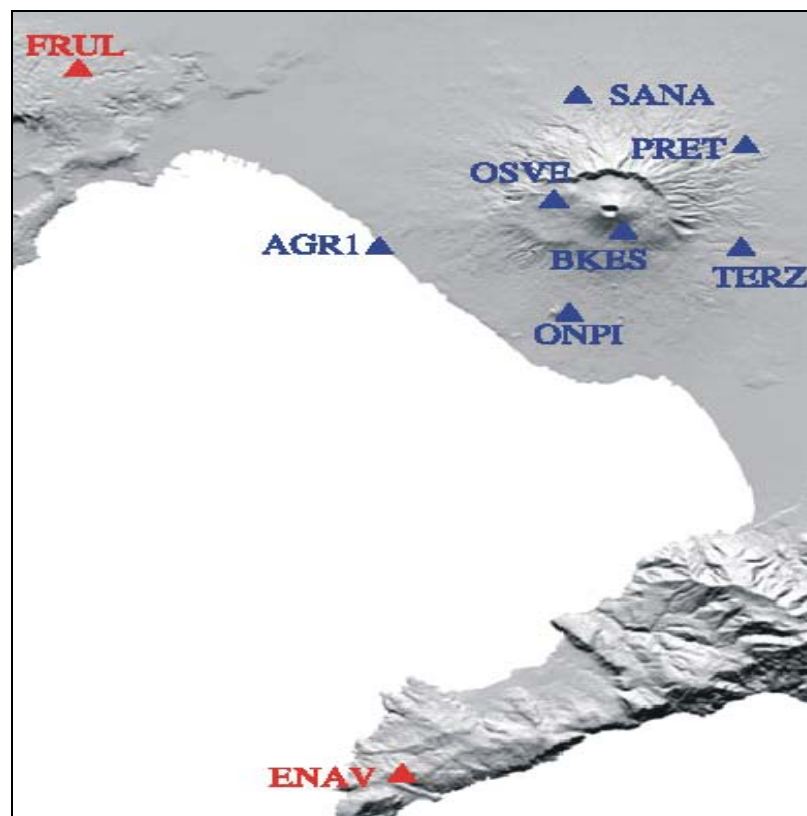


Figura 47 - Rete di stazioni permanenti GPS dell'area vesuviana (aggiornata a dicembre 2005). In rosso sono evidenziati il vecchio (FRUL) e il nuovo sito (ENAV) di riferimento. In blu sono indicate le stazioni che ricoprono l'area vesuviana. La nuova stazione BKE1 è praticamente coincidente con BKES e per questo motivo non è stata indicata nella figura.

Tutte le stazioni sono provviste di linea telefonica e rete elettrica indipendente. I siti sono dotati di batterie a tampone che garantiscono almeno 48 ore di autonomia in caso di black out elettrico. In tab. 15 è presentato l'elenco dei siti della rete CGPS dell'area vesuviana, specificando la strumentazione presente e le modalità di trasmissione dei dati.

Tabella 15 - Elenco dei siti della rete di stazioni permanenti GPS dell'area vesuviana. Si riporta la sigla della stazione, il modello del ricevitore, quello dell'antenna e la modalità di trasmissione dei dati.

Sito	Ricevitore	Antenna	Trasmissione
ENAV	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
AGR1	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
BKE1	Leica RS500	LEAIT504+R	via GSM
ONPI	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
OSVE	LeicaRS500	LEIAT504+R	via cavo
PRET	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
SANA	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
TERZ	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo

In tab. 16 e tab. 17 sono riassunte le principali caratteristiche dei ricevitori Leica modello RS500 e dell'antenna LEIAT504+R.

Tabella 16 - Caratteristiche tecniche salienti del sistema RS500.

Leica RS500	
Tipo di ricevitore	A doppia frequenza: L1 e L2
Numero di canali	12 canali su L1 ed L2
Comportamento quando il codice P è crittato	Operativo
Tecnologia per migliorare il rapporto segnale/rumore e l'aggancio dei satelliti	ClearTrak

Tabella 17 - Caratteristiche tecniche dell'antenna choke ring che equipaggia i siti della rete di stazioni permanenti dell'area vesuviana.

Tipo	Caratteristiche tecniche
LEIAT504+R	Elemento antenna L1/L2 Dorne & Margolin con piano di massa con anello di tenuta in oro anodizzato. Conforme alle antenne IGS tipo 'T', modello JPL. Essa è dotata di radome sferico di protezione

Manutenzione della rete ed installazione nuove stazioni

Nel corso del 2005 è iniziato un nuovo programma di potenziamento della rete che ha previsto l'installazione di nuovi siti (o la rioccupazione di vertici abbandonati nel passato) ed interventi tesi al miglioramento della qualità dei dati acquisiti. In particolare, nell'area vesuviana è stato rioccupato il sito OSVE, posto sulla sede storica dell'Osservatorio Vesuviano, che era stato abbandonato a causa del forte inquinamento elettromagnetico dell'area. Su tale vertice le registrazioni sono iniziate il 30 luglio 2005 e la loro buona qualità negli ultimi 5 mesi del 2005 ha consentito di inserire questo sito fra quelli della rete permanente. In fig. 48, per la stazione OSVE, è rappresentato in classi il rapporto (salti di ciclo)/(numero di osservazioni) normalizzato al massimo. L'istogramma, concentrato nelle prime classi, denota una costanza nell'acquisizione e un basso numero di salti di ciclo.

Nel maggio 2005 la stazione BKES, situata a circa 900 metri di quota, è stata abbandonata a causa della difficoltà di ricezione del segnale e dei problemi di alimentazione dovuti a lunghi periodi di scarso irraggiamento solare. A causa della posizione strategica del sito si è individuato un altro punto, adiacente a quello precedente, ma in posizione che consentisse una migliore ricezione. Inoltre si è dotato il sito di antenna choke ring in sostituzione della LEIAT502 con cui era attrezzato BKES.

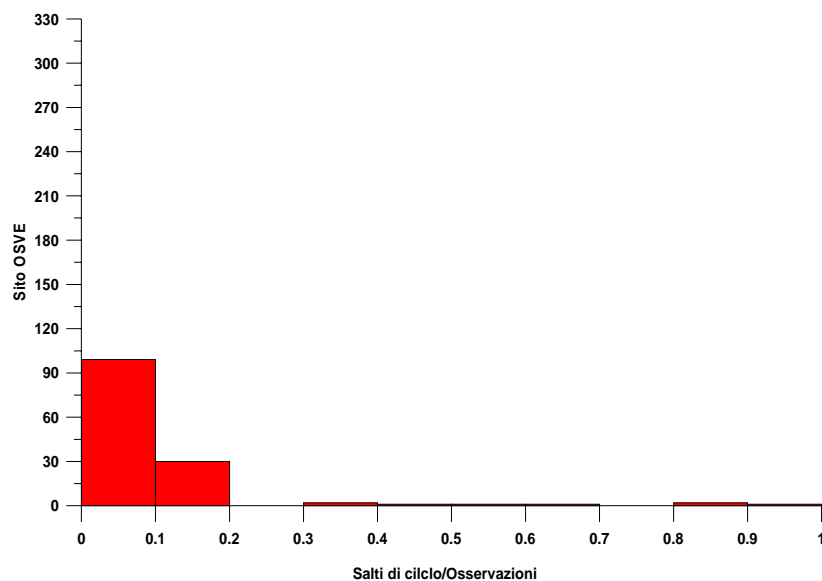


Figura 48 - Rapporto (salti di ciclo)/(numero di osservazioni) normalizzato al massimo.

In fig. 49 sono mostrati i grafici che illustrano la situazione prima e dopo l'installazione del nuovo sito. Il nuovo vertice presenta un notevole miglioramento nella visibilità dei satelliti, con la presenza di ostacoli solo nella parte nord-occidentale.

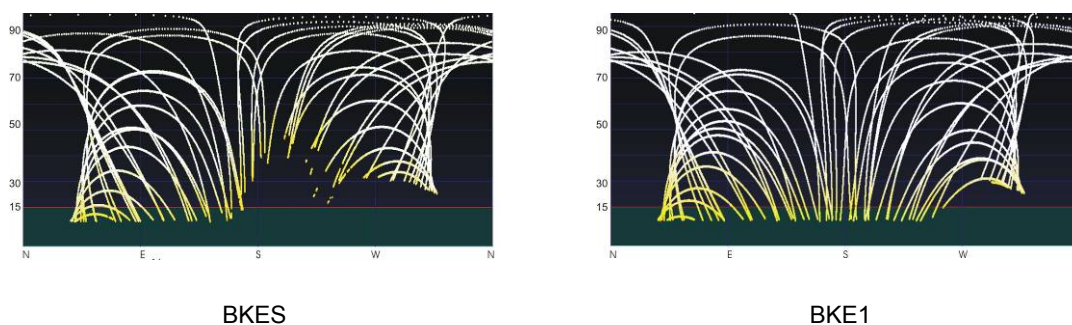


Figura 49 - Visibilità dei satelliti per il vecchio sito BKES e per il nuovo vertice BKE1. Il miglioramento è netto e BKE1 presenta ostacoli solo nella parte nord-occidentale. Analisi del segnale

I ricevitori GPS sono impostati per l'acquisizione in locale di file giornalieri con intervallo di campionamento di 30 secondi ed angolo di cut off di 15 gradi. Tutte le procedure di gestione remota delle stazioni avvengono in automatico, utilizzando il programma GeoGloSS (Geodetic Global Survey System). A valle dello scarico del dato raw e della creazione dei file rinex avviene il controllo di qualità dei dati. Attualmente si impiega il programma TEQC dell'UNAVCO e il modulo DQE (Data Quality Evaluation) del programma NDA (Network Deformation Analysis). Alla fine del 2005 è iniziata la

sperimentazione del software SETA, implementato all'interno del gruppo che cura la manutenzione e lo sviluppo della rete CGPS e l'elaborazione dei relativi dati. Il codice SETA consente alcuni controlli sul file raw (dimensione, nome e data) ed utilizzando il TEQC provvede alla creazione dei file RINEX. Il controllo di qualità dei dati è effettuato da SETA sia utilizzando le uscite del TEQC, sia tramite ulteriori controlli funzionali alle esigenze della rete. In sintesi l'applicazione SETA segue il dato dal formato binario al controllo del metadato e della qualità del dato RINEX, discriminando fra dati idonei e non idonei all'elaborazione.

L'analisi di qualità sui dati della rete è effettuata seguendo nel tempo e per classi di elevazione l'andamento di alcuni parametri, come il rapporto (osservati)/(attesi), il multipath su entrambe le frequenze e il numero di salti di ciclo.

Ad esempio delle analisi effettuate, nelle figg. 50, 51, 52 e 53 sono presentati i rapporti (osservati)/(attesi) per le stazioni dell'area vesuviana.

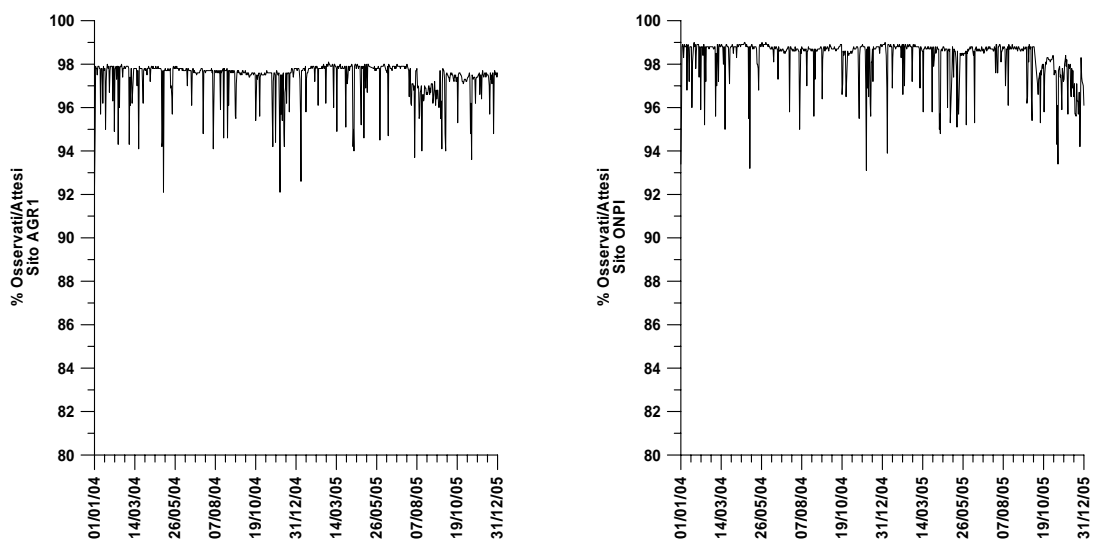


Figura 50 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni di AGR1 ed ONPI.

Alla fine del 2005 per i siti AGR1 e ONPI si è avuta una diminuzione del rapporto (osservati)/(attesi) ed un aumento del multipath sulla L2. Un aumento di MP2 generalmente, in assenza di cambiamenti dello stato del sito, può essere foriero di un aumento dell'inquinamento elettromagnetico dell'area in cui sono posti i vertici. Ciò porta a seguire con molta attenzione l'evoluzione temporale dei parametri di controllo per entrambe le stazioni.

La stazione OSVE presenta, nel pur breve periodo di funzionamento, un'ottima percentuale media del rapporto (osservati)/(attesi) maggiore del 99%. Le stazioni ENAV, PRET e SANA

presentano un andamento praticamente costante negli ultimi due anni, con una media del rapporto compresa tra il 96 e 97% per ENAV e di circa il 99% per PRET e SANA.

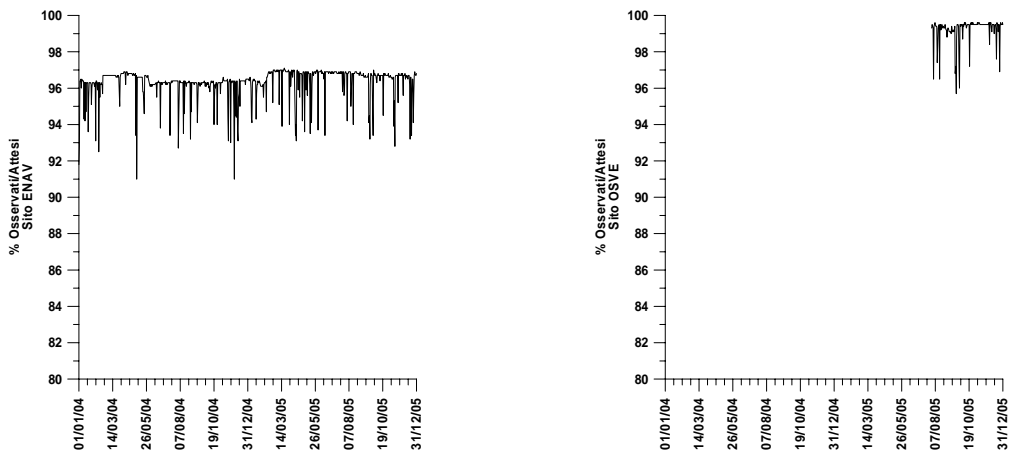


Figura 51 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni di ENAV ed OSVE.

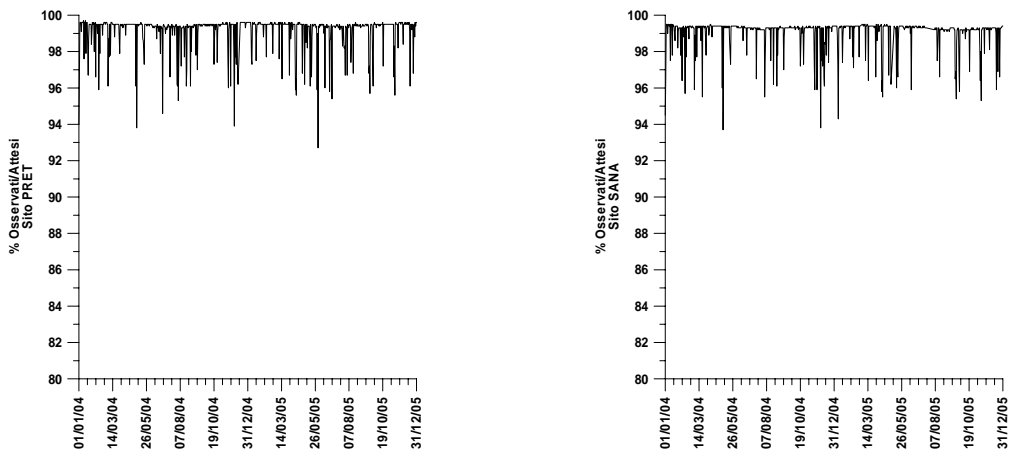


Figura 52 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni di PRET e SANA.

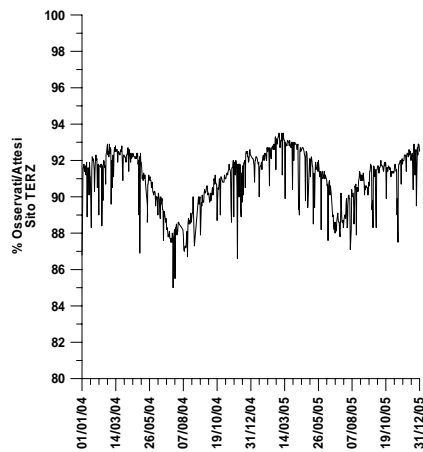


Figura 53 - Rapporto osservati/attesi per la stazione di TERZ.

La stazione TERZ presenta un andamento periodico con un minimo nell'acquisizione tra giugno e luglio ed un massimo fra febbraio e marzo. Nel corso del 2005 si è provveduto a ripulire il sito dalla vegetazione e questo ha consentito di migliorare leggermente l'acquisizione. In ogni caso, il sito TERZ presenta i valori del massimo, minimo e della media del rapporto (Osservati)/(Attesi) più bassi e la dispersione maggiore. Tutto ciò ci ha portato a programmare nel prossimo futuro un intervento sul sito che tenda a migliorare l'acquisizione.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati GPS è effettuata tramite due diverse procedure automatizzate, una basata sul software Bernese v. 4.2 e l'altra sul software NDA (Network Deformation Analysis). La prima procedura automatica di elaborazione è stata implementata attraverso uno script batch che, in sequenza, esegue i seguenti passaggi:

- scarico dei dati rinex dal fileServer.
- scarico dal Center of Orbit Determination in Europe (CODE) dell'Università di Berna dei file necessari all'elaborazione (effemeridi, file dei parametri di rotazione terrestre, file di variazione del centro di fase delle antenne, informazioni e problemi dei satelliti, etc).
- lancio dell'elaborazione utilizzando il software Bernese in modalità BPE (Bernese Processing Engine).
- lettura dei file di output dell'elaborazione, creazione delle serie temporali ed aggiornamento dei grafici, storage dei risultati dell'elaborazione sul server ed aggiornamento del database.

I principali parametri di processamento utilizzati dal software Bernese sono quelli tipici per l'elaborazione di reti locali e sono riassunti in tab. 18.

Tabella 18 - Principali parametri di processamento utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software Bernese v. 4.2.

Orbite e file ERP	Orbite Broadcast e file BULLET_A.ERP
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi con elevation dependent weighting (cosz)
Sampling rate	30 secondi
Baseline indipendenti	SHORTEST – Distanza minima tra le stazioni
Risoluzione Ambiguità	Strategia QIF
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Parametri TZD stimati ogni 2h con la funzione mappante "dry Niell" e senza modello a priori

La soluzione finale giornaliera viene ottenuta in modalità multibase vincolando fortemente (al livello di 0,1 mm) le coordinate di una stazione. Dal 2003, come stazione di riferimento dell'intera rete CGPS, fu scelta la stazione di FRUL, la quale durante il 2005 ha subito una forte degradazione del segnale, come evidenziato dall'analisi di qualità. Per questo motivo, come nuova stazione di riferimento per l'area vesuviana è stata scelta ENAV, materializzata nel 2004 sui calcari della Penisola Sorrentina. La stabilità nel tempo delle stazioni di riferimento viene continuamente monitorata tramite un'elaborazione con stazioni esterne (CAGL, MATE, MEDI, NOT1) della rete IGS e/o EUREF ed inquadramento nel sistema ITRF00 (fig. 54). Da questa elaborazione è stato possibile evidenziare come i problemi di ricezione per FRUL si traducevano in un abbassamento fittizio della stazione che provocava nel calcolo delle baselines relative un sollevamento costante per tutte le stazioni.

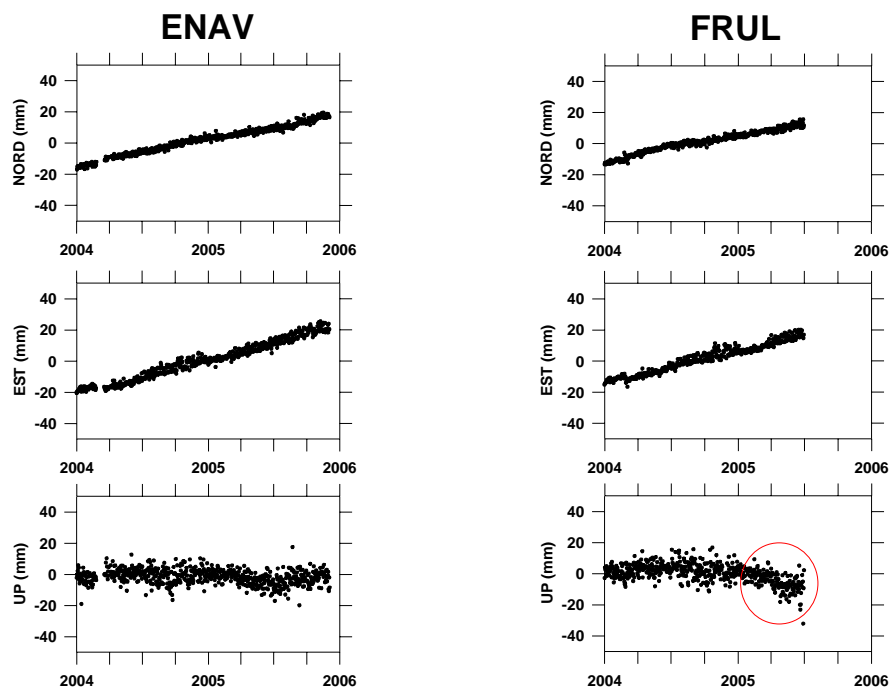


Figura 54 - Serie temporali ITRF00 delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di ENAV e FRUL. Elaborazione con il software Bernese v. 5.0.

Nelle figg. 55, 56 e 57 sono riportate le serie temporali delle variazioni giornaliere, in Nord, Est, Up, delle coordinate delle stazioni GPS ubicate al Vesuvio relativamente a ENAV.

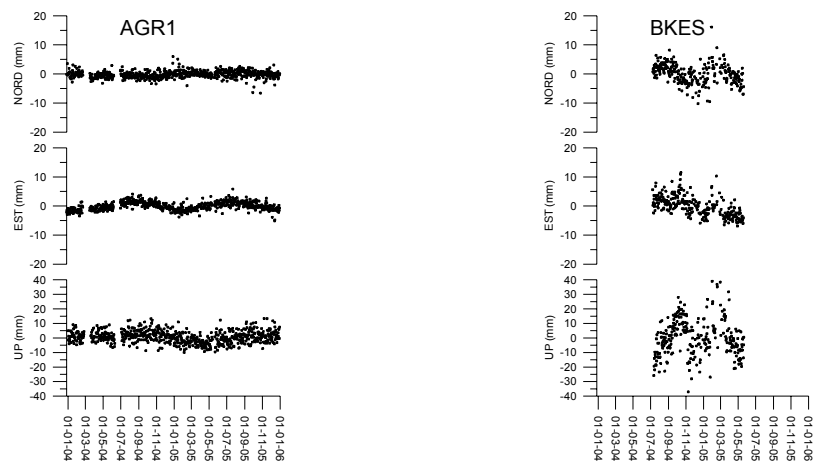


Figura 55 - Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di AGR1, BKES relativamente a ENAV. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

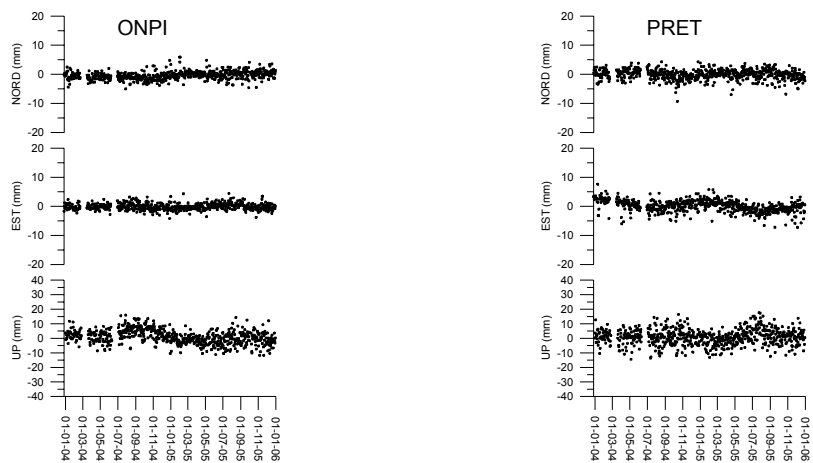


Figura 56 - Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni ONPI e PRET relativamente a ENAV. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

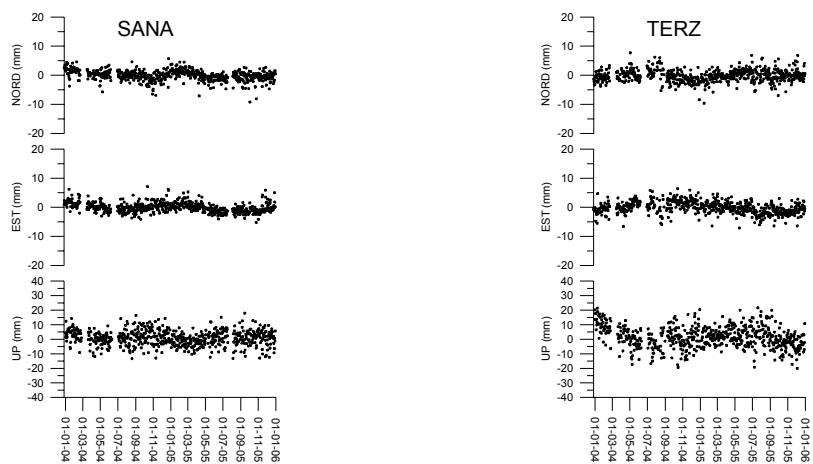


Figura 57 - Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di SANA e TERZ relativamente a ENAV. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

La seconda procedura automatica di elaborazione, basata sul software NDA, effettua elaborazioni giornaliere per singola baseline rispetto ad una stazione di riferimento. Anche in questo caso è stata sostituita nel calcolo la stazione di riferimento di FRUL con ENAV. In tab. 19 sono elencati i principali parametri di calcolo utilizzati dal software NDA.

Tabella 19 - Principali parametri di calcolo utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software NDA.

Orbite	Effemeridi Broadcast
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi
Sampling Rate	30 secondi
Baseline indipendenti	Relative a ENAV
Risoluzione ambiguità	Strategia Lambda
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Stima del ritardo troposferico allo zenit TZD

I risultati delle due diverse procedure di elaborazione, come già evidenziato nei precedenti rapporti, sono coerenti tra loro, data anche la dimensione locale della rete. I risultati ottenuti con il software Bernese mostrano una minore dispersione, soprattutto in quota, dovuta all'uso di più sofisticate tecniche di modellazione degli effetti troposferici.

Conclusioni

Nel secondo semestre del 2005 la rete è stata dotata di due nuove stazioni, BKE1 e OSVE. La stazione BKES, disattivata da maggio 2005 a causa della cattiva qualità del segnale acquisito, è stata sostituita da BKE1 a partire dal 21 dicembre 2005. La stazione di OSVE, posta sull'edificio storico dell'Osservatorio Vesuviano, fu abbandonata alcuni anni fa a causa dell'inquinamento elettromagnetico ed è stata rioccupata a partire dal 30 luglio e dal 2006 sarà inserita tra quelle da elaborare.

Le serie temporali confermano, come già evidenziato nei precedenti rapporti, la presenza di modeste oscillazioni delle componenti Nord, Est ed Up, senza particolari indicazioni di significative fenomenologie in atto a livello del complesso vulcanico.

RETE GPS PERMANENTE DELL'AREA FLEGREA⁶

La rete di stazioni permanenti GPS nell'area flegrea è costituita da 8 vertici. La configurazione della rete è mostrata in fig. 58, insieme al sito di riferimento QUAR. Le stazioni sono attrezzate con ricevitori LEICA RS500 ed antenna LEIAT504+R (Choke ring con radome di protezione) e ricevitori TRIMBLE 4000SSI con antenna TRM29659.00 (Choke Ring senza radome).

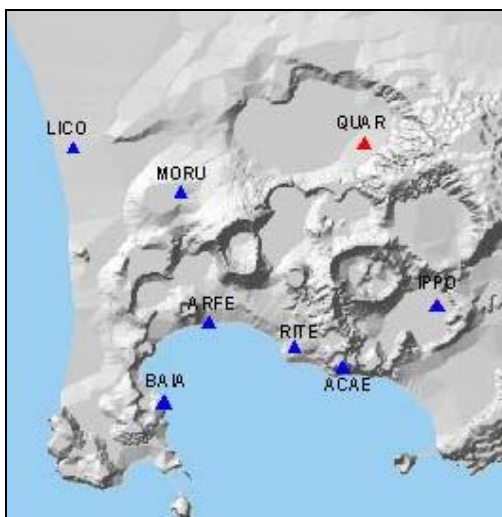


Figura 58 - Rete di stazioni permanenti GPS dell'area flegrea (dicembre 2005). In rosso è evidenziato il sito di riferimento QUAR ed in blu le stazioni che ricoprono l'area flegrea.

Tutte le stazioni sono provviste di linea telefonica e rete elettrica indipendente e dotate di batterie a tampone che garantiscono almeno 48 ore di autonomia in caso di black out elettrico. In tab. 20 è mostrato l'elenco dei siti della rete CGPS dell'area flegrea, specificando la strumentazione presente e le modalità di trasmissione dei dati.

Tabella 20 - Elenco dei siti della rete di stazioni permanenti GPS dell'area flegrea. Sono riportati la sigla della stazione, il tipo di ricevitore, l'antenna e la modalità di trasmissione dei dati.

Sito	Ricevitore	Antenna	Trasmissione
ACAE	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo
ARFE	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
BAIA	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo
IPPO	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo
LICO	Leica RS500	LEAIT504+R	via cavo
MORU	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo
QUAR	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo
RITE	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo

⁶ A cura di: G. Brandi, A. D'Alessandro, P. De Martino, M. Dolce, S. Malaspina, F. Pingue, C. Serio, U. Tammaro.

In tab. 21 sono riassunte le principali caratteristiche del ricevitore Trimble 4000SSI, mentre in tab. 22 quelle del ricevitore Leica RS500.

Tabella 21 - Caratteristiche tecniche salienti del ricevitore Trimble 4000SSI.

Trimble 4000SSI	
Tipo di ricevitore	A doppia frequenza: L1 e L2
Numero di canali	12 canali su L1 ed L2
Comportamento quando il codice P è crittato	Operativo
Tecnologia per migliorare il rapporto segnale/rumore e l'aggancio dei satelliti	Super-Trak

Tabella 22 - Alcune caratteristiche tecniche del sistema RS500.

Leica RS500	
Tipo di ricevitore	A doppia frequenza: L1 e L2
Numero di canali	12 canali su L1 ed L2
Comportamento quando il codice P è crittato	Operativo
Tecnologia per migliorare il rapporto segnale/rumore e l'aggancio dei satelliti	ClearTrak

Manutenzione della rete

Nel corso del secondo semestre del 2005 è iniziato un programma di manutenzione di tutte le stazioni e degli impianti elettrici. In particolare, al sito IPPO è stato rifatto tutto l'impianto elettrico e cambiato l'alloggiamento della strumentazione, senza ovviamente rimuovere l'antenna. Alla stazione BAIA sono stati risolti i problemi di trasmissione dati, che si protraevano oramai da mesi, cambiando il ricevitore e intervenendo sulle modalità di trasmissione. Al sito QUAR è stato cambiato il ricevitore, perché presentava problemi di acquisizione sulla L2.

Analisi del segnale

I ricevitori GPS sono impostati per l'acquisizione in locale di file giornalieri con intervallo di campionamento di 30 secondi ed angolo di cut off di 15 gradi. Tutte le procedure di gestione remota delle stazioni avvengono in automatico, utilizzando il programma GeoGloSS (Geodetic Global Survey System). A valle dello scarico del dato raw e della creazione dei file rinex avviene il controllo di qualità dei dati. Attualmente si impiega il programma TEQC dell'UNAVCO e il modulo DQE (Data Quality Evaluation) del programma NDA (Network Deformation Analysis). Alla fine del 2005 è iniziata la sperimentazione del software SETA, implementato all'interno dell'unità funzionale di Geodesia. Il codice SETA consente alcuni controlli sul file raw (dimensione, nome e data) ed utilizzando il TEQC provvede alla

creazione dei file RINEX. Il controllo di qualità dei dati è effettuato da SETA sia utilizzando le uscite del TEQC, sia tramite ulteriori controlli funzionali alle esigenze della rete. L'analisi di qualità è effettuata seguendo nel tempo e per classi di elevazione l'andamento di alcuni parametri, come il rapporto (osservati)/(attesi), il multipath su entrambe le frequenze e il numero di salti di ciclo. Ad esempio delle analisi effettuate, nelle figg. 2, 3, 4 e 5 sono presentati, in funzione del tempo, i rapporti (osservati)/(attesi), che per il biennio 2004-2005 sono praticamente costanti.

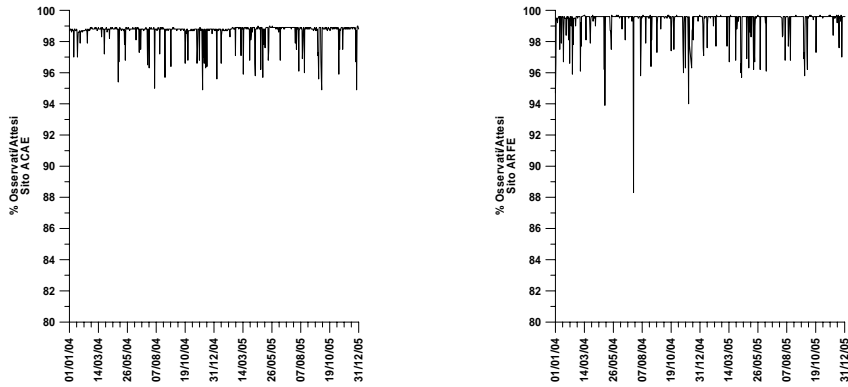


Figura 59 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni ACAE ed ARFE. I dati sono relativi al biennio 2004-2005.

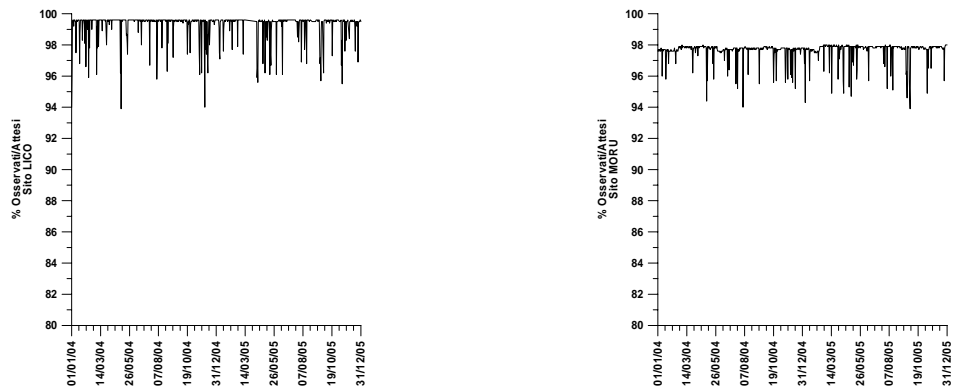


Figura 60 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni LICO e MORU. I dati sono relativi al biennio 2004-2005.

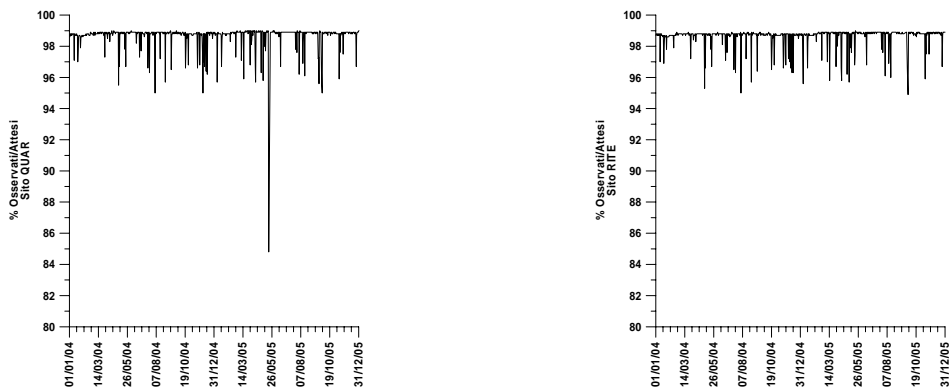


Figura 61 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni QUAR e RITE. I dati sono relativi al biennio 2004-2005.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati GPS è effettuata tramite due diverse procedure automatizzate, una basata sul software Bernese v. 4.2 e l'altra sul software NDA (Network Deformation Analysis). La prima procedura automatica di elaborazione è stata implementata attraverso uno script batch che, in sequenza, esegue i seguenti passaggi:

- scarico dei dati rinex dal fileServer;
- scarico dal Center of Orbit Determination in Europe (CODE) dell'Università di Berna dei file necessari all'elaborazione (effemeridi, file dei parametri di rotazione terrestre, file di variazione del centro di fase delle antenne, informazioni e problemi dei satelliti, etc);
- lancio dell'elaborazione utilizzando il software Bernese in modalità BPE (Bernese Processing Engine);
- lettura dei file di output dell'elaborazione, creazione delle serie temporali ed aggiornamento dei grafici, storage dei risultati dell'elaborazione sul server ed aggiornamento del database.

I principali parametri di processamento utilizzati dal software Bernese sono quelli tipici per I di reti GPS locali e sono riassunti in tab. 23.

Tabella 23 - Principali parametri di processamento utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software Bernese v. 4.2.

Orbite e file ERP	Orbite Broadcast e file BULLET_A.ERP
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi con elevation dependent weighting (cosz)
Sampling rate	30 secondi
Baseline indipendenti	SHORTEST – Distanza minima tra le stazioni
Risoluzione Ambiguità	Strategia QIF
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Parametri TZD stimati ogni 2h con la funzione mappante "dry Niell" e senza modello a priori

La soluzione finale giornaliera viene ottenuta in modalità multibase vincolando fortemente (al livello di 0,1 mm) le coordinate di una stazione. Dal 2003, come stazione di riferimento dell'intera rete CGPS, fu scelta la stazione di FRUL, la quale durante il 2005 ha subito una forte degradazione del segnale, come evidenziato dall'analisi di qualità. Fortunatamente, nell'area flegrea esiste già dal 2000 un'altra stazione di riferimento QUAR. La stabilità nel tempo delle stazioni di riferimento viene continuamente monitorata tramite un'elaborazione con stazioni esterne (CAGL, MATE, MEDI, NOT1) della rete IGS e/o EUREF ed inquadramento nel sistema ITRF00 (fig. 63). Da questa elaborazione è stato

possibile evidenziare come i problemi di ricezione per FRUL si traducevano in un abbassamento fittizio della stazione che provocava nel calcolo delle baselines relative un sollevamento costante per tutte le stazioni.

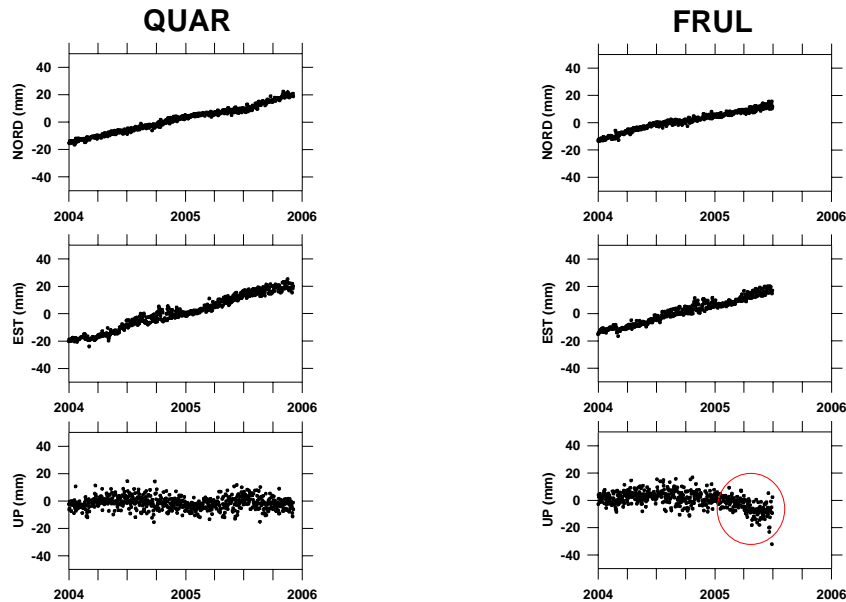


Figura 63 - Serie temporali ITRF00 delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di QUAR e FRUL. Elaborazione con il software Bernese v. 5.0.

Nelle figg. 64, 65 e 66 sono riportate le serie temporali delle variazioni settimanali, in Nord, Est, Up, delle coordinate delle stazioni relativamente a QUAR.

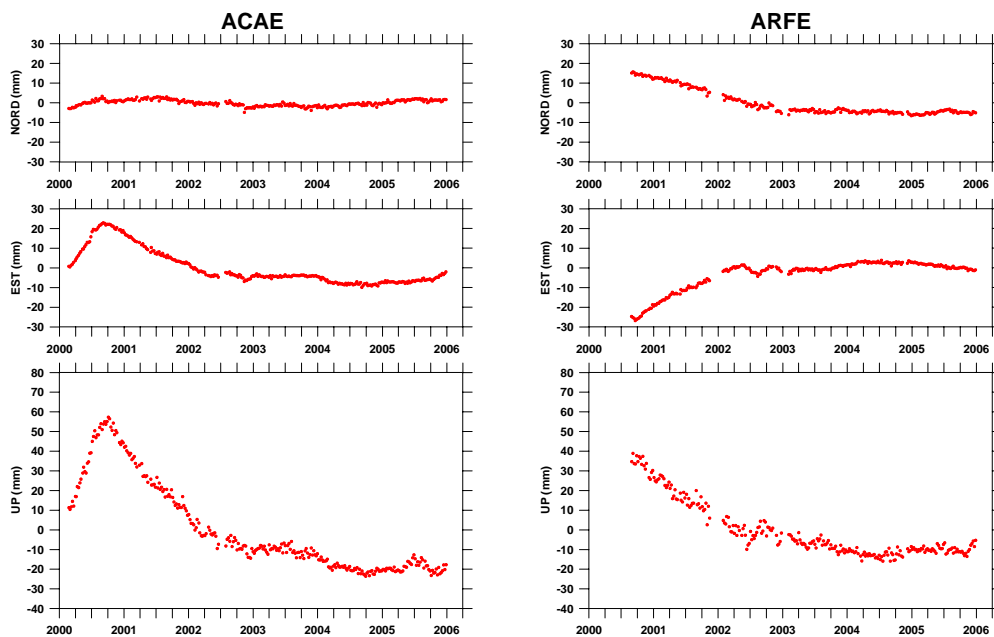


Figura 64 - Serie temporali delle variazioni settimanali in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di ACAE e ARFE relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

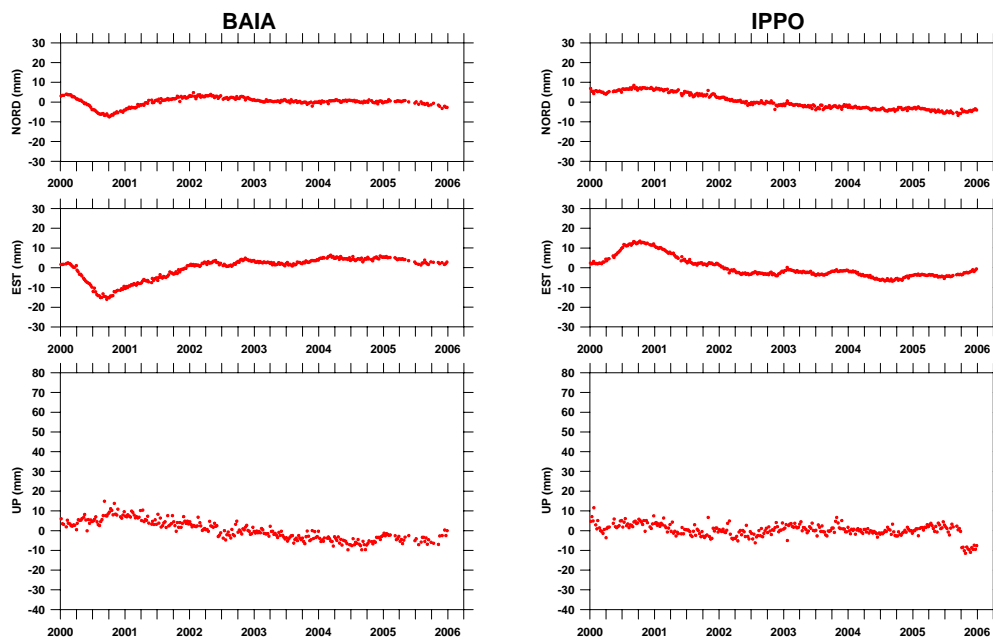


Figura 65 - Serie temporali delle variazioni settimanali in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di BAIA e IPPO relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

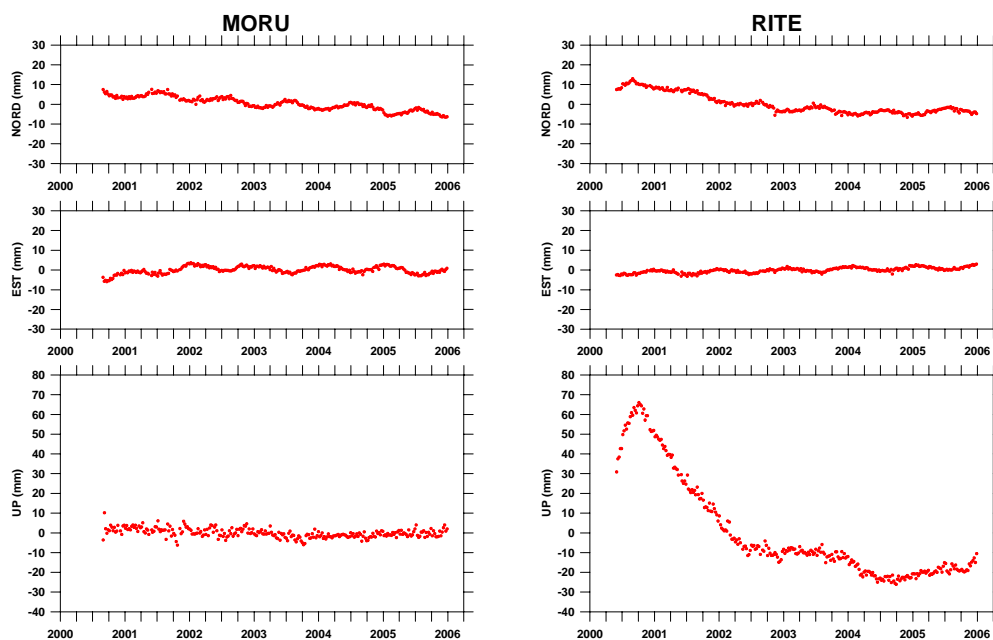


Figura 66 - Serie temporali delle variazioni settimanali in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di MORU e RITE relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

La seconda procedura automatica di elaborazione, basata sul software NDA, effettua elaborazioni giornaliere per singola baseline rispetto ad una stazione di riferimento. Anche in questo caso è stata sostituita nel calcolo la stazione di riferimento di FRUL con QUAR. In tab. 24 sono elencati i principali parametri di calcolo utilizzati dal software NDA.

Tabella 24 - Principali parametri di calcolo utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software NDA.

Orbite	Effemeridi Broadcast
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi
Sampling Rate	30 secondi
Baseline indipendenti	Relative a QUAR
Risoluzione ambiguità	Strategia Lambda
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Stima del ritardo troposferico allo zenit TZD

I risultati delle due diverse procedure di elaborazione, come già evidenziato nei precedenti rapporti, sono coerenti tra loro, data anche la dimensione locale della rete. I risultati ottenuti con il software Bernese mostrano una minore dispersione, soprattutto in quota, dovuta all'uso di più sofisticate tecniche di modellazione degli effetti troposferici.

Conclusioni

Le analisi temporali relative al primo semestre 2005 confermano, come già evidenziato in rendiconti precedenti, la fine del fenomeno di subsidenza, successivo al modesto episodio di sollevamento del 2000. Ad esso si sostituisce, per le stazioni ACAE e RITE, ubicate nella zona di massima deformazione, un modesto sollevamento di circa 10 mm.

Nel secondo semestre del 2005, invece, l'andamento temporale della deformazione sembra ridursi rispetto al primo semestre fino a circa ottobre. Da tale periodo parte una nuova probabile fase di sollevamento da valutare con maggiore attenzione nel futuro.

RETE GPS PERMANENTE DELL'AREA ISCHITANA E PROCIDANA⁷

La rete GPS permanente è costituita da 4 stazioni. La configurazione della rete è mostrata in fig. 67., insieme al sito di riferimento QUAR. I siti sono attrezzati con ricevitori LEICA RS500 e TRIMBLE 4000SSI, antenne LEIAT504 (Choke Ring con e senza radome di protezione) e TRM29659.00.

⁷ A cura di: G. Brandi, A. D'Alessandro, P. De Martino, M. Dolce, S. Malaspina, F. Pingue, C. Serio, U. Tammaro.

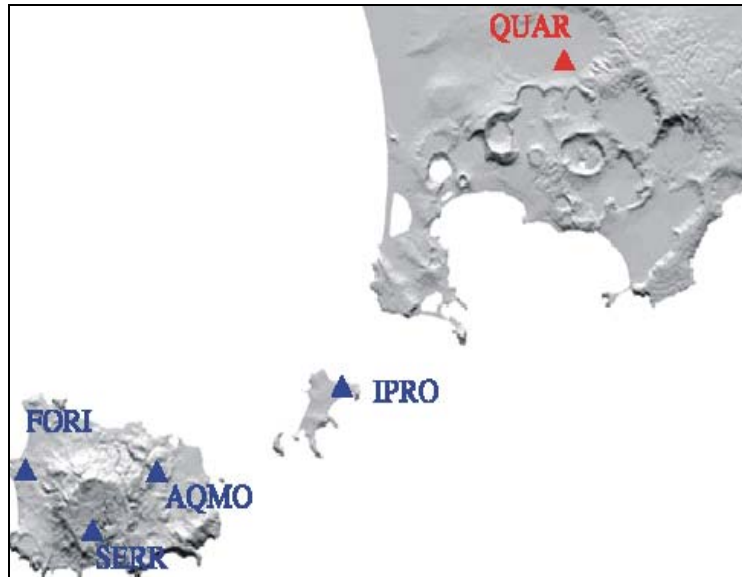


Figura 67 - Rete di stazioni permanenti GPS dell'isola di Ischia e di Procida (dicembre 2005).

Tutte le stazioni sono provviste di linea telefonica e rete elettrica indipendente e dotate di batterie a tampone che garantiscono almeno 48 ore di autonomia in caso di black out elettrico. In tab. 25 è mostrato l'elenco dei siti della rete CGPS dell'area ischitana e flegrea, specificando la strumentazione presente e le modalità di trasmissione dei dati.

Tabella 25 - Elenco dei siti della rete di stazioni permanenti GPS dell'area ischitana e procidana. Sono riportati la sigla della stazione, il tipo di ricevitore, l'antenna e le modalità di trasmissione dei dati.

Sito	Ricevitore	Antenna	Trasmissione
QUAR	Trimble 4000SSI	TRM29659.00	via cavo
AQMO	Trimble 4000SSI	TRM33429.00+GP	via cavo
FORI	Trimble 4000SSI	LEAIT504 senza radome dal 1/6 TRM29659.00	via cavo
SERR	Leica RS500	LEAIT504 con radome	via cavo
IPRO	Leica RS500	LEAIT504 con radome	via GSM

Manutenzione della rete ed analisi del segnale

L'intervento di giugno sui tre siti della rete di Ischia ha consentito il ripristino del funzionamento della stazione AQMO ed il netto miglioramento dei dati acquisiti alla stazione FORI, come si evince dalla fig. 68.

I ricevitori GPS sono impostati per l'acquisizione in locale di file giornalieri con intervallo di campionamento di 30 secondi ed angolo di cut off di 15 gradi. Tutte le procedure di gestione remota delle stazioni avvengono in automatico, utilizzando il programma GeoGloss (Geodetic Global Survey System). A valle dello scarico del dato raw e della

creazione dei file rinex avviene il controllo di qualità dei dati. Attualmente si impiega il programma TEQC dell'UNAVCO e il modulo DQE (Data Quality Evaluation) del programma NDA (Network Deformation Analysis). Alla fine del 2005 è iniziata la sperimentazione del software SETA, implementato all'interno dell'unità funzionale di Geodesia. Il codice SETA consente alcuni controlli sul file raw (dimensione, nome e data) ed utilizzando il TEQC provvede alla creazione dei file RINEX. Il controllo di qualità viene effettuato da SETA sia utilizzando le uscite del TEQC, sia tramite controlli funzionali alle esigenze della rete. L'analisi di qualità sui dati della rete è effettuata seguendo nel tempo e per classi di elevazione l'andamento di alcuni parametri, come il rapporto (osservati)/(attesi), il multipath su entrambe le frequenze e il numero di salti di ciclo. Nelle figg. 68, 69 sono mostrati, in funzione del tempo e per stazione, i rapporti osservati/attesi nel biennio 2004-2005.

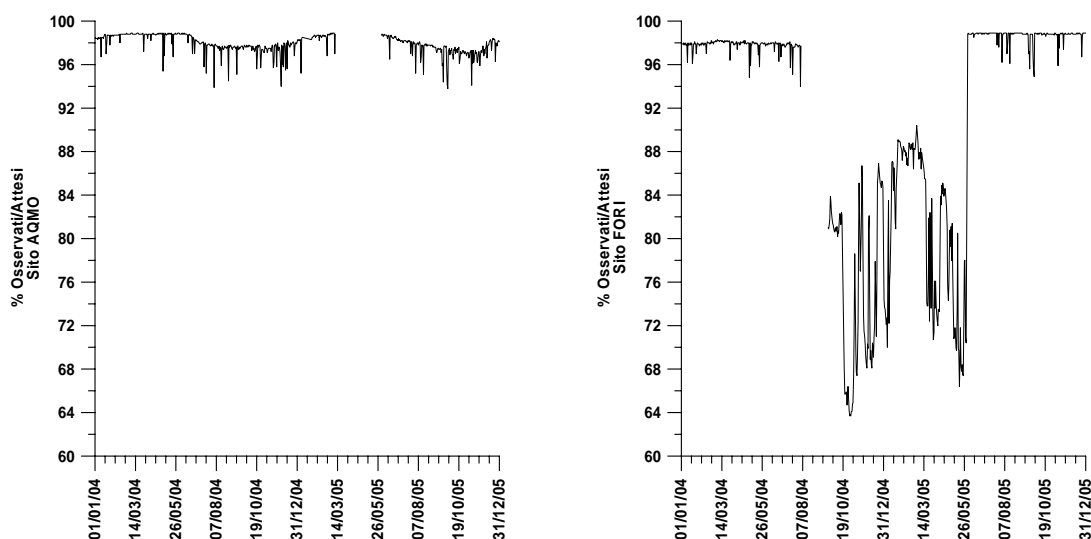


Figura 68 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni AQMO e FORI nel biennio 2004-2005.

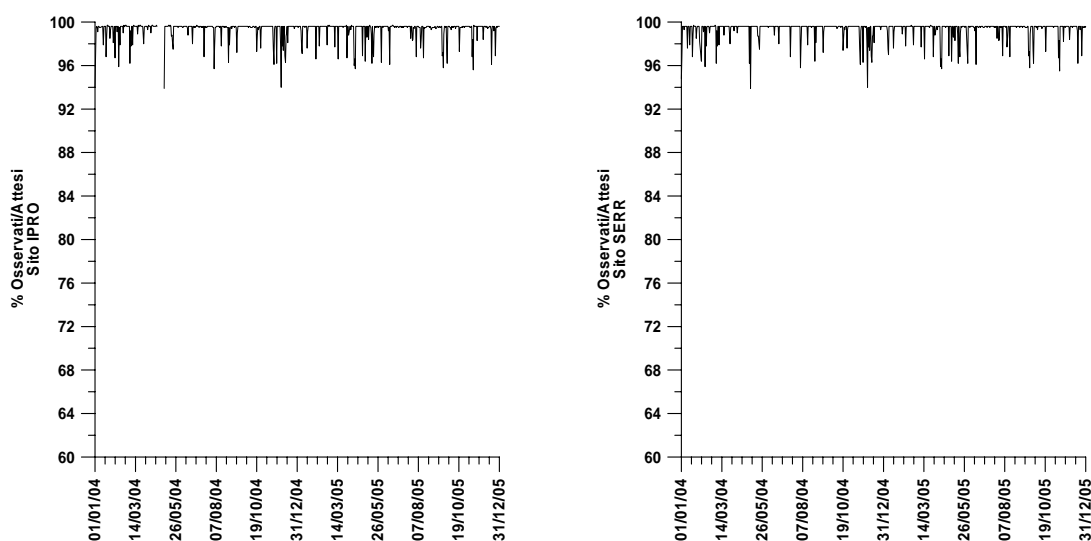


Figura 69 - Rapporto osservati/attesi per le stazioni IPRO e SERR nel biennio 2004-2005.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati GPS è effettuata tramite due diverse procedure automatizzate, una basata sul software Bernese v. 4.2 e l'altra sul software NDA (Network Deformation Analysis).

La prima procedura automatica di elaborazione è stata implementata attraverso uno script batch che, in sequenza, esegue i seguenti passaggi:

- scarico dei dati rinex dal fileServer.
- scarico dal Center of Orbit Determination in Europe (CODE) dell'Università di Berna dei file necessari all'elaborazione (effemeridi, file dei parametri di rotazione terrestre, file di variazione del centro di fase delle antenne, informazioni e problemi dei satelliti, etc).
- lancio dell'elaborazione utilizzando il software Bernese in modalità BPE (Bernese Processing Engine).
- lettura dei file di output dell'elaborazione, creazione delle serie temporali ed aggiornamento dei grafici, storage dei risultati dell'elaborazione sul server ed aggiornamento del database.

I principali parametri di processamento utilizzati dal software Bernese sono quelli tipici per l'elaborazione di reti locali e sono riassunti in tab. 26.

Tabella 26 - Principali parametri di processamento utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software Bernese v. 4.2.

Orbite e file ERP	Orbite Broadcast e file BULLET_A.ERP
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi con elevation dependent weighting (cosz)
Sampling rate	30 secondi
Baseline indipendenti	SHORTEST – Distanza minima tra le stazioni
Risoluzione Ambiguità	Strategia QIF
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Parametri TZD stimati ogni 2h con la funzione mappante "dry Niell" e senza modello a priori

La soluzione finale giornaliera viene ottenuta in modalità multibase vincolando fortemente (al livello di 0,1 mm) le coordinate di una stazione. Dal 2003, come stazione di riferimento dell'intera rete CGPS, fu scelta la stazione di FRUL, la quale durante il 2005 ha subito una

forte degradazione del segnale, come evidenziato dall'analisi di qualità. Per questo motivo, come nuova stazione di riferimento per l'area ischitana è stata scelta QUAR. La stabilità nel tempo delle stazioni di riferimento viene continuamente monitorata tramite un'elaborazione con stazioni esterne (CAGL, MATE, MEDI, NOT1) della rete IGS e/o EUREF ed inquadramento nel sistema ITRF00 (fig. 70). Da questa elaborazione è stato possibile evidenziare come i problemi di ricezione per FRUL si traducevano in un abbassamento fittizio della stazione che provocava nel calcolo delle baselines relative un sollevamento costante per tutte le stazioni.

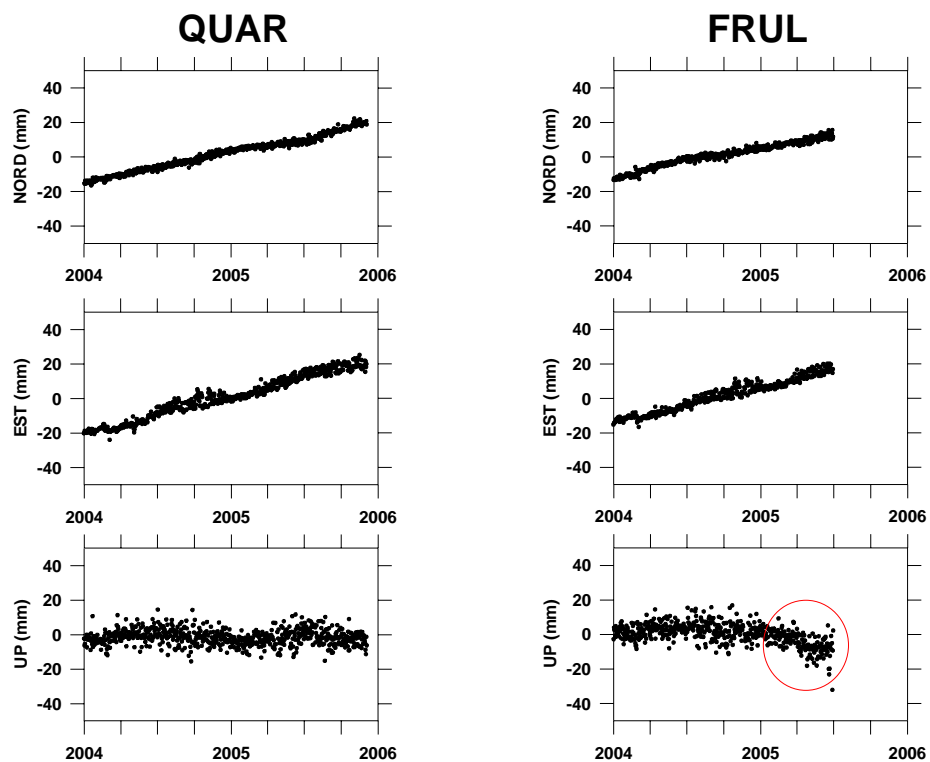


Figura 70 - Serie temporali ITRF00 delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di QUAR e FRUL. Elaborazione con il software Bernese v. 5.0.

Nelle figg. 71, 72 sono riportate le serie temporali delle variazioni giornaliere, in Nord, Est, Up, delle coordinate delle stazioni GPS ubicate ad Ischia relativamente a QUAR.

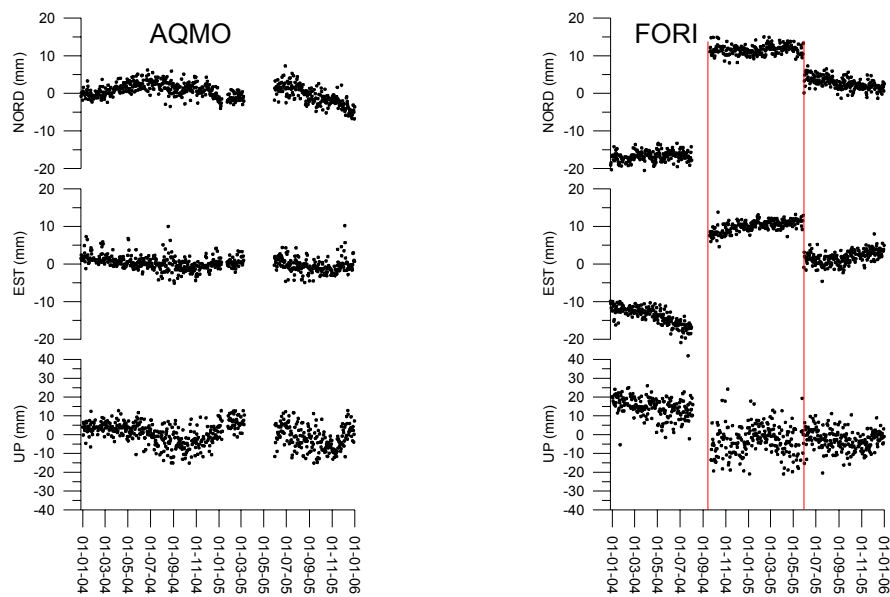


Figura 71 - Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni di AQMO e FORI relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2. Le linee rosse indicano la sostituzione della strumentazione.

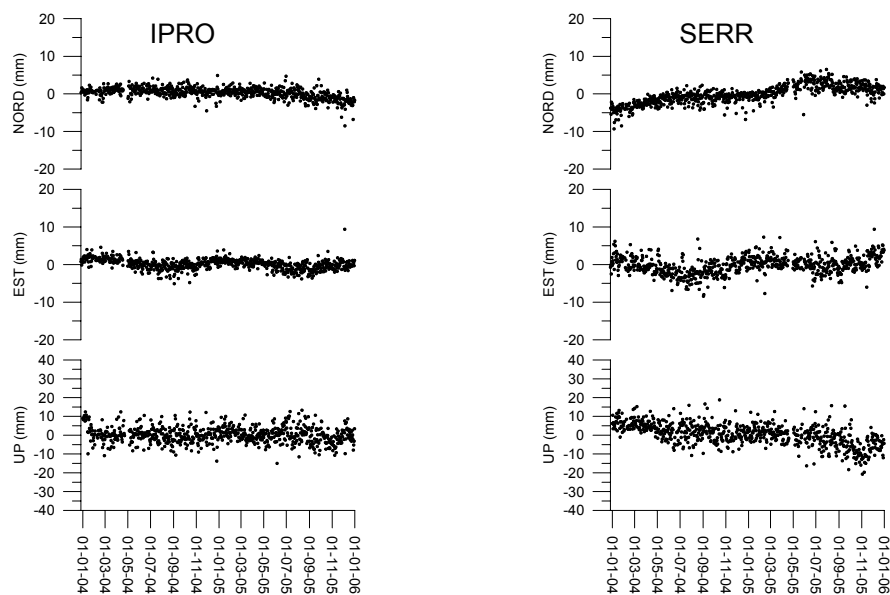


Figura 72 - Serie temporali delle variazioni giornaliere in Nord, Est, Up delle coordinate delle stazioni IPRO e SERR relativamente a QUAR. Elaborazione con il software Bernese v. 4.2.

La seconda procedura automatica di elaborazione, basata sul software NDA, effettua elaborazioni giornaliere per singola baseline rispetto ad una stazione di riferimento. Anche in questo caso è stata sostituita nel calcolo la stazione di riferimento di FRUL con QUAR. In tab. 27 sono elencati i principali parametri di calcolo utilizzati dal software NDA.

Tabella 27 - Principali parametri di calcolo utilizzati nell'elaborazione dei dati GPS con il software NDA.

Orbite	Effemeridi Broadcast
Centro di fase delle antenne	File di calibrazione PHAS_IGS.01 e NGS
Reference Frame	WGS84
Angolo di cut-off	15 gradi
Sampling Rate	30 secondi
Baseline indipendenti	Relative a QUAR
Risoluzione ambiguità	Strategia Lambda
Soluzione finale	L3 fixed
Ionosfera	Eliminata usando la combinazione L3
Troposfera	Stima del ritardo troposferico allo zenit TZD

I risultati delle due diverse procedure di elaborazione, come già evidenziato nei precedenti rapporti, sono coerenti tra loro, data anche la dimensione locale della rete. I risultati ottenuti con il software Bernese mostrano una minore dispersione, soprattutto in quota, dovuta all'uso di più sofisticate tecniche di modellazione degli effetti troposferici.

Conclusioni

Le serie temporali mostrano una sostanziale stabilità dei segnali con modeste oscillazioni. Solo la stazione SERR, situata nel settore meridionale dell'isola, mostra un leggero trend in subsidenza ed un leggero spostamento verso nord.

TILTMETRIA AL VESUVIO⁸

I dati acquisiti nel 2005 dalla rete tiltmetrica vesuviana, attraverso le tre stazioni in registrazione continua (poste a diverse quote lungo il settore WNW-SSE del M.te Vesuvio) OVO, CMD e TRC ubicate rispettivamente a 2.5 km a WNW, 5 km a SSW e 2.5 km a SSE dal cratere, non permettono di avere un quadro chiaro della deformazione rilevata sulle pendici del vulcano.

Per quanto riguarda la stazione OVO, situata in un bunker a 35 m di profondità, la componente EW mostra nel 2005 un identico comportamento rispetto al 2004, mentre quella NS si dimostra più sensibile alla variazione termica registrata anche se complessivamente tende ad assumere valori sempre più alti in confronto al 2004 (fig. 73).

⁸ A cura di: C. Ricco, C. Del Gaudio, I. Aquino.

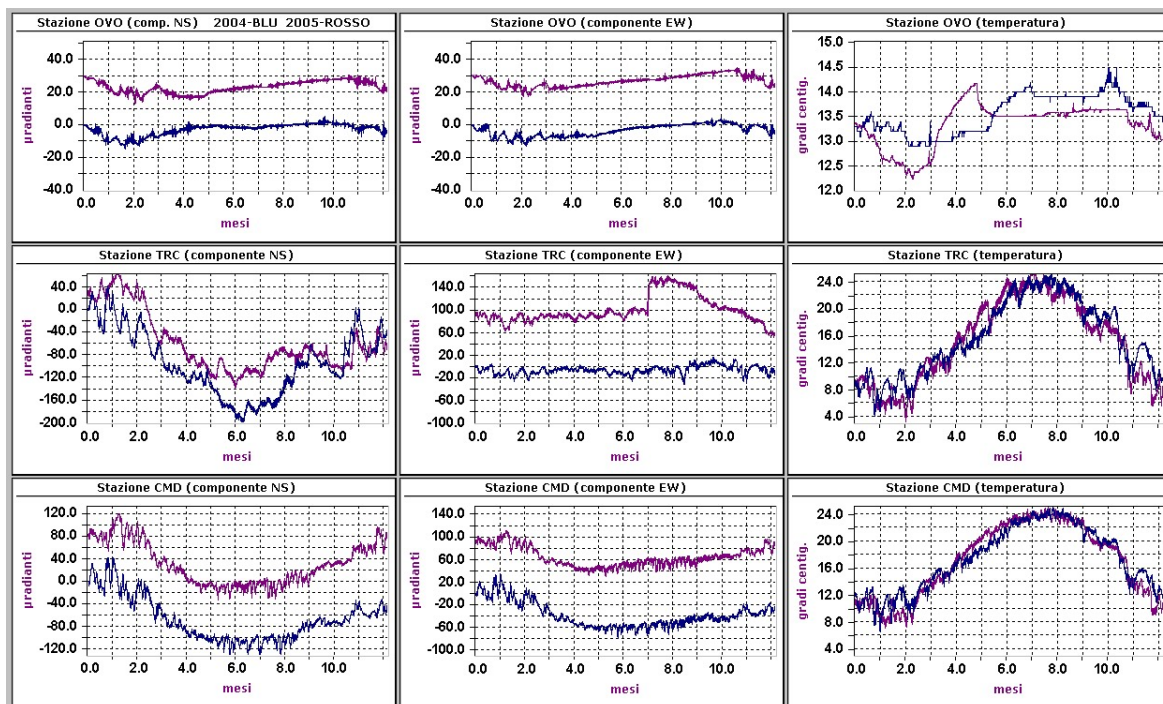


Figura 73 - Confronto tra segnali tiltmetrici e termici relativi alle tre stazioni vesuviane OVO, TRC e CMD registrati nel 2005 (in rosso) e nel 2004 (in blu). Per esigenze di visualizzazione e' stato imposto un range di 260 μ radianti e 22 °C alle componenti tiltmetriche ed alle relative termiche di TRC e CMD mentre per OVO esso è stato fissato a 90 μ radianti e 3 °C. Valori di tilt crescenti nel tempo indicano sulla componente NS una inclinazione a N e su quella EW una inclinazione ad E.

Inoltre, sia la temperatura registrata alle stazioni TRC e CMD che la componente EW di quest'ultima mostrano una forma simile, almeno nel lungo periodo, nei due anni; al contrario, la componente NS di CMD comincia a discostarsi nel secondo Semestre 2005 dal trend seguito nel precedente anno mostrando valori progressivamente più alti. Anche la componente NS di TRC si discosta nel secondo Semestre 2005 dal trend del 2004 ma assume invece valori più bassi; quella EW, invece, subisce una repentina variazione all'inizio di Agosto, con un offset di 30 μ radianti in circa 10 ore (dovuto sicuramente a cause estremamente locali ma non elettroniche) in direzione E, seguita da una forte deriva in direzione W (fig.73).

Dopo aver rimosso statisticamente la dipendenza dalla temperatura dei segnali tiltmetrici registrati, è stato calcolato per le tre stazioni l'odogramma più probabile (fig. 74).

Mentre le due stazioni tiltmetriche situate nel settore occidentale del Vesuvio (OVO in quota e CMD in prossimità della costa) rilevano una inclinazione fortemente orientata rispettivamente nel quadrante NE (fig. 75) ed in quello N (fig. 76) di entità accettabile, la stazione TRC (fig. 74) che misura il movimento della parte orientale del vulcano mostra invece inclinazioni troppo alte ed una deriva sul segnale, dovute entrambe certamente a contributi di natura estremamente locale.

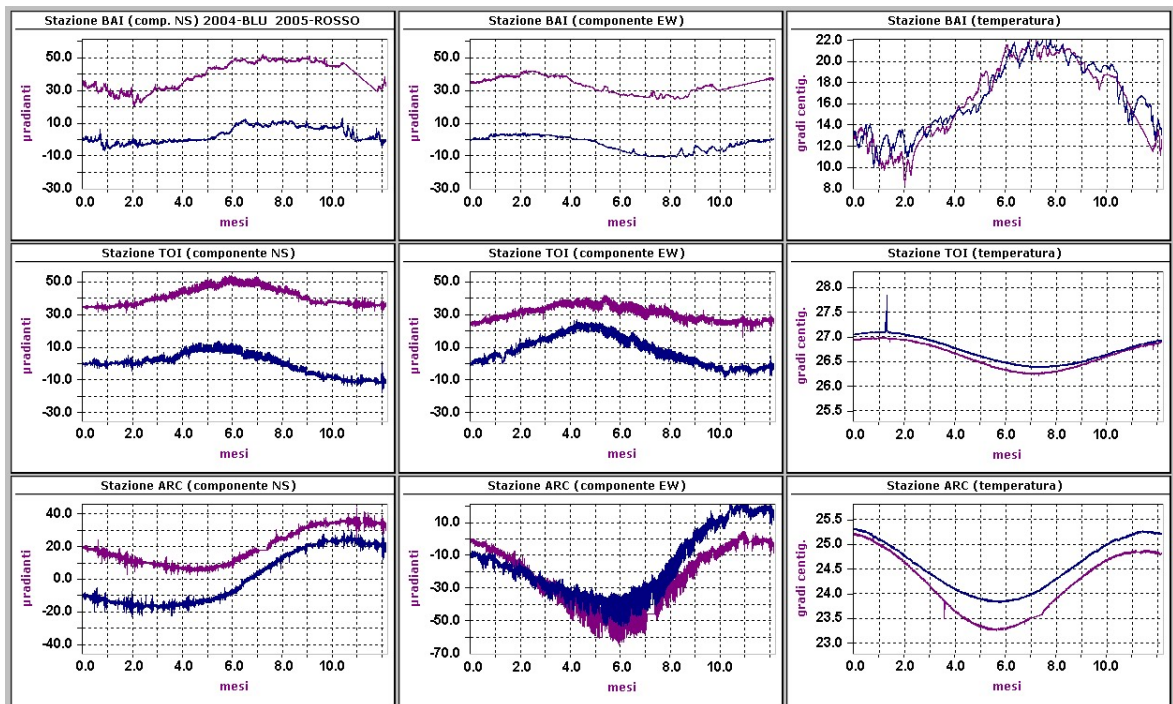


Figura 74 - Plot vettoriale del tilt registrato alle stazioni vesuviane e depurato dagli effetti della temperatura. I punti riportati in ogni odogramma sono relativi al tilt calcolato ogni 10 giorni; la linea in blu rappresenta il vettore annuale che ammonta rispettivamente a 5 μrad vs ENE a OVO, 4 μrad vs N a CMD e 16.5 μrad vs SE a TRC).

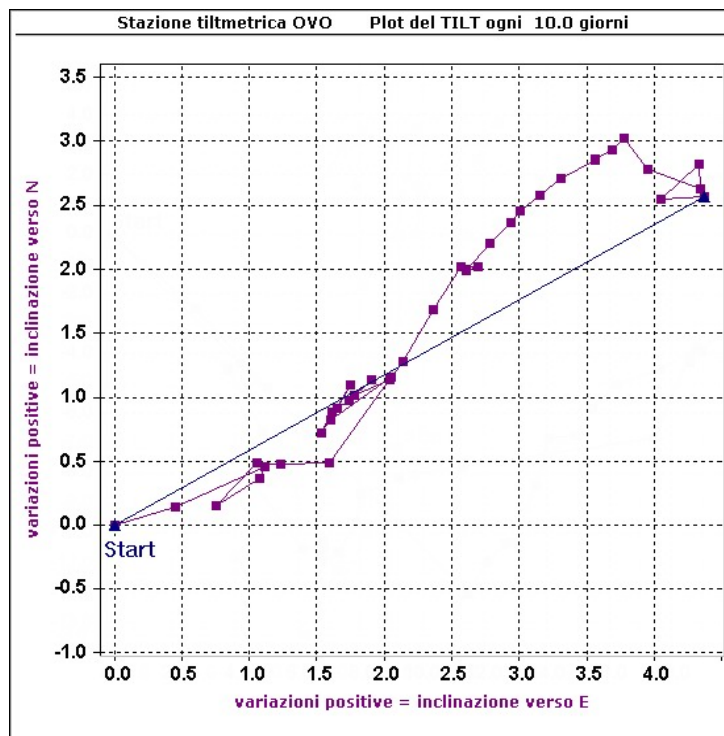


Figura 75

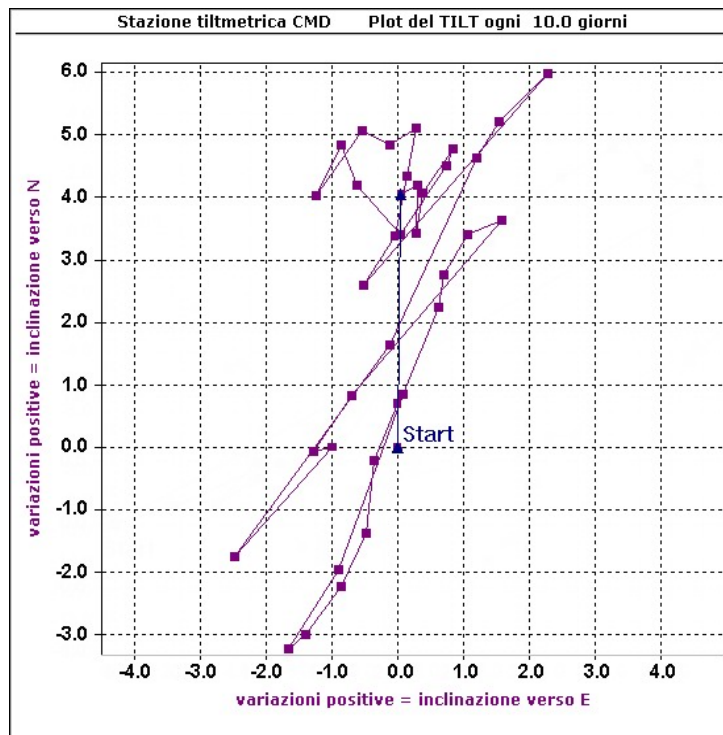


Figura 76

TILTMETRIA AI CAMPI FLEGREI⁹

I dati acquisiti nel corso del 2005 dalla rete tiltmetrica flegrea hanno evidenziato l'inversione, seppur molto contenuta, nell'inclinazione del suolo che, normalmente, durante la fase di bradisismo discendente avviene in direzione del quadrante SE. Essa è iniziata presumibilmente nel mese di Marzo e si è esaurita a metà Settembre, dopo tre mesi di stasi preceduti da un altro evento simile registrato a partire dal secondo Semestre del 2004. L' anomalia è stata dedotta inizialmente dal confronto visivo delle registrazioni tiltmetriche relative alla stazione DMB ed è stata confermata dopo aver sottoposto i segnali tiltmetrici acquisiti a procedimenti di filtraggio che consentono di ottenere la stima della reale inclinazione del suolo. Data la correlazione esistente tra il tilt registrato e la temperatura si è proceduto, come negli anni passati, a sovrapporre nella stessa scala i segnali relativi alle componenti NS, EW e termica per evidenziare la deformazione angolare del terreno a parità di variazione termica. A tale proposito sono state costruite le worksheets di fig. 77 in cui sono confrontati i segnali relativi alle stazioni DMA, DMB e DMC ubicate su una direttrice NS rispettivamente 1.6, 1.8 e 2 km a NNW dal centro di Pozzuoli e di fig. 78 in cui il confronto è invece effettuato tra la stazione BAI, situata 4 km a WSW e le due stazioni borehole TOI (3.6 km a WNW) ed ARC (2.6 km a WNW).

⁹ A cura di: C. Ricco, C. Del Gaudio, I. Aquino

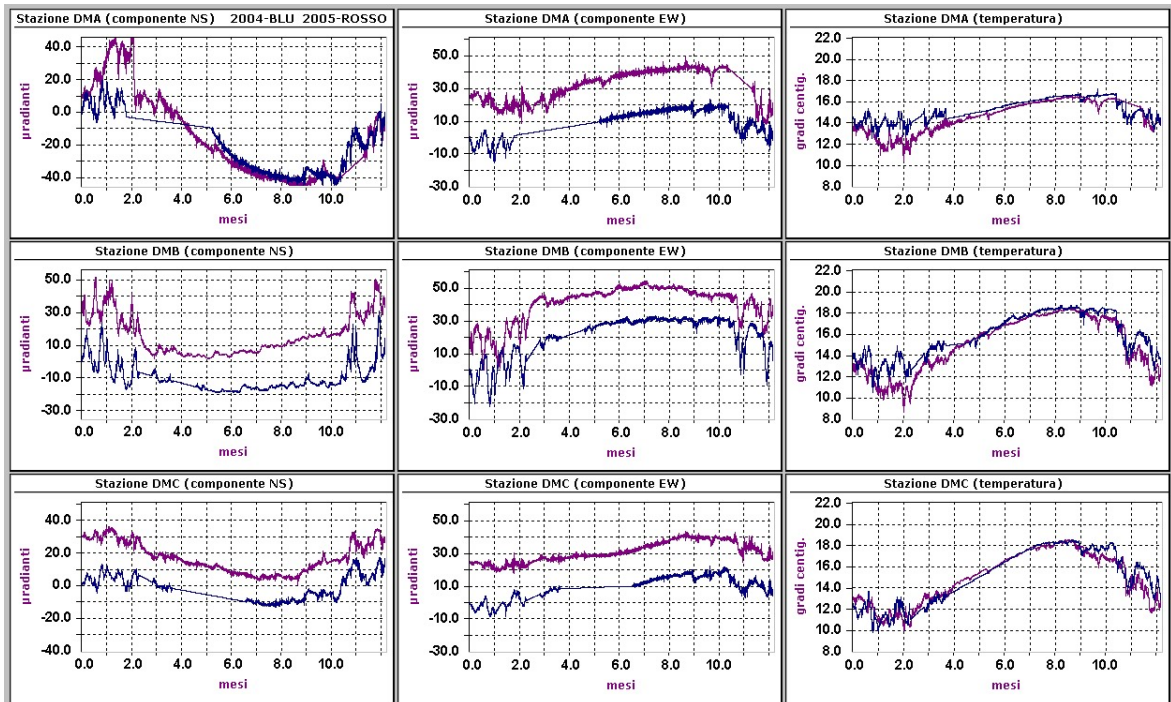


Figura 77 - Confronto tra segnali tiltmetrici e termici relativi alle tre stazioni flegree DMA, DMB, DMC registrati nel 2005 (in rosso) e nel 2004 (in blu). Per esigenze di visualizzazione è stato imposto un range di 90 μ radianti e 14 °C alle componenti tiltmetriche ed alle relative termiche. Valori di tilt crescenti nel tempo indicano sulla componente NS una inclinazione a N e su quella EW una inclinazione ad E.

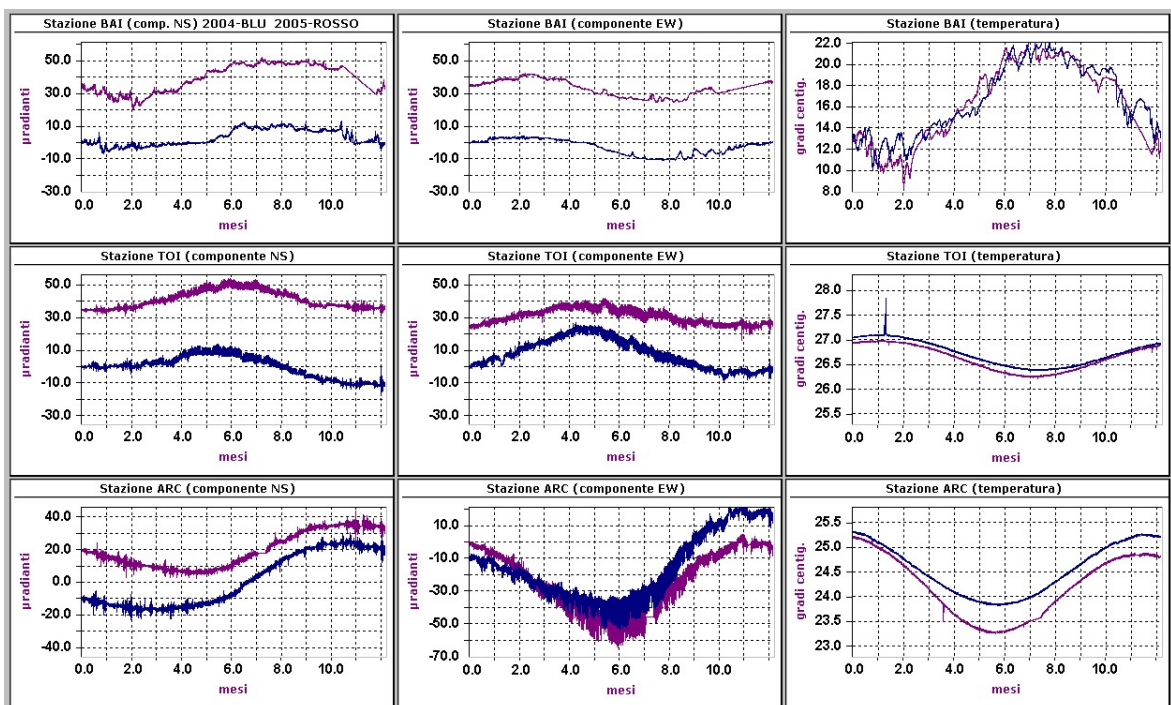


Figura 78 - Confronto tra segnali tiltmetrici e termici relativi alle tre stazioni flegree BAI, TOI ed ARC registrati nel 2005 (in rosso) e nel 2004 (in blu). E' stato imposto un range di 90 μ radianti e 14 °C a tutte le componenti tiltmetriche ed alla termica di BAI mentre per TOI ed ARC il range del segnale termico è di 3 °C.

La componente orientata NS di DMB (fig. 77) evidenzia chiaramente la fase di inversione nell'inclinazione del suolo in quanto nel secondo e terzo Semestre 2005 essa si discosta dall'andamento assunto nell'anno precedente, comportamento che - ad un primo esame visivo - non hanno le altre stazioni tranne TOI ed ARC che invece evidenziano variazioni anche se confinate nel secondo Semestre del 2005.

Il procedimento di decorrelazione tra segnale tiltmetrico e temperatura normalmente applicato ai dati ha consentito di attribuire ad ogni stazione l'odogramma più probabile, riportato in figg. 79-84.

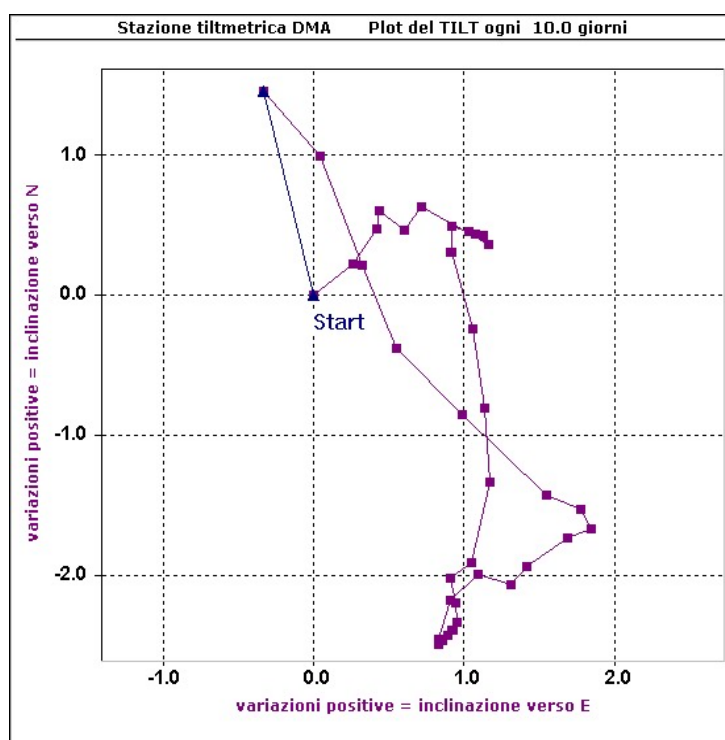


Figura 79 - Plot vettoriale del tilt registrato alle stazioni flegree e depurato dagli effetti della temperatura. I punti riportati in ogni odogramma sono relativi ai valori di tilt calcolato ogni 10 giorni; la linea in blu rappresenta il vettore annuale che ammonta rispettivamente a 1.5 μ rad vs NNW a DMA, 2.3 μ rad vs NNW a DMB, 3 μ rad vs SE a DMC, 0.4 μ rad vs WNW a BAI, 0.3 μ rad vs ESE a TOI, 3.3 μ rad vs NW ad ARC..

Dai dati decorrelati e corretti dalla dipendenza termica risulta quindi un'inversione registrata da Marzo a Settembre a DMB (fig. 80) e DMC (fig. 81) e da Giugno a DMA (fig. 79), BAI (fig.81) ed ARC (fig. 84),

Per quando riguarda la stazione TOI (fig. 83), si riconosce un'inversione tra Luglio ed Agosto anche se molto contenuta.

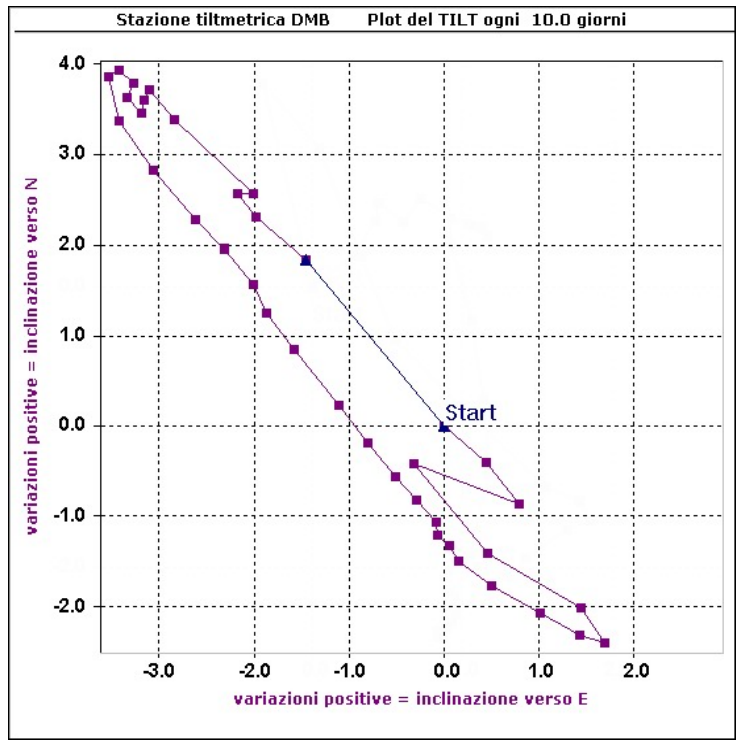


Figura 80

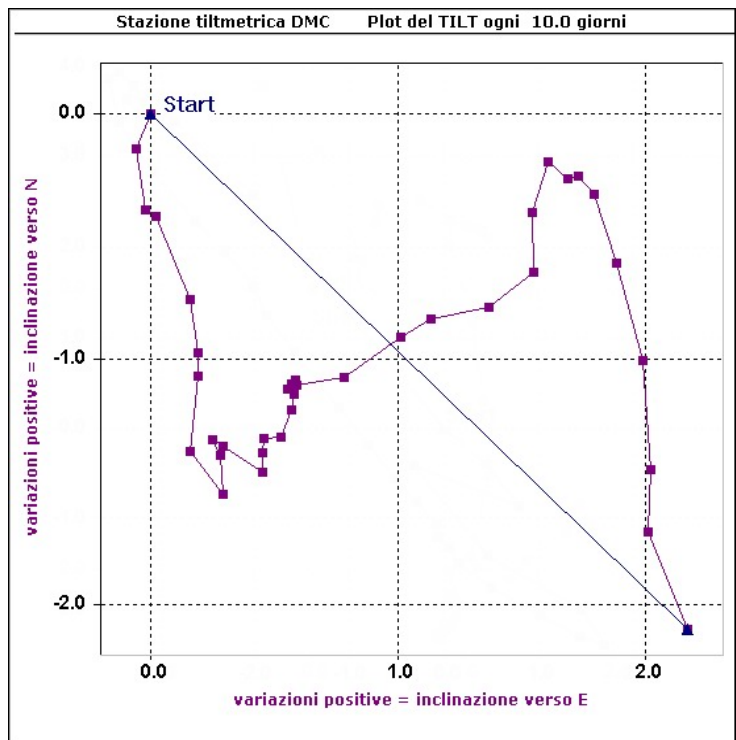


Figura 81

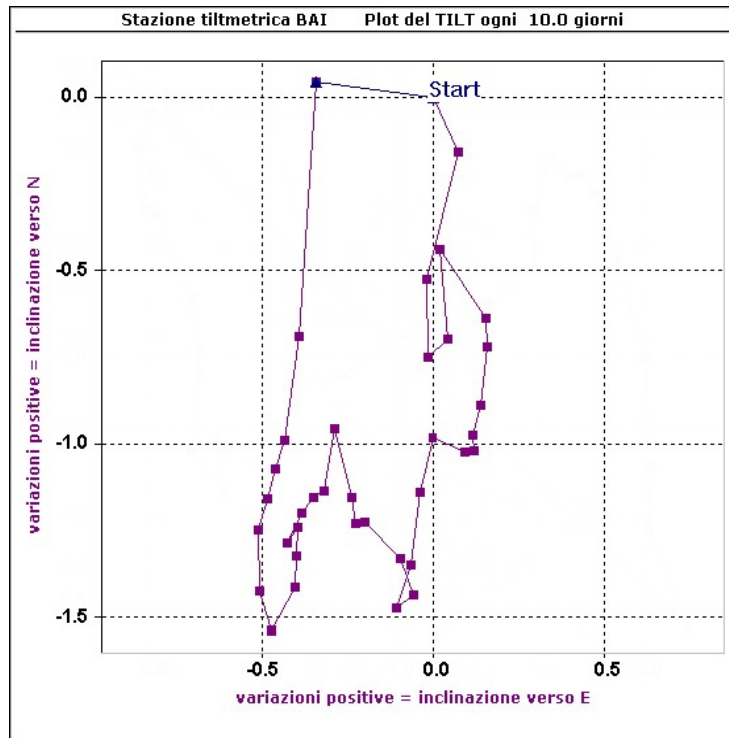


Figura 82

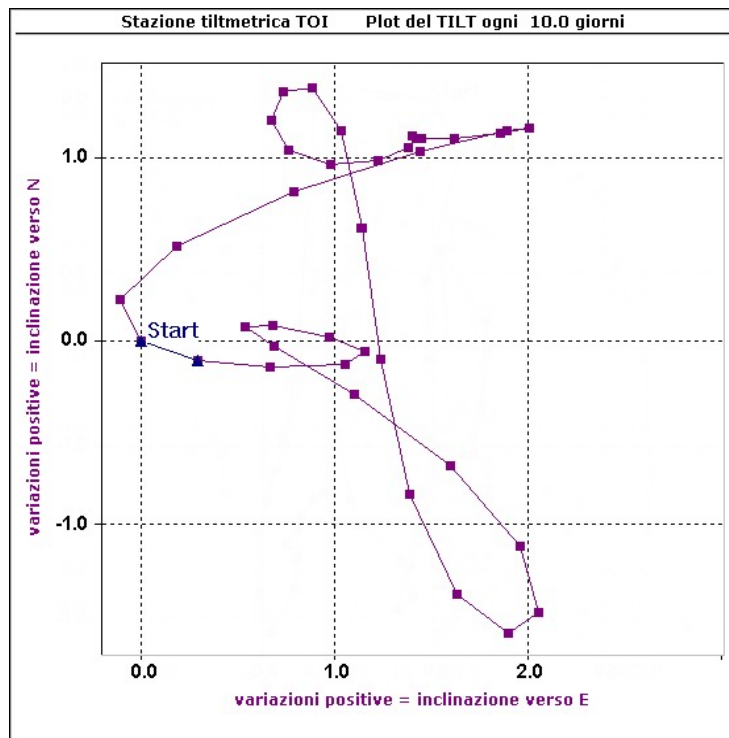


Figura 83

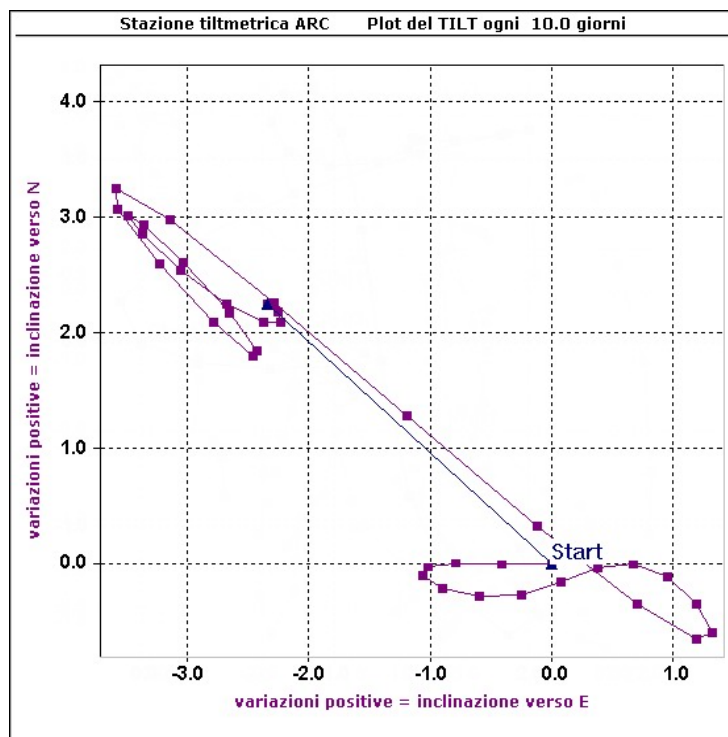


Figura 84

RETE MAREOGRAFICA DEL VESUVIO¹⁰

Il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo è effettuato, oltre che con le tecniche geodetiche classiche e satellitari, anche tramite l'uso dei mareografi che rilevano, in continuo, il livello marino lungo le coste dove si impostano i vulcani attivi dell'area napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. La rete mareografica dell'Osservatorio Vesuviano è operante nell'area vesuviana a partire dal 1985. Il livello del mare è attualmente registrato con continuità dalle stazioni mareografiche di Castellammare di Stabia, Torre del Greco e Napoli Porto (Figg. 85, 86, 87). La strumentazione operante nel sito di Napoli è ubicata all'interno della stazione mareografica dell'APAT facente parte della Rete Mareografica Nazionale.

¹⁰ A cura di: P. Capuano, A. La Rocca, F. Obrizzo, F. Pingue, S. Pinto, A. Russo, U. Tammaro.

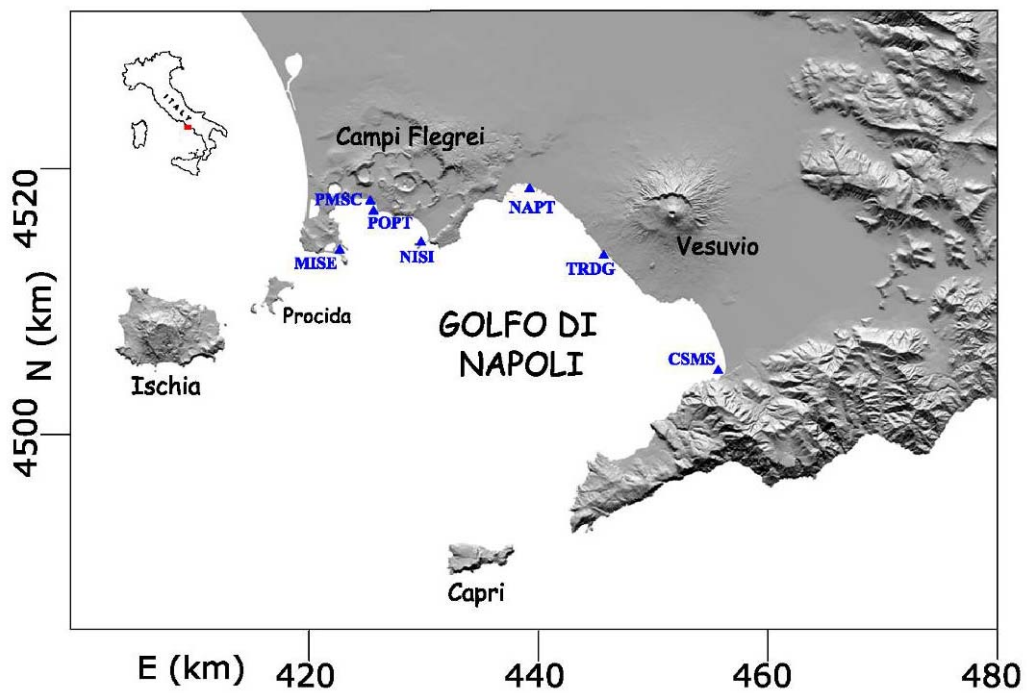


Figura 85 - Rete mareografica dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. Area vesuviana: NAPT = Napoli Porto, stazione di riferimento; TRDG = Torre del Greco; CSMS = Castellammare di Stabia.

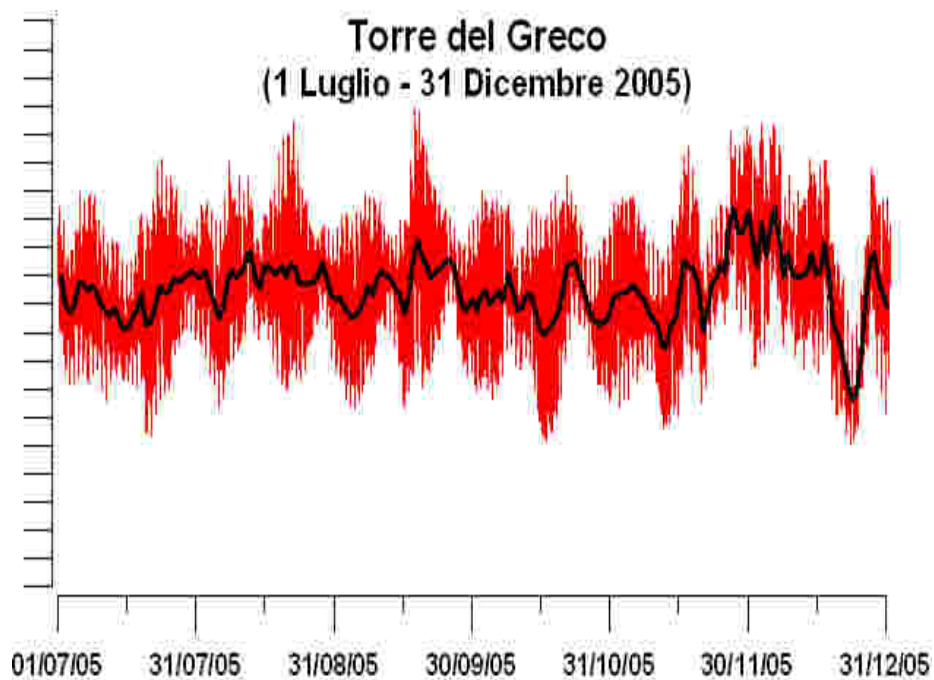


Figura 86 - Variazioni del livello del mare al Porto di Torre del Greco (TRDG) nel periodo luglio - dicembre 2005 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

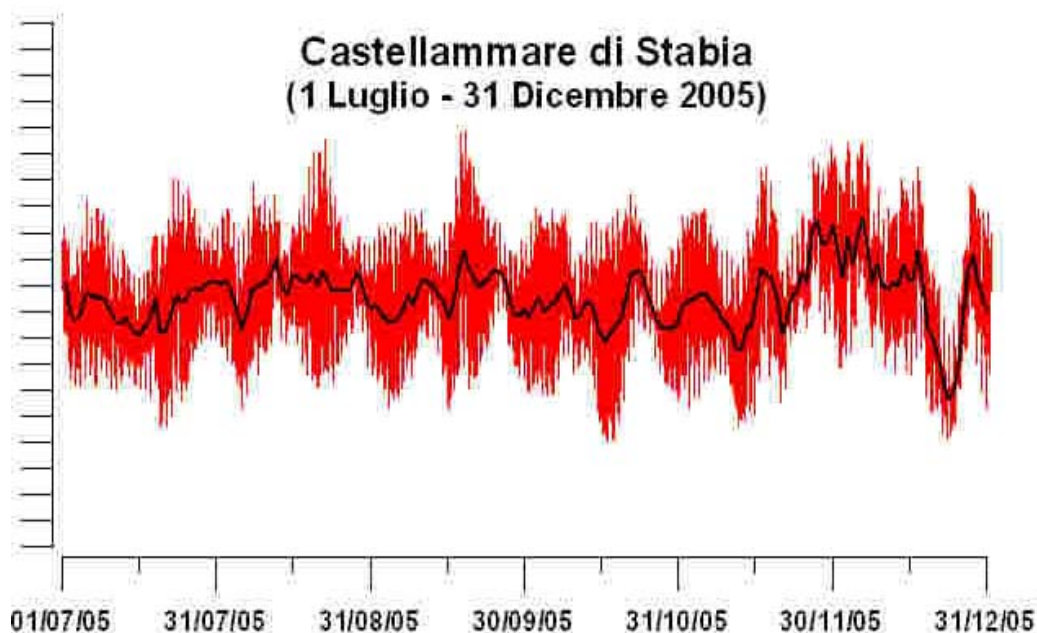


Figura 87 - Variazioni del livello del mare al Porto di Castellammare di Stabia (CSMS) nel periodo luglio - dicembre 2005 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

Le stazioni sono attrezzate sia con mareografi meccanici con sistema a galleggiante-contrappeso e registrazione su carta, che con sensori digitali a galleggiante-contrappeso i cui dati vengono trasmessi via GSM. Attualmente i sensori digitali, per le finalità di monitoraggio, campionano il livello marino ogni 5 minuti (con possibile riduzione fino ad un minuto). Con tale frequenza di campionamento è possibile un accumulo di circa 100 giorni di dati sulla memoria interna della centralina di acquisizione, prima che questa venga sovrascritta. Essa viene interrogata, in automatico, per il trasferimento dati al Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano ogni 12 ore. Con la trasformazione digitale della rete di sensori si è raggiunto l'obiettivo di aumentare la frequenza di campionamento, di evitare la successiva digitalizzazione del segnale analogico e di ottenere la connessione e lo scarico dei dati in tempo quasi reale (l'intervallo di 12 ore del tempo di connessione può essere ridotto).

Nel periodo luglio-dicembre 2005 è proseguito il programma di miglioramento della rete e sono state effettuate le ordinarie operazioni per il buon funzionamento delle stazioni mareografiche. Gli interventi di manutenzione straordinaria sulle stazioni sono eseguiti entro le 24-36 ore dall'insorgere del problema.

L'analisi dei movimenti verticali del suolo, per l'area vesuviana, viene eseguita riferendo le misure del livello del mare, registrate a Torre del Greco, alla stazione di Napoli Porto e di Castellammare di Stabia. La stabilità relativa della stazione di riferimento viene

periodicamente verificata tramite livellazioni di precisione effettuate sul caposaldo posto in prossimità del mareografo e collegato alla rete di livellazione IGM.

Durante gli ultimi cinque anni (2000-2005), nei limiti degli errori, non vengono evidenziati significativi movimenti verticali del suolo alla stazione di Torre del Greco (Figg. 88, 89).

Alla stazione di Castellammare di Stabia, inoltre, nel periodo luglio-dicembre 2005 (Fig.90) non si osservano significativi movimenti verticali del suolo.

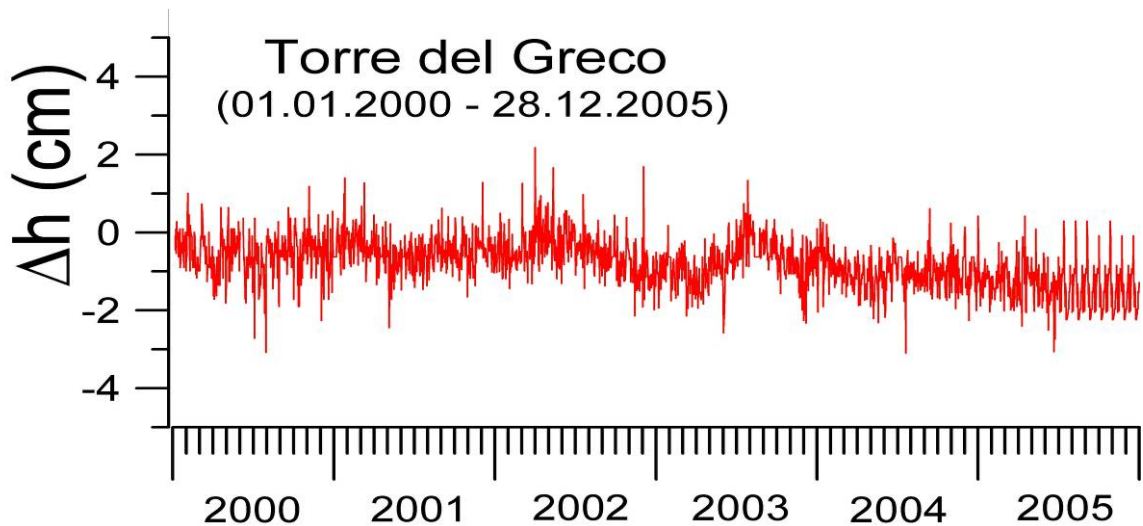


Figura 88 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo 2000-2005, dedotti dalla analisi dei dati rilevati alla stazione mareografica analogica di Torre del Greco considerando come riferimento la stazione di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

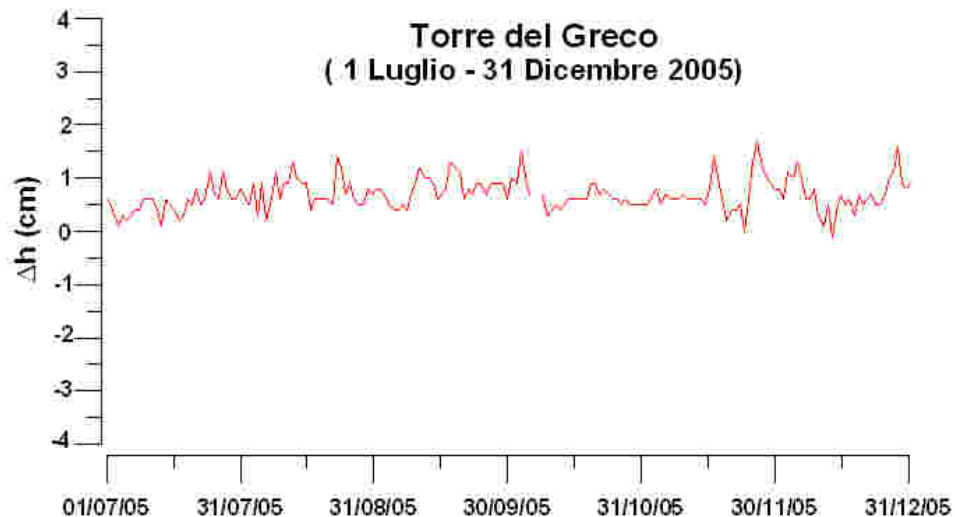


Figura 89 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo luglio - dicembre 2005, dedotti dall' analisi dei dati rilevati alla stazione digitale di Torre del Greco, considerando come riferimento la stazione di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

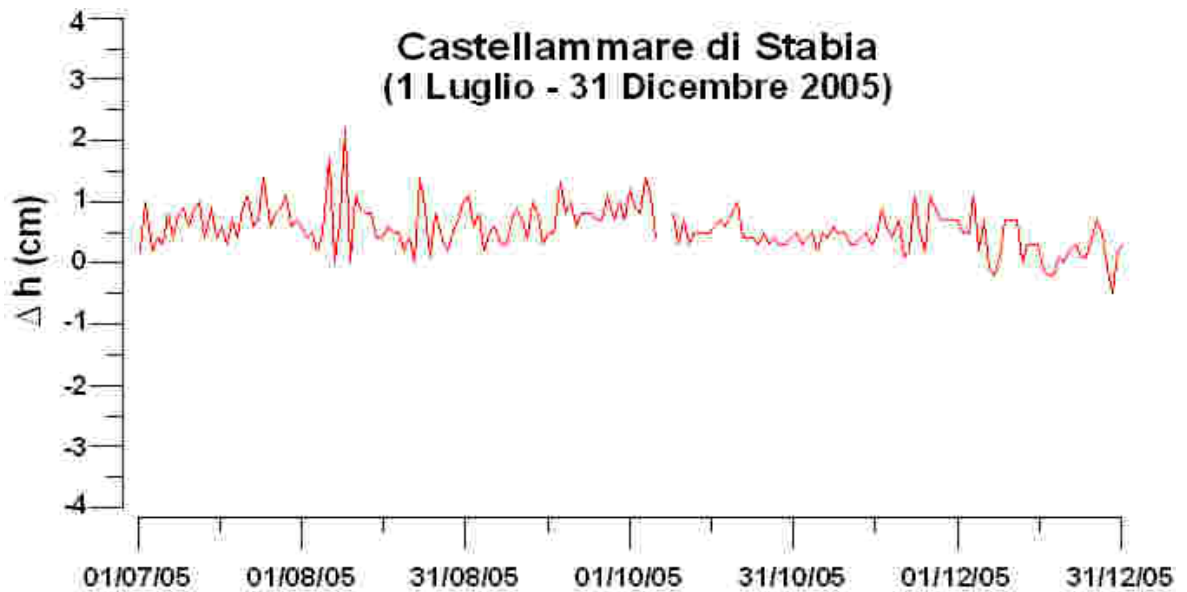


Figura 90 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo luglio - dicembre 2005, dedotti dall' analisi dei dati rilevati alla stazione digitale di Castellammare di Stabia, considerando come riferimento la stazione di Napoli. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere.

RETE MAREOGRAFICA AI CAMPI FLEGREI¹¹

L'acquisizione continua del livello del mare tramite stazioni mareografiche lungo la costa della caldera dei Campi Flegrei, si affianca alle tecniche geodetiche classiche e satellitari utilizzate per il monitoraggio dei movimenti verticali del suolo nelle aree vulcaniche attive. La rete mareografica dell'Osservatorio Vesuviano è operante ai Campi Flegrei a partire dal 1970 ed ha permesso di seguire sia le crisi bradisismiche del 1969-72 e 1982-84 che le relative fasi successive caratterizzate da una prevalente subsidenza interrotta da brevi e deboli sollevamenti. La rete è costituita da 4 stazioni mareografiche ubicate a Nisida, Pozzuoli Porto, Pozzuoli Molo Sud-Cantieri e Miseno (Figg. 91, 92, 93, 94). Oltre alle stazioni sopra riportate è operante il mareografo di riferimento ubicato nel Porto di Napoli (Fig. 95), ospitato nella stazione mareografica dell'APAT facente parte della Rete Mareografica Nazionale. Le stazioni sono attrezzate sia con mareografi meccanici con sistema a galleggiante-contrappeso e registrazione su carta, che con sensori digitali a galleggiante-contrappeso i cui dati vengono trasmessi via GSM.

¹¹ A cura di: P. Capuano, A. La Rocca, F. Obrizzo, F. Pingue, S. Pinto, A. Russo, U. Tammaro

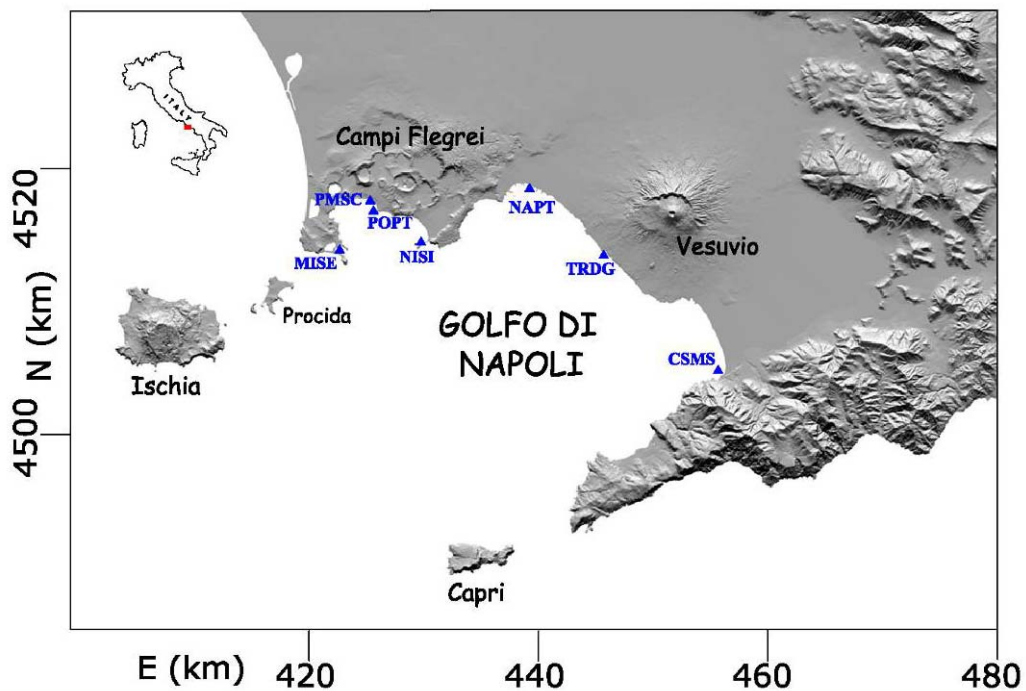


Figura 91 - Rete mareografica dell'area vulcanica napoletana: Vesuvio e Campi Flegrei. Campi Flegrei: NAPT = Napoli Porto, stazione di riferimento; POPT = Pozzuoli Porto; PMSC = Pozzuoli Molo Sud Cantieri ; NISI = Nisida; MISE = Miseno.

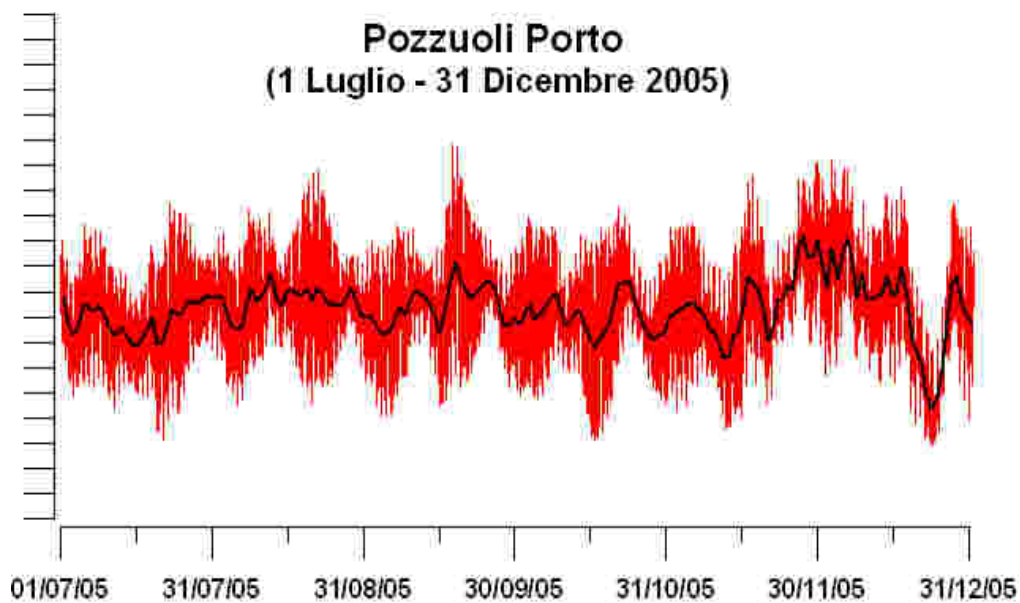


Figura 92 - Variazioni del livello del mare al Porto di Pozzuoli nel periodo luglio – dicembre 2005 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

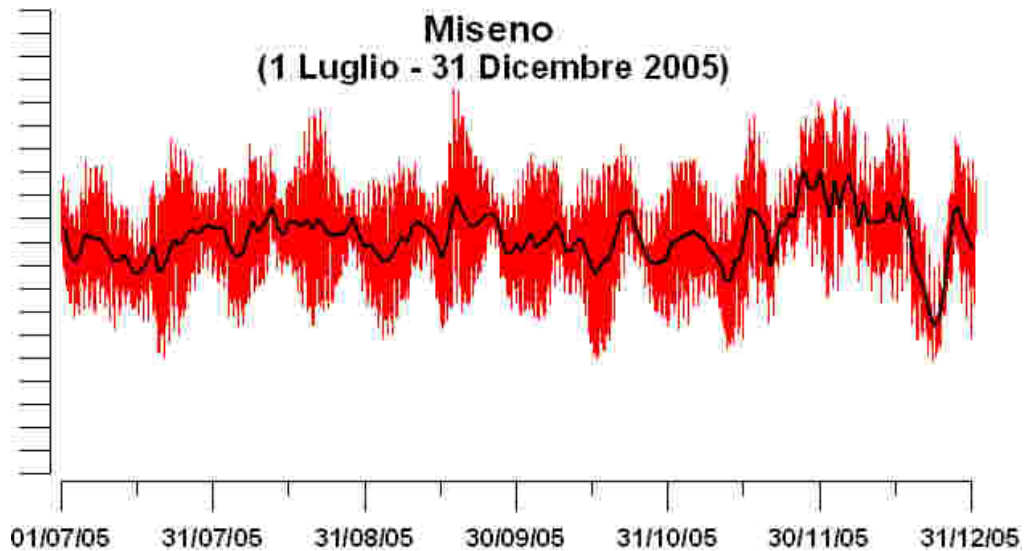


Figura 93 - Variazioni del livello del mare a Miseno nel periodo luglio-dicembre 2005 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

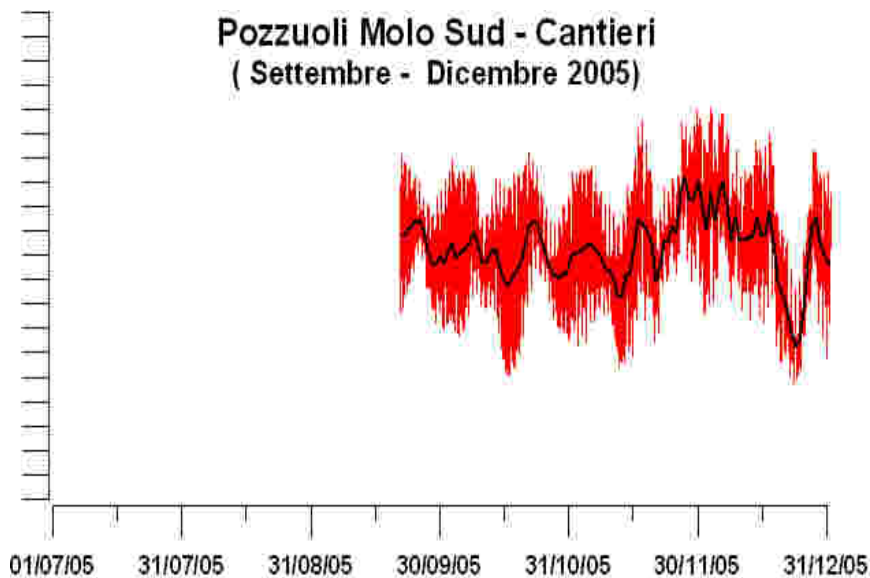


Figura 94 - Variazioni del livello del mare a Pozzuoli Molo Sud Cantieri nel periodo settembre-dicembre 2005 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

I sensori digitali, per le finalità di monitoraggio, campionano il livello marino ogni 5 minuti (con possibile riduzione fino ad un minuto). Con tale frequenza di campionamento è possibile un accumulo di circa 100 giorni di dati sulla memoria interna della centralina di acquisizione, prima che questa venga sovrascritta. Essa viene interrogata, in automatico, per il trasferimento dati al Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano ogni 12 ore. Con la trasformazione digitale della rete di sensori si è raggiunto l'obiettivo di aumentare la frequenza di campionamento, di evitare la successiva digitalizzazione del segnale

analogico e di ottenere la connessione e lo scarico dei dati in tempo quasi reale (l'intervallo di 12 ore del tempo di connessione può essere ridotto). Nel secondo semestre del 2005 è continuato il programma di miglioramento della rete e sono state effettuate le ordinarie operazioni per il buon funzionamento delle stazioni mareografiche. Gli interventi di manutenzione straordinaria sulla rete sono eseguiti generalmente entro le 24-36 ore. Inoltre è stata installata un'altra stazione ubicata in prossimità del Porto Pozzuoli (Molo Sud Cantieri), equipaggiata con sensore digitale e trasmissione via GSM (Fig.94), in modo da infittire il campionamento spaziale nel centro della caldera (Pozzuoli) area dove si sono osservati i valori massimi dei movimenti verticali del suolo sia durante il sollevamento che in subsidenza. Oltre a ciò sono state avviate le necessarie procedure per l'installazione di una stazione mareografica nel Porto di Forio localizzato sulla costa occidentale dell'isola d'Ischia. Tale stazione sarà equipaggiata con sensore digitale e trasmissione via GSM. L'analisi dei movimenti verticali del suolo nella caldera flegrea viene compiuta riferendo le misure del livello marino delle stazioni flegree alla stazione di riferimento di Napoli. La stabilità relativa della stazione di riferimento viene periodicamente controllata tramite la livellazione di precisione effettuata sul caposaldo prossimo al mareografo e collegato alla rete di livellazione IGM.

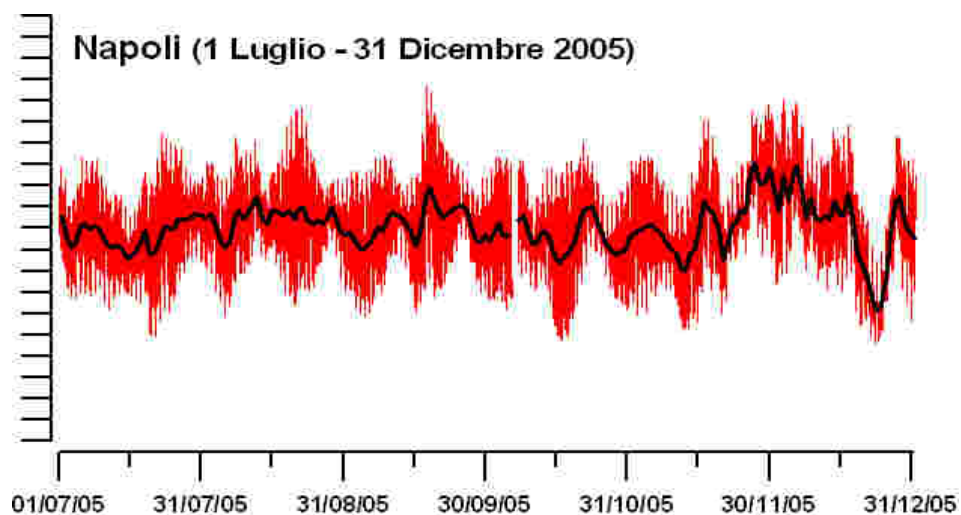


Figura 95 - Variazioni del livello del mare al Porto di Napoli (stazione di riferimento) nel periodo luglio - dicembre 2005 rilevate dal sensore digitale. Le variazioni riportate rappresentano le medie orarie. La curva in nero riproduce la media giornaliera. La scala verticale presenta intervalli di 5 cm.

L'elaborazione dei dati mareografici disponibili ci consente di effettuare le seguenti considerazioni sui movimenti verticali del suolo. Pozzuoli Porto, area centrale della caldera flegrea, non è stato interessato da significativi movimenti verticali del suolo del periodo luglio-dicembre 2005, le oscillazioni rimangono confinate entro il centimetro (Fig.

96), ovvero entro la soglia di significatività delle misure mareografiche. La serie temporale disponibile a partire dal gennaio 2000 (Fig. 97) evidenzia, che dopo la fase di sollevamento (primo semestre 2000) e il successivo significativo abbassamento (2000-2002), si osservano delle lievi oscillazioni del moto del suolo che tendono a decrescere nel tempo fino ad essere poco significative nel corso del 2005.



Figura 96 - Movimenti verticali del suolo ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore digitale alla stazione mareografica di Pozzuoli Porto. Le variazioni riportate rappresentano le medie giornaliere e sono riferite alla stazione di riferimento Napoli Porto.

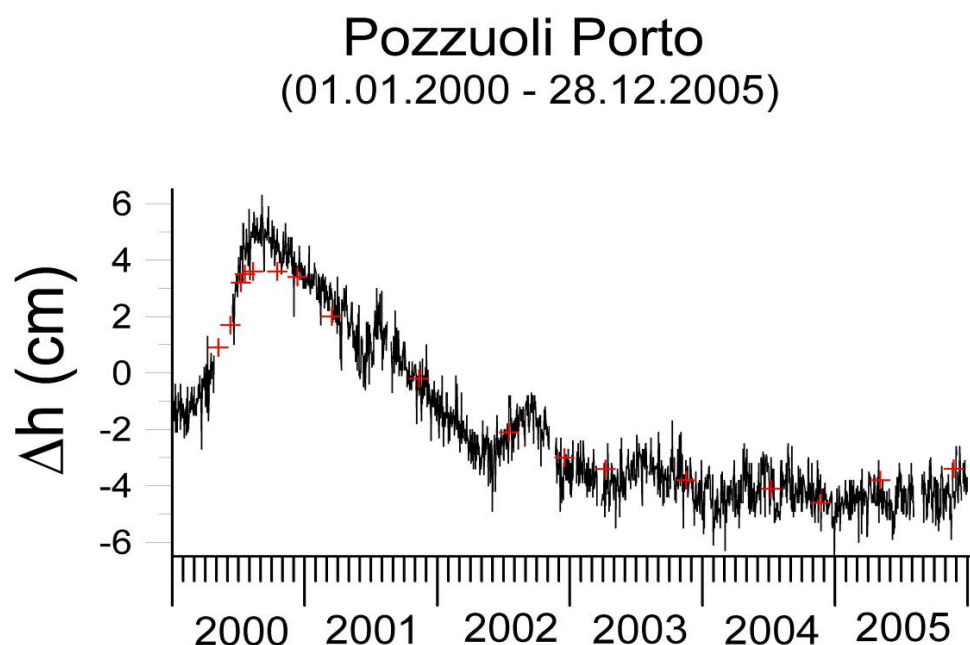


Figura 97 - Movimenti verticali del suolo, nel periodo 2000-2005, ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti dal sensore analogico della stazione mareografica di Pozzuoli Porto e riferiti a quella di Napoli Porto. Sono riportate inoltre le variazioni di quota (+) rilevate al caposaldo della rete di livellazione sito in prossimità della stazione mareografica di Pozzuoli.

IDROMETRIA AL VESUVIO¹²

A partire dalla seconda metà del 2003 è operativo un idrometrografo digitale ad acquisizione continua installato in un pozzo profondo 120 m dal piano campagna (circa 115 m slm), nei pressi del conetto laterale del Vesuvio Camaldoli della Torre "CMD," in località Torre del Greco. I dati vengono acquisiti ogni 10 minuti su una centralina multicanale e inviati, tramite GSM, al Centro di Sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano. In Fig.98 è riportata la variazione media giornaliera del livello piezometrico nel periodo 1 Luglio - 31 Dicembre 2005.

L'analisi del segnale idrometrico in continuo registrato in tale periodo ha evidenziato un'oscillazione media del livello della falda di circa 30 cm con un minimo a Dicembre ed un massimo a Luglio a carattere stagionale.

Si possono inoltre notare, in figura 98, nei mesi di Luglio, Agosto e Ottobre delle depressioni piezometriche rispettivamente di circa 20 e 25 cm legate probabilmente all'attività antropica.

L'emungimento della falda inizia quasi sempre nelle prime ore del mattino o nel tardo pomeriggio con una ricarica in circa 10-15 ore. Tali depressioni, a carattere transiente e facilmente riconoscibili, non influenzano la corretta analisi del segnale idrometrico.

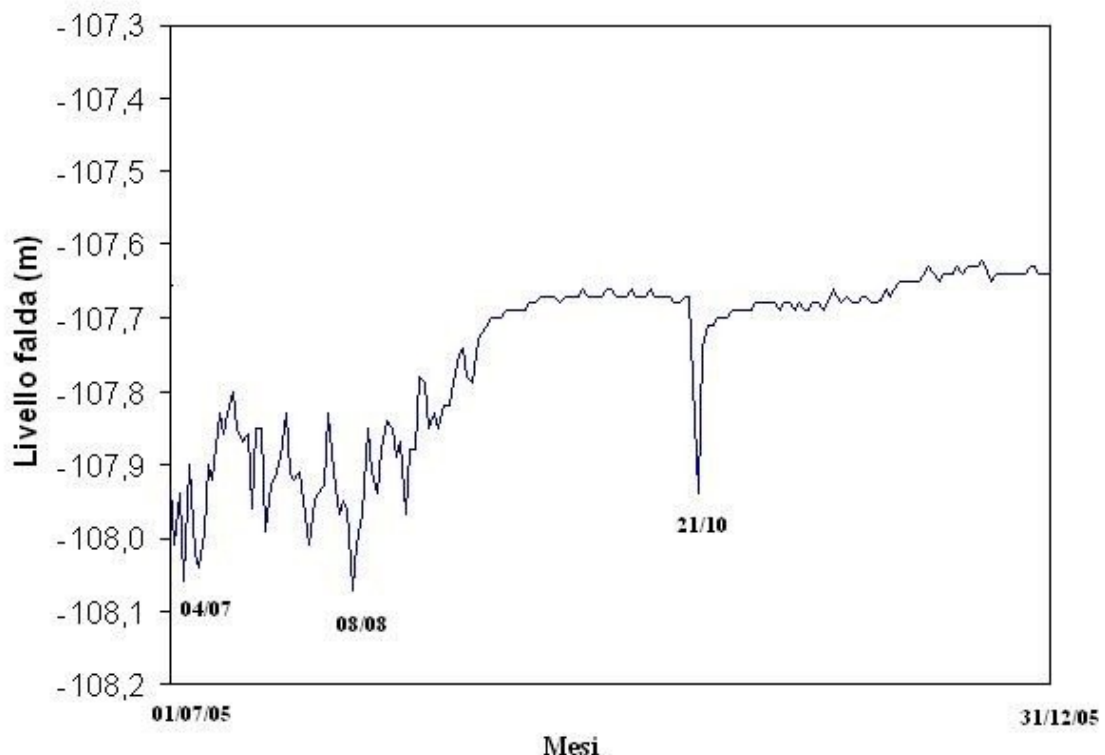


Figura 98 - Variazione media giornaliera del livello di falda alla stazione idrometrica CMD.

¹² A cura di: V. Siniscalchi, G. Pasquale Ricciardi, A. La Rocca, S. Pinto

MISURE DI INTERFEROMETRIA SAR NEL DISTRETTO VULCANICO NAPOLETANO¹³

Il vantaggio derivante dall'utilizzo dell'Interferometria SAR da piattaforma satellitare (ERS-1/2, ENVISAT) rispetto alle reti geodetiche terrestri, consiste nella possibilità di acquisire un'informazione su vasta scala, corrispondente ad un'area di 100 x 100 km nel caso dei sensori suddetti. Ciò ha consentito di ottenere l'informazione geodetica relativa all'intero Distretto Vulcanico Napoletano, per il periodo dell'attuale rapporto di sorveglianza a cui si riferisce la coppia interferometrica (05/02/2004-22/09/2005).

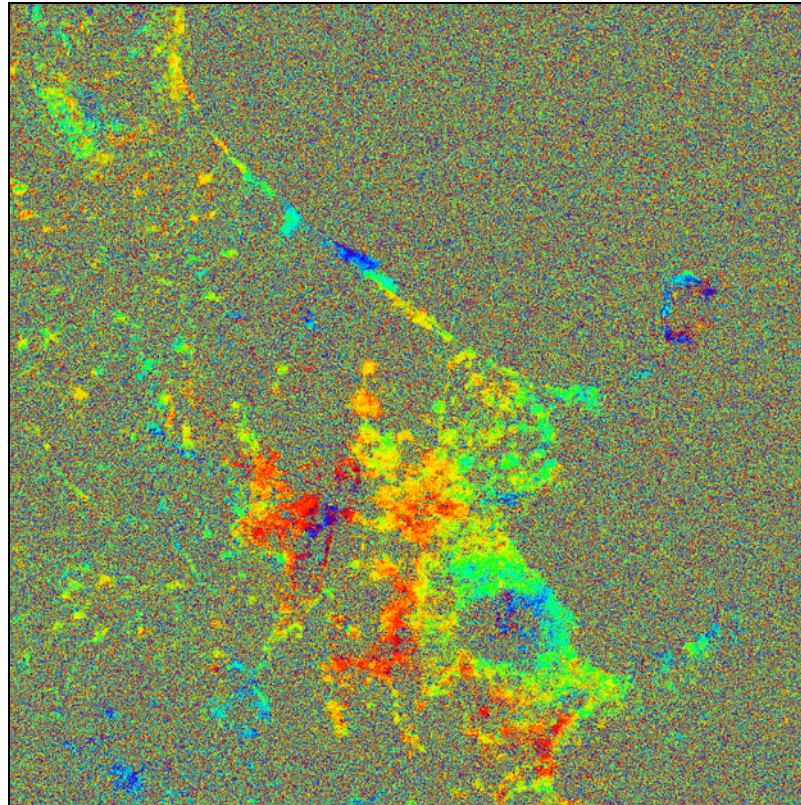


Figura 99 - Interferogramma 05/02/2004-22/09/2005 - Envisat, IS2, orbite discendenti.

Dall'analisi della figura 99, riportata in geometria SAR, non si evidenziano frange interferometriche relative a deformazioni in atto nel periodo di riferimento per nessuna delle tre aree appartenenti al Distretto Vulcanico Napoletano (sulla destra della figura, dal basso verso l'alto: Vesuvio, Campi Flegrei, isola d'Ischia). L'immagine, pur caratterizzata da un evidente rumore di fondo legato ad aree incoerenti (aree vegetate, superficie del mare) per le quali non è possibile effettuare un'elaborazione, conserva comunque l'informazione per le zone di interesse. L'elaborazione dati, svolta nell'ambito di una Convenzione tra l'INGV e l'IREA-CNR di Napoli, è stata condotta presso i laboratori dell'IREA-CNR di Napoli.

¹³ A cura di: G. P. Ricciardi, S. Borgström, G. Solaro, P. Tizzani

Misure di Interferometria SAR nell'area dei Campi Flegrei

L'analisi dei dati interferometrici del 2005, processati col codice Minerva acquisito nell'ambito di un progetto finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (fig. 100), evidenzia per l'area dei Campi Flegrei una stasi nella deformazione, in accordo con quanto riportato nella fig. 100 relativa all'intero Distretto Vulcanico Napoletano. Qui vengono mostrati, oltre alla mappa temporale di deformazione da dati SAR (sinistra) riferita all'ultimo decennio, anche un confronto (destra) tra dati di livellazione geometrica e i dati di Interferometria SAR su di un pixel per il quale è disponibile sia l'informazione geodetica che quella interferometrica; il pixel in oggetto è quello relativo al caposaldo altimetrico 25 della rete di livellazione dei Campi Flegrei, localizzato nell'area di massima deformazione in prossimità del centro abitato di Pozzuoli. Nel caso specifico, la serie temporale della deformazione ottenuta da dati SAR risulta temporalmente più fitta, consentendo di estrarre un'informazione altrimenti non ottenibile dai dati di livellazione, in considerazione dei tempi di rivisitazione dei sensori SAR allorché confrontati con i tempi medi di ripetizione delle misure di campagna. Relativamente alla deformazione agente nell'area flegrea nel corso del 2005, in realtà va fatto notare che, come indicato da dati di geodesia classica, è in atto un lievissimo sollevamento evidenziato già durante gli ultimi mesi del 2004. La ragione per cui tale sollevamento non è evidenziabile dalla tecnica interferometrica, risiede nei limiti del potere risolutivo della banda in cui opera il sensore utilizzato (ERS2 in banda C) in presenza di un'entità della deformazione molto bassa. Tale limitazione può essere facilmente aggirata estendendo l'elaborazione dei dati ad un intervallo temporale più lungo, sempre che si sia in presenza di un andamento definito e continuativo della deformazione agente. L'acquisizione di dati futuri (ENVISAT) consentirà quindi di valutare la presenza e l'entità della deformazione in atto nell'area dei Campi Flegrei.

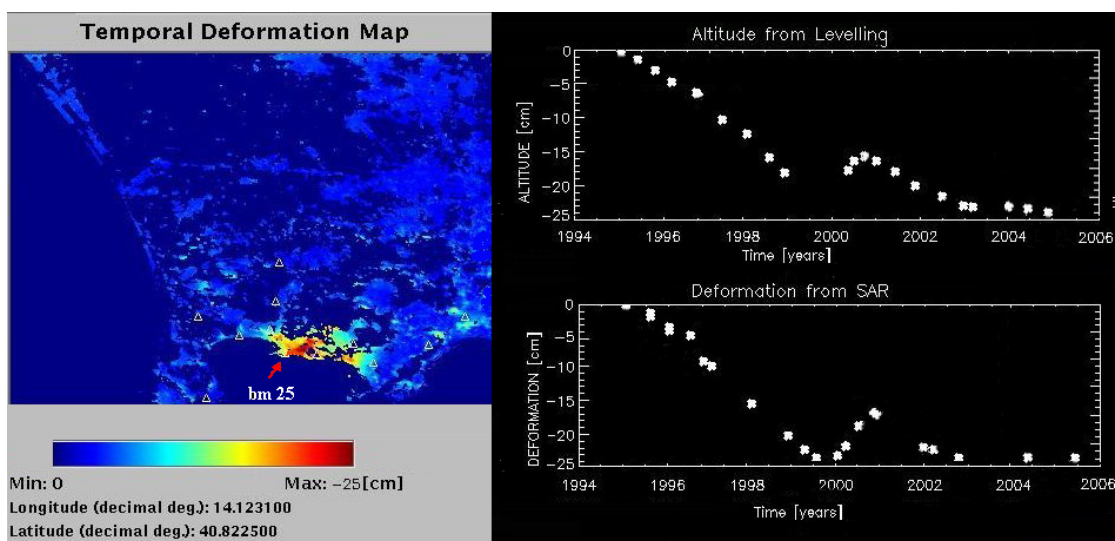


Figura 100 - Mappa temporale della deformazione da dati SAR (sinistra), con un confronto (destra) tra dati di livellazione geometrica e dati SAR per il pixel relativo al caposaldo altimetrico 25 (rete di livellazione dei Campi Flegrei, linea costiera) - elaborazione dati INGv-OV (da Borgström et al., 2006, in stampa).

Misure di Interferometria SAR nell'area del Somma-Vesuvio

Le elaborazioni di Interferometria SAR riportate nel presente paragrafo si riferiscono ai sensori ERS-1/2 dell'Agenzia Spaziale Europea e riguardano l'intervallo temporale 1992-2003 poiché dopo il 2003 il sensore ERS-2, anche se nominalmente ancora operativo, di fatto fornisce solo poche immagini all'anno adeguate ad un'elaborazione interferometrica. Si premetta che le moderne tecniche di elaborazione consentono di ottenere non solo le serie temporali della deformazione su pixel coerenti della scena SAR, ma anche la scomposizione del segnale radar in una componente verticale ed una componente EW della velocità di deformazione del suolo laddove sia possibile, per il pixel in esame, combinare sia i dati dalle orbite ascendenti che discendenti. Nel caso del Vesuvio, le immagini acquisite dai sensori ERS-1/2 per l'intervallo temporale 1992-2003, hanno consentito la generazione di 281 interferogrammi. La fig. 101 mostra la velocità verticale di deformazione del suolo dell'area vesuviana nell'intervallo ± 5 mm/anno, con il colore verde avente velocità di deformazione nulla. Si noti come la parte sommitale del complesso Somma-Vesuvio sia caratterizzata da una subsidenza di 2-5 mm/anno come evidenziato dal colore rosso in corrispondenza della località Colle Umberto e sul fianco occidentale del Gran Cono e dal colore giallo sulla colata di lava del 1944 ben visibile nell'Atrio del Cavallo. Gran parte dell'area investigata mostra un campo di deformazione a scala regionale caratterizzato da una lieve subsidenza di 1-2 mm/anno. I settori a NW, N, NE, E e SE del vulcano mostrano, invece, un tasso di subsidenza maggiore (> 2 mm/anno). In particolare la collina di Pompei mostra un sollevamento relativo di 1-2 mm/anno.

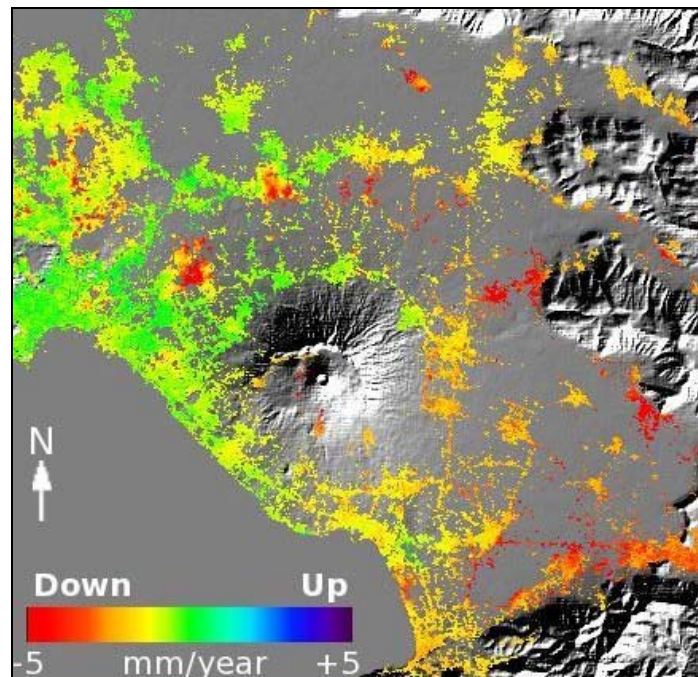


Figura 101 - Immagine SAR della velocità verticale di deformazione del suolo per il periodo 1992-2003 (da Borgia et al., 2005).

La figura 101 mostra invece la velocità orizzontale (EW) di deformazione del suolo nell'intervallo ± 12 mm/anno.

Dalla figura si notano due aspetti del campo di deformazione particolarmente significativi: il primo è un campo di deformazione a carattere regionale caratterizzato da un movimento del settore NW verso W e del settore SE verso E.

La zona di transizione tra i due spostamenti si trova in corrispondenza di una faglia regionale ad andamento NE-SW (faglia del Sebeto) evidenziata anche da indagini gravimetriche. Il secondo effetto corrisponde all'area in sollevamento di Pompei dove gli spostamenti orizzontali verso E sono maggiori di quelli delle aree immediatamente adiacenti.

Come precedentemente riportato in relazione all'intero Distretto Vulcanico Napoletano, non si evidenziano deformazioni del suolo per l'area del Somma-Vesuvio nell'intervallo temporale 05/02/2004-22/09/2005 (vedasi interferogramma di fig. 99).

Misure di Interferometria SAR nell'Isola d'Ischia

L'interpretazione della dinamica in atto nell'isola d'Ischia risulta ancora oggi alquanto complessa, con deformazioni evidenti localizzate principalmente nei settori nord-occidentale e meridionale dell'isola, probabilmente imputabili a scivolamenti gravitativi della coltre detritica che ricopre il blocco strutturale del Tufo Verde del Monte Epomeo. Tali evidenze sono il risultato di osservazioni effettuate nel corso degli anni attraverso misure di geodesia classica, in particolare misure di livellazione geometrica condotte a partire dal 1978.

L'informazione spazio-temporale derivante dall'utilizzo della tecnica interferometrica, i cui risultati vengono qui riportati in relazione al periodo 1992-2002 (sensori ERS-1/2), ha contribuito ad una migliore comprensione della dinamica agente nell'isola stessa.

Non è stato possibile investigare l'area del Monte Epomeo col dovuto dettaglio, poiché caratterizzata da una fitta vegetazione e quindi fortemente incoerente dal punto di vista interferometrico.

Nella fig. 103 viene riportata la componente verticale della velocità di deformazione del suolo rilevata dal SAR sovrapposta all'ortofoto dell'isola d'Ischia: si rilevano distintamente due aree in subsidenza, rispettivamente nel settore nord-occidentale dell'isola (località Fango) e centro-meridionale (località Serrara-Fontana); per entrambe le aree un risultato analogo è stato evidenziato nel corso degli anni dalle misure di livellazione geometrica.

In fig. 104 viene riportata invece la componente orizzontale (EW) della velocità di deformazione del suolo nel periodo 1992-2002.

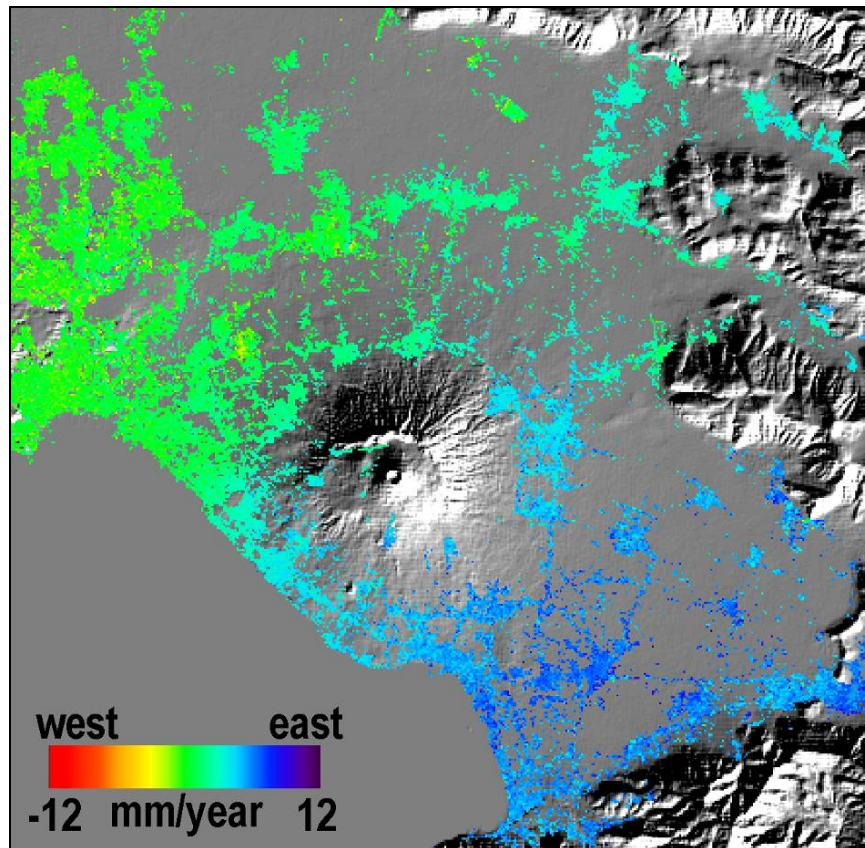


Figura 102 - Immagine SAR della velocità orizzontale (EW) di deformazione del suolo per il periodo 1992-2003 (da Borgia et al., 2005).

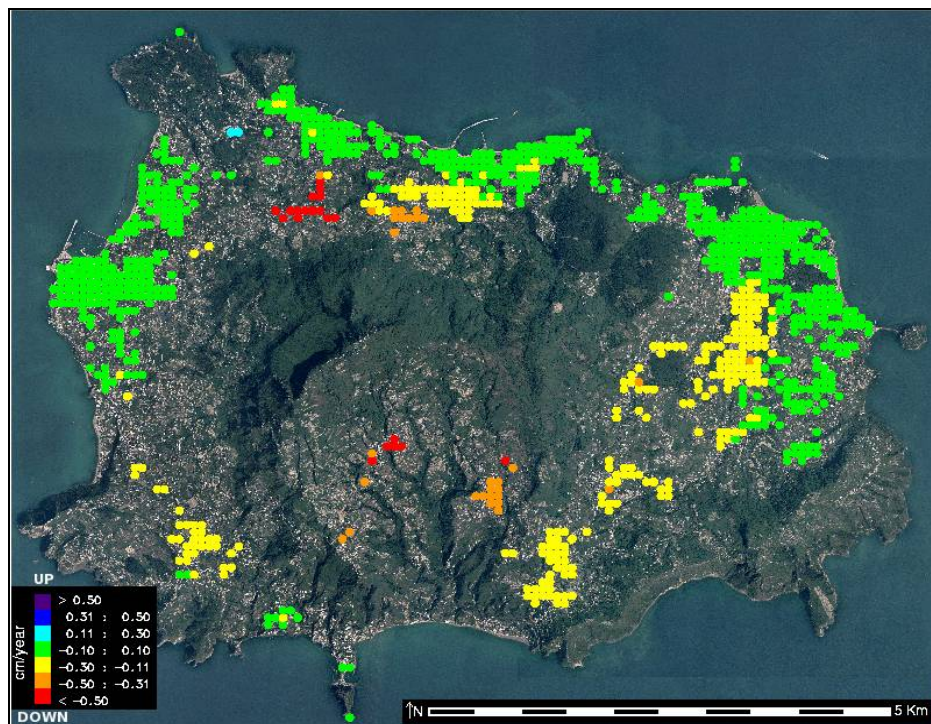


Figura 103 - Componente verticale della velocità di deformazione rilevata dal SAR per il periodo 1992-2002 sovrapposta all'ortofoto di Ischia (da Manzo et al., 2006).

Nuovamente, come riportato in relazione all'intero Distretto Vulcanico Napoletano, non si evidenziano deformazioni del suolo nell'isola d'Ischia nell'intervallo temporale 05/02/2004-22/09/2005 (vedasi interferogramma di fig. 99).

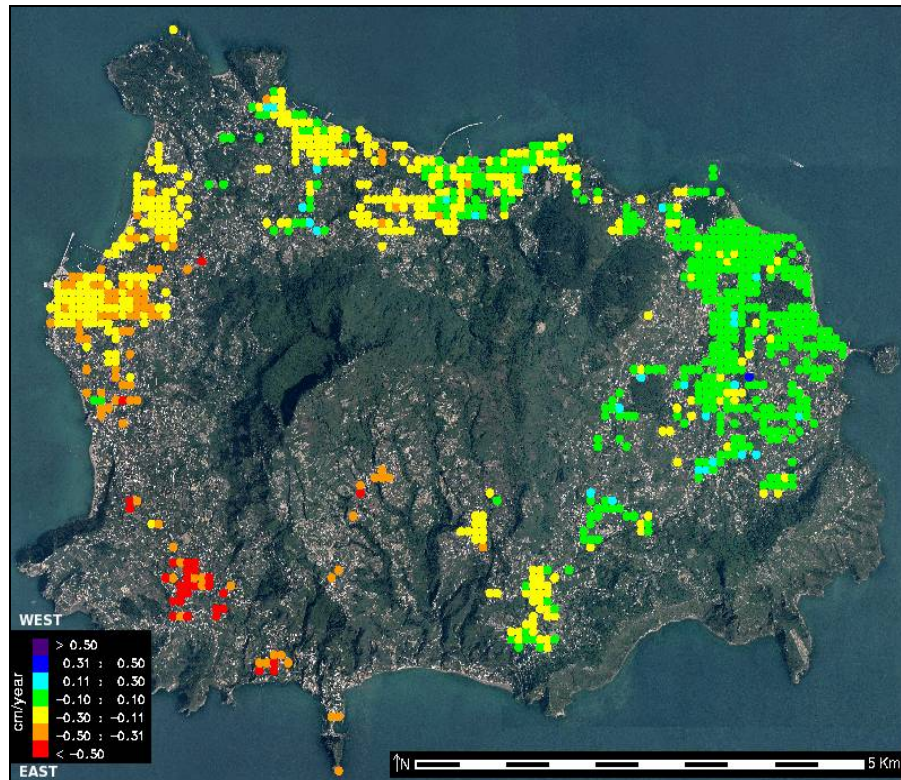


Figura 104 - Componente orizzontale (EW) della velocità di deformazione rilevata dal SAR per il periodo 1992-2002 sovrapposta all'orfoto di Ischia (da Manzo et al., 2006).

MISURE GRAVIMETRICHE AL VESUVIO¹⁴

Tra la fine di novembre e la prima metà di dicembre è stata eseguita una campagna gravimetrica di precisione nell'area vesuviana. A causa delle condizioni meteorologiche particolarmente avverse non è stato possibile operare sulla porzione alta della rete (base Cratere e Forestale); perciò le misure sono state eseguite solo sulle stazioni alla base della struttura vulcanica e su quelle posizionate entro i 600 metri di quota e distribuite lungo le direttrici Ercolano - Osservatorio Vesuviano e Boscoreale - Vesuvio. Pertanto, durante la campagna di dicembre 2005 sono state occupate solo 24 delle 32 stazioni costituenti l'intera rete (Fig. 105) che, come di consuetudine, è stata collegata alla stazione assoluta di Napoli che rappresenta il riferimento.

¹⁴ A cura di: G. Berrino , V. d'Errico, G. Ricciardi

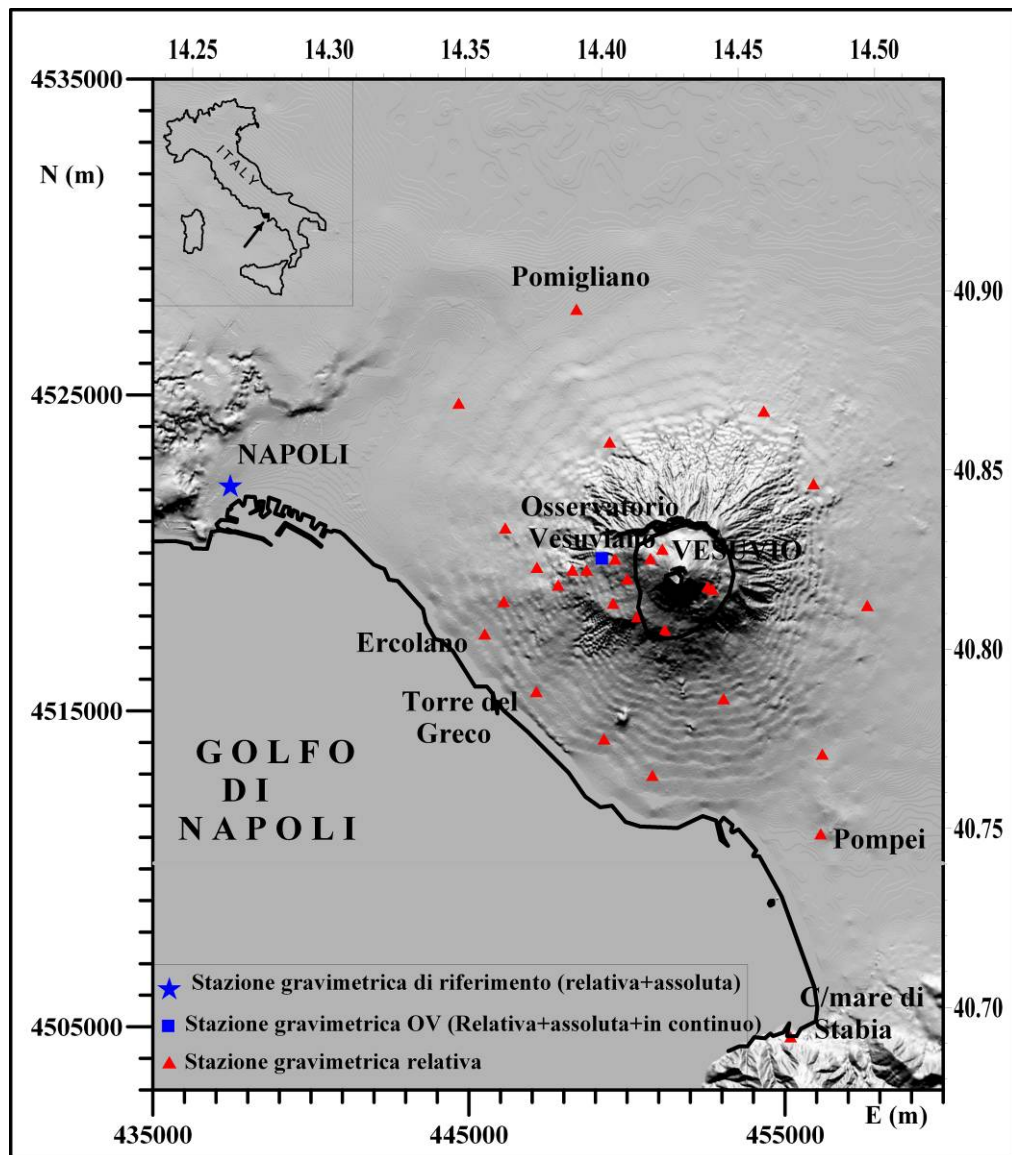


Figura 105 - Rete gravimetrica nell'area vesuviana.

Le letture gravimetriche sono state eseguite con il gravimetro LaCoste & Romberg, modello D numero 85 (LCR-D85) e rilevate su tratte indipendenti in modo da costituire i circuiti chiusi e concatenati necessari per la successiva compensazione rigorosa; l'errore medio è risultato $\pm 9 \mu\text{Gal}$.

Le differenze di gravità tra le singole stazioni e quella di riferimento di Napoli sono state confrontate con quelle rilevate nella campagna precedente del maggio 2005, il cui errore è risultato $\pm 16 \mu\text{Gal}$. Sono state, quindi, considerate statisticamente significative solo le variazioni superiori ai $20 \mu\text{Gal}$. Per tale motivo, il campo delle variazioni di g è stato tracciato con un'equidistanza di $20 \mu\text{Gal}$. Esso è rappresentato in Fig. 106.

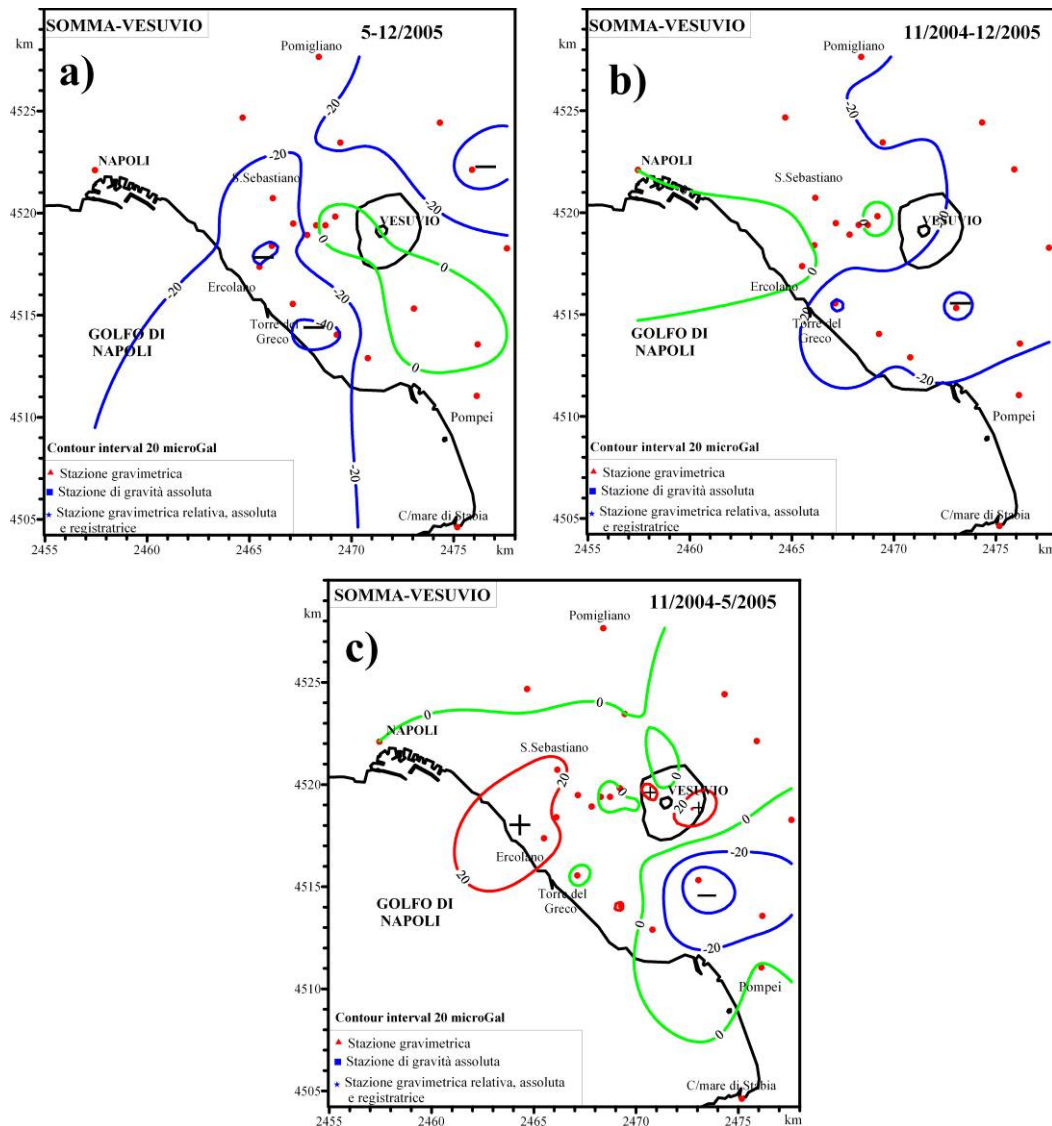


Figura 106: Variazioni di gravità nell'area vesuviana, con riferimento alla stazione assoluta di Napoli, nei periodi: a) maggio - dicembre 2005; b) novembre 2004 - dicembre 2005; c) novembre 2004 -maggio 2005.

Il campo ottenuto mostra una generale diminuzione di gravità alle stazioni basali, seppure ai limiti della significatività statistica (Δg contenuti entro i $20 \mu\text{Gal}$). Gli unici valori rilevanti si osservano alla zona di Torre del Greco e aree limitrofe, dove sono state misurate variazioni sino a $-44 \mu\text{Gal}$, e alla stazione di Ottaviano dove è stata misurata una diminuzione di g di $50 \mu\text{Gal}$. Alle stazioni in quota, lungo le linee Ercolano - Osservatorio Vesuviano e Boscoreale-Cratere, non è stata rilevata alcuna significativa variazione di gravità.

Al fine di ridurre o eliminare la presenza di eventuali effetti stagionali, i dati del dicembre 2005 sono stati confrontati con quelli rilevati l'anno precedente nello stesso periodo stagionale (novembre 2004). Sempre tenendo conto dell'errore ottenuto dalla compensazione dei dati, pure in questo caso il campo della distribuzione areale delle

variazioni di g (Fig. 106b) è stato tracciato con equidistanza di $20 \mu\text{Gal}$. Anche da tale confronto non si evince alcuna variazione significativa di gravità nell'intera area vesuviana, seppure permangono le diminuzioni da considerare significative alle stazioni di località Cifella (lungo la linea Boscoreale-Vesuvio a quota 340 m) e di Torre del Greco dove sono state rispettivamente osservate diminuzioni di gravità di 45 e $44 \mu\text{Gal}$. Tenendo presente le variazioni di gravità rilevate nel periodo novembre 2004-maggio 2005 (Fig. 106c) ne consegue che le variazioni osservate a Cifella e a Torre del Greco si sono verificate tra novembre 2004-maggio 2005 la prima e maggio-dicembre 2005 la seconda.

MISURE GRAVIMETRICHE AI CAMPI FLEGREI¹⁵

Durante il mese di novembre 2005 è stata condotta, nell'area flegrea, una campagna di misure gravimetriche eseguite su tutti i vertici della rete, includendo anche le stazioni di Agnano Pisciarelli e Via Scarfoglio (a Nord-Est e ad Est del cratere Solfatara) e le 4 all'interno del cratere Solfatara istituite nell'aprile 2005 nell'ambito dei progetti IGNV-PC 2005-2006. L'attuale configurazione delle rete (Fig. 107) è quindi costituita da 22 vertici, oltre le stazioni nel cratere Solfatara. Tutti i vertici sono posizionati in corrispondenza o in prossimità di capisaldi della rete di livellazione e collegati alla stazione assoluta di Napoli, assunta quale riferimento.

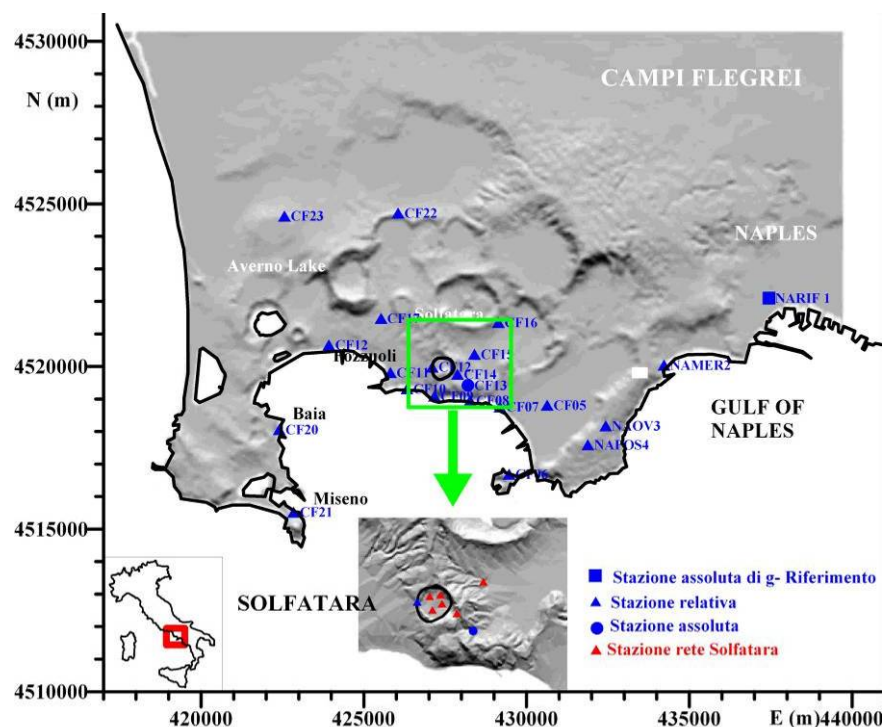


Figura 107 - Rete gravimetrica ai Campi Flegrei.

¹⁵ A cura di: G. Berrino, V. d'Errico, G. Ricciardi

Le letture gravimetriche sono state eseguite con il gravimetro LaCoste & Romberg, modello D numero 85 (LCR-D85) e, come di consueto, rilevate su tratte indipendenti in modo da costituire circuiti chiusi e concatenati per essere poi sottoposte a compensazione rigorosa; l'errore medio è risultato $\pm 8 \mu\text{Gal}$. Le differenze di gravità tra le singole stazioni e quella di riferimento di Napoli sono state confrontate con quelle rilevate nel corso della precedente campagna di aprile 2005 il cui errore medio è risultato di $\pm 9 \mu\text{Gal}$. Il campo della distribuzione spaziale delle variazioni di gravità ottenute, che tenendo conto degli errori ottenuti nelle singole campagne è stato tracciato con equidistanza di $10 \mu\text{Gal}$, è illustrato nella Fig. 108a.

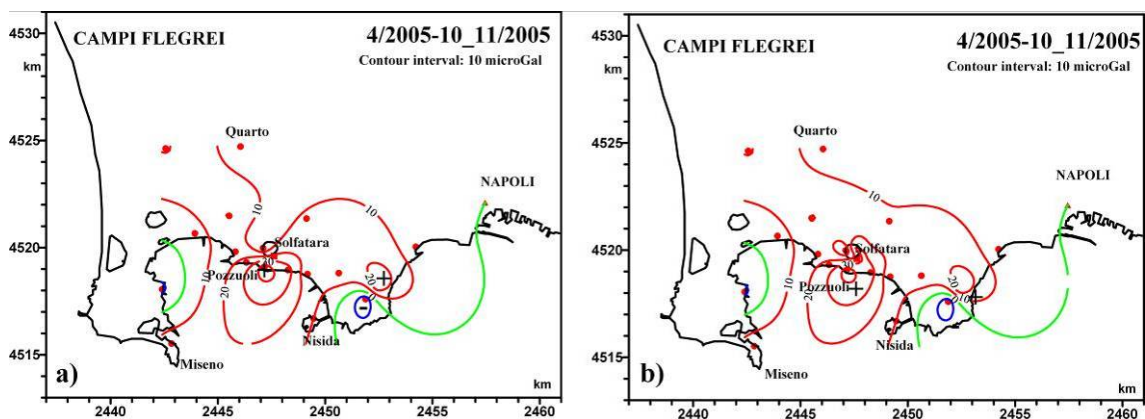


Figura 108 - Variazioni di gravità ai Campi Flegrei, riferite alla stazione assoluta di Napoli, nel periodo aprile – novembre 2005. In a) è rappresentato il campo ottenuto utilizzando le stazioni della rete flegrea, mentre in b) quello ottenuto inserendo anche le stazioni all'interno del cratere Solfatara.

Dal confronto si evidenzia un'estensione all'intera area flegrea dell'aumento di gravità rilevato nel periodo precedente (novembre 2004-aprile 2005) alle stazioni centro-occidentali (rif. Rendiconto sull'attività di sorveglianza INGV-Osservatorio Vesuviano I semestre 2005). Le maggiori variazioni si rilevano al centro della caldera e le variazioni più significative sono di circa $40 \mu\text{Gal}$ (valore massimo $46 \mu\text{Gal}$ alla stazione Pozzuoli Gerolomini). Inserendo nel confronto anche i dati rilevati sulla mini rete all'interno della Solfatara (Fig. 108b) si evidenzia che tale zona si comporta in maniera "anomala" rispetto al resto dell'area. Considerando la rete completa, infatti, si ottiene una distorsione delle isoanomale proprio nella direzione del cratere Solfatara. I dati rilevati nel 2005 sono stati confrontati anche con quelli dei periodi precedenti a partire dal novembre 2003 poiché, le variazioni di g osservate da tale data, come già fatto notare nei rapporti precedenti, sono le poche che dopo l'evento bradisismico 1982-1984 mostrano una distribuzione spaziale con una geometria ben definita e omogenea; in tale periodo è stato rilevato dapprima il formarsi di una fase di diminuzione e poi di una fase di incremento di g . I dati delle diverse campagne condotte dal 2003 al 2005, sono stati

organizzati in modo da poter effettuare numerosi confronti su diversi intervalli di tempo finalizzati a definire temporalmente l'occorrere delle due fasi di variazione della gravità. Tutti i confronti effettuati portano alla conclusione che gli eventi significativi (diminuzione/aumento) si sviluppano prevalentemente in due distinti periodi, rispettivamente novembre 2003-novembre 2004 (Fig. 109a) e novembre 2004-novembre 2005 (Fig. 109c). Il confronto tra stessi periodi dell'anno, che inoltre permette di eliminare o ridurre gli effetti stagionali, suggerisce ancora che, come già fatto notare agli inizi del 2005, le variazioni di gravità osservate non sono causate da effetti stagionali o transitori, ma attribuibili ad una ben precisa causa il cui effetto si è invertito, a partire dal novembre 2004. In particolare quanto osservato nell'ultimo intervallo di tempo considerato (aprile-novembre 2005) suggerisce che, contrariamente a quanto si è potuto dedurre dai dati disponibili sino al mese di aprile, non solo il 2004 ma anche tutto il 2005 è stato interessato da un episodio eventualmente collegabile ad un'unica sorgente che ha invertito il suo processo sino ad annullare completamente il suo effetto. Il confronto totale novembre 2003 - novembre 2005 (Fig. 109c), confermerebbe quanto affermato in precedenza poiché i due episodi sopra discussi, paragonabili sia per entità che per estensione, scompaiono sull'intervallo complessivo; le variazioni che si ottengono sono, infatti, ai limiti della significatività statistica.

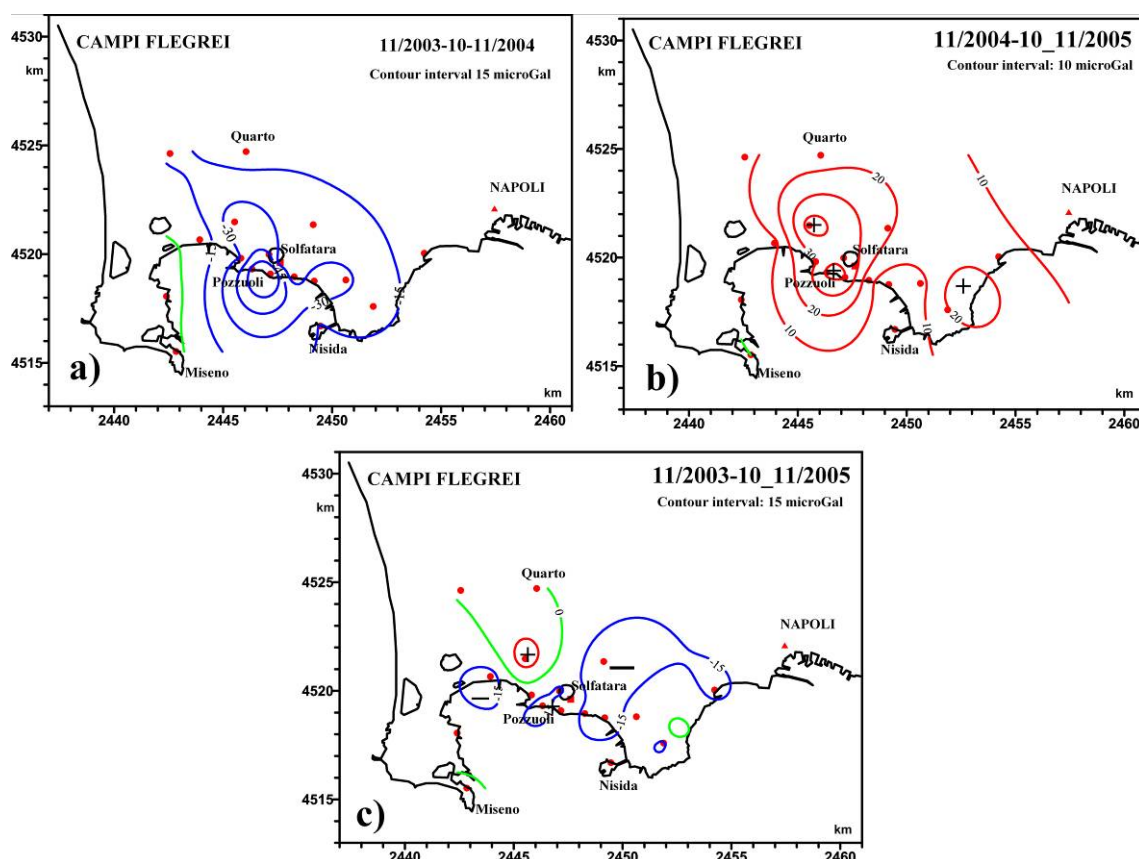


Figura 109 - Variazioni di gravità ai Campi Flegrei nei periodi: a) novembre 2003 – novembre 2004; b) novembre 2004-novembre 2005; c) novembre 2003-novembre 2005.

GRAVIMETRIA DELL'ISOLA DI VULCANO¹⁶

Durante il mese di settembre 2005 è stata effettuata una campagna di indagini gravimetriche di precisione all'isola di Vulcano. Nel corso della campagna si è anche provveduto alla ristrutturazione della rete che è consistita principalmente nell'aggiunta di sei nuove stazioni (indicate con un cerchio chiuso blu nella Fig. 110). Per alcune stazioni preesistenti, in particolare per quelle nel settore sud-orientale dell'isola, si è invece reso necessario il loro trasferimento in siti, molto vicini, ma con maggiore affidabilità di durata nel tempo, approfittando di modifiche urbanistiche avvenute negli ultimi anni. Ovviamente, nel corso della campagna sono stati occupati sia i vecchi che i nuovi vertici al fine di non perdere la continuità nella serie temporale acquisita sin dagli anni ottanta. Pertanto, la rete ora consta di 32 stazioni la cui distribuzione è illustrata nella Fig. 110. Sei stazioni gravimetriche sono anche siti di misura del gradiente verticale della gravità (quadrati aperti blu nella Fig. 110).

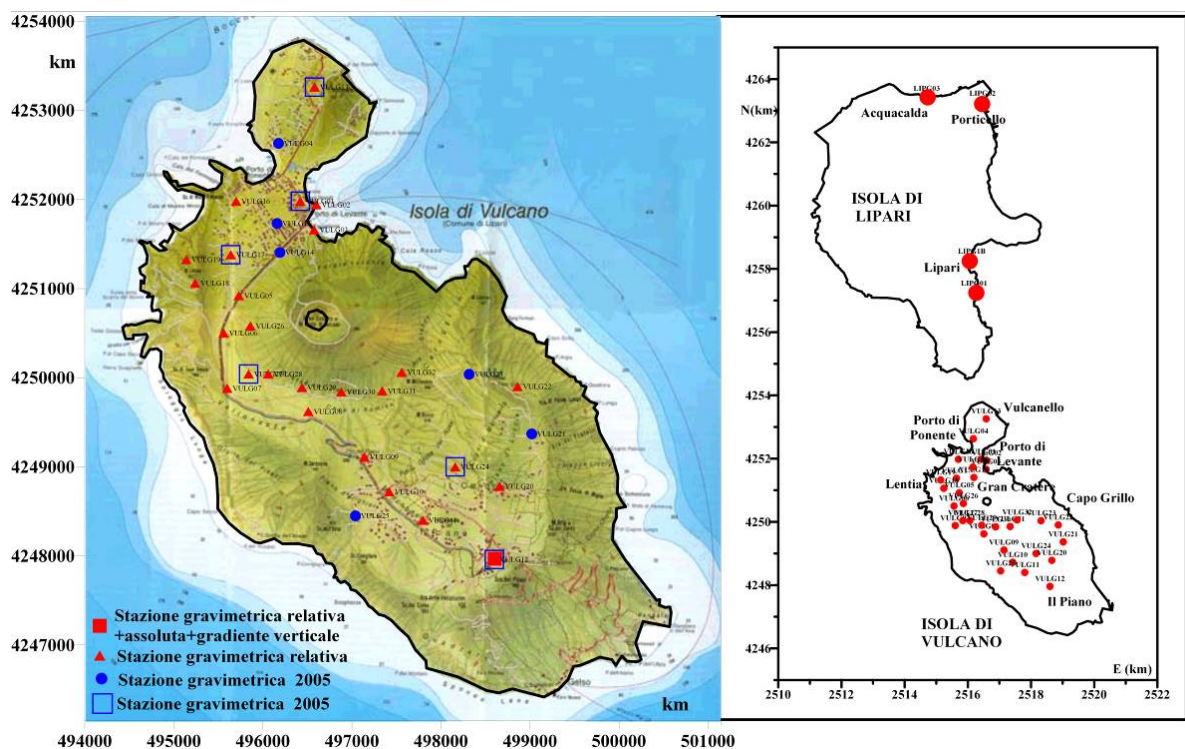


Figura 210 - Rete gravimetrica all'isola di Vulcano. Nel riquadro a destra è illustrata la rete sul settore Vulcano-Lipari.

La rete è collegata alla stazione assoluta di gravità di Milazzo, assunta quale riferimento, e tutti i vertici sono coincidenti o prossimi a capisaldi della rete altimetrica.

¹⁶ A cura di: G. Berrino, V. d'Errico, G. Ricciardi

In considerazione dei risultati ottenuti sin dal 2000, e come già fatto nel 2003 e nel 2004, data l'impossibilità di potere eseguire le misure sulla rete a larga maglia estesa sull'intero arcipelago eoliano, i collegamenti gravimetrici sono stati estesi a Lipari, allo scopo di tentare di definire, almeno nell'intorno dell'isola di Vulcano, variazioni di gravità associabili ad effetti regionali.

Sull'isola di Lipari insistono tre stazioni gravimetriche (una nel settore meridionale e due in quello settentrionale) (Fig. 110, riquadro a destra) appartenenti alla rete coprente l'intero arcipelago. Nel corso della campagna è stato ritenuto necessario riposizionare, a scopo precauzionale, il vertice ubicato nel settore meridionale dell'isola poiché, a causa di lavori di ristrutturazione, l'immediato intorno del sito è stato lievemente modificato; la stazione pre-esistente è stata lo stesso occupata nel tentativo di collegare i nuovi dati con i precedenti; comunque, i dati rilevati non hanno evidenziato alcuna significativa influenza sulla stazione delle modifiche nei dintorni.

Nel settembre 2005 le misure sono state rilevate su 31 dei 32 vertici costituenti la rete di Vulcano (Fig. 110a), poiché la stazione sita in Grotta dei Palizzi, attualmente identificata con il numero 32, non è raggiungibile da qualche anno per impraticabilità dell'unica via di accesso.

Le letture gravimetriche sono state effettuate con il gravimetro LaCoste & Romberg, modello D numero 85 (LCR-D85).

Le differenze di gravità ottenute tra i singoli vertici della rete e la stazione assoluta di riferimento in Milazzo sono risultate, dopo compensazione rigorosa, affette da un errore medio di $\pm 4 \mu\text{Gal}$.

Esse sono state confrontate con quelle ottenute nella precedente campagna del settembre 2004, affetta da un errore di $\pm 10 \mu\text{Gal}$.

Dal confronto dei dati (Fig. 111a) si evince che l'isola è stata interessata da significative variazioni positive della gravità, localizzate prevalentemente alla base del Gran Cratere.

Tali variazioni, data l'estensione, sono da considerarsi a carattere locale e attribuibili ad una sorgente superficiale. In considerazione del fatto che le misure confrontate sono state effettuate negli stessi periodi dell'anno, e tenuto conto dell'entità delle variazioni di gravità, è ragionevole escludere un significativo effetto stagionale.

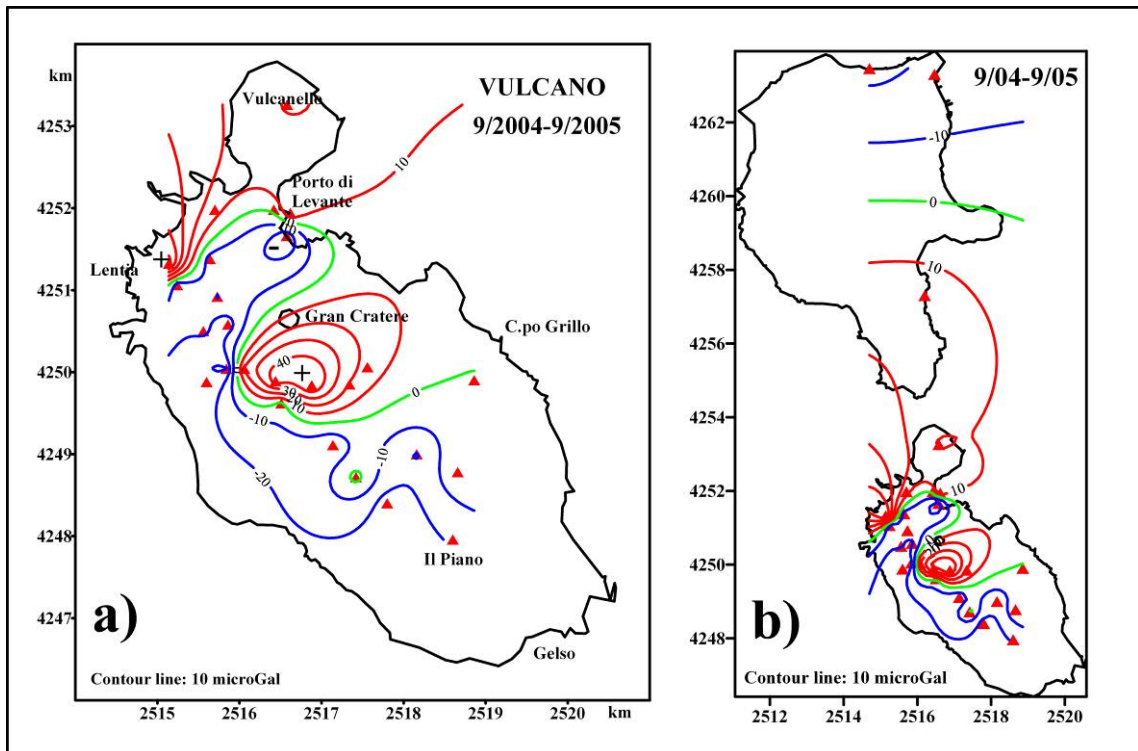


Figura 111 - Variazioni della gravità con riferimento a Milazzo, sull'Isola di Vulcano [a]) e sul complesso Lipari-Vulcano [b]) nel periodo settembre 2004 – settembre 2005.

Non sono invece visibili, come negli anni precedenti a partire dal 2000, eventi associabili a variazioni di gravità a carattere regionale, come si deduce dall'andamento del campo variometrico tracciato includendo anche le variazioni osservate sull'isola di Lipari (Fig. 111b). Va comunque evidenziato che seppure il campo variometrico viene allargato a Lipari, esso è solo parzialmente rappresentativo di eventuali episodi più estesi, in quanto la definizione dell'anomalia è incompleta, sebbene le variazioni osservate dal 2000 al 2004 su tale porzione dell'arcipelago sono state sufficienti a mostrare chiaramente il verificarsi e l'evolversi di eventi relativamente profondi, messi poi in relazione con l'attività di origine vulcanica che ha interessato l'intero arco eoliano in quegli anni (Emissioni gassose a largo di Panarea nel novembre 2002; eruzione di Stromboli 2002-2003). Le variazioni di gravità osservate nel periodo 1999-2000 e successivamente sino al 2004, sono state discusse dettagliatamente in precedenti rapporti sull'attività di sorveglianza svolta dall'OV (rif. Rapporto sull'attività di sorveglianza INGV-Osservatorio Vesuviano II semestre 2000; 2003; 2004). Ancora una volta la disponibilità delle misure estese all'intero arcipelago avrebbe, probabilmente, permesso di definire meglio le caratteristiche della geometria del campo delle variazioni della gravità a scala regionale.

SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AL VESUVIO¹⁷

La sorveglianza geochimica dell'area Vesuviana, effettuata dall'Unità Funzionale di Geochimica dei Fluidi dell'Osservatorio Vesuviano, nel corso del 2005 ha riguardato:

- il monitoraggio del processo di degassamento nell'area craterica attraverso: la misura discontinua dei flussi di CO₂ in punti fissi ubicati sul bordo orientale del cratere (area anemometro), l'acquisizione dei parametri geochimici in continuo (flusso di CO₂ ed alcuni parametri atmosferici) attraverso la stazione FLXOV4 installata all'interno del cratere;
- il monitoraggio di alcuni parametri ambientali (atmosferici e del suolo) attraverso una stazione automatica ubicata sul bordo occidentale del cratere del Vesuvio (stazione ABC 7030);
- lo studio delle emissioni fumaroliche presenti al fondo e sul bordo del cratere.

Flussi di CO₂

L'intera area di degassamento diffuso del Vesuvio emette una quantità di CO₂ dell'ordine delle 150 ton/g attraverso il degassamento diffuso dal suolo (Froncini et al., 2004) con un'energia associata di circa 20 MW (Chiodini et al., 2005). E' stato stimato che almeno una quantità di CO₂ analoga a quella emessa in area craterica (150 ton/g) è disciolta e trasportata dalle acque di falda (Caliro et al., 2005). Si ricorda che tali stime sono state utilizzate per una modellazione fisica del processo di raffreddamento che interessa i condotti vulcanici, ormai inattivi dal 1944 (Quarenì et al., submitted). Il monitoraggio di questo processo di degassamento è stato effettuato sia attraverso l'esecuzione di campagne periodiche su punti fissi (indagini veloci n. 6 nel 2005) sia mediante una stazione automatica (stazione FLXOV4) che permette il monitoraggio in continuo del flusso di CO₂.

Monitoraggio discontinuo dei flussi di CO₂ (indagini veloci)

Le indagini veloci sono effettuate, a partire dal 1998, periodicamente sul bordo orientale del cratere. Le misure dei flussi di CO₂ e delle temperature del suolo (10 cm di profondità) avvengono in 15 siti selezionati. I valori medi dei flussi di CO₂ di ciascuna campagna sono riportati nel cronogramma di Fig. 112, dove è possibile riconoscere due periodi: a) il primo, dal 1998 all'autunno del 1999, è caratterizzato da un trend crescente del flusso di CO₂ e b) il secondo, dopo l'evento sismico dell'ottobre 1999, caratterizzato da valori mediamente più bassi, le cui oscillazioni abbastanza cicliche, sono imputabili a variazioni dei parametri ambientali. I valori più elevati di flusso di CO₂ sono relativi al periodo che ha preceduto la crisi

¹⁷ A cura di: R. Avino, B. Bocchino, S. Caliro, G. Chiodini, D. Granieri, C. Minopoli, R. Moretti, M. Russo

sismica dell'autunno 1999. Le misure discontinue di flusso di CO₂ effettuate nel 2005, non hanno evidenziato variazioni significative rispetto ai periodi precedenti.

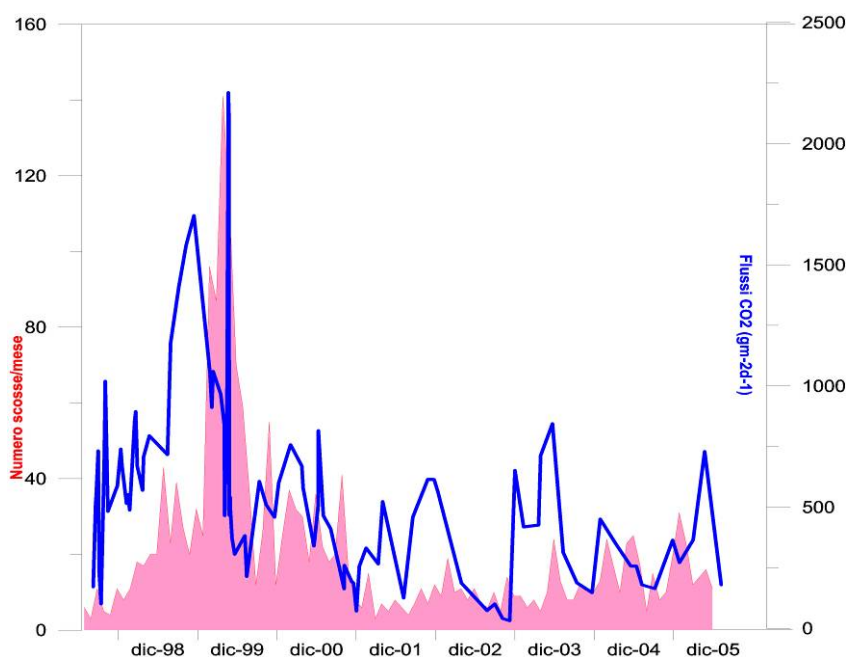


Figura 112 - Valori medi del flusso di CO₂ in 15 punti del bordo craterico del Vesuvio, area anemometro (per l'ubicazione esatta del sito vedi i rapporti di sorveglianza 1999). Nel grafico è pure riportato il numero di scosse mensili.

Stazioni in continuo: ubicazione, sensoristica e risultati

Il monitoraggio in continuo è stato effettuato mediante stazioni automatiche poste nell'area craterica del Vesuvio (Granieri et al., 2003). Il sistema di monitoraggio geochimico in continuo attualmente comprende una stazione per l'acquisizione dei parametri geochimici, FLXOV4, ed una stazione automatica per la misura dei parametri ambientali, ABC 7030. La FLXOV4, ubicata all'interno del cratere del Vesuvio, è operativa dall'agosto 1999. I parametri più rilevanti acquisiti dalla stazione automatica, ad intervalli di 4 ore, sono: il flusso di CO₂ dal suolo, la pressione barometrica e la temperatura del suolo a circa 20 cm di profondità. La stazione FLXOV4 opera in condizioni estreme sia per la presenza nel suolo di alte temperature e di gas corrosivi, sia per la continua caduta di materiale dalle pareti del cratere del Vesuvio. Inoltre nel periodo invernale (fine dicembre – inizio marzo) la stazione non è attiva per la mancanza di irraggiamento diretto all'interno del cratere del Vesuvio. Un serio danneggiamento alla stazione è occorso nel settembre 2005. Nell'anno 2005 il flusso di CO₂ è stato misurato per un numero limitato di giorni (circa 25). Dai valori registrati appare evidente un picco di degassamento nei mesi gennaio-febbraio 2005 (valori compresi tra 5000 e 10000 gm-2d-1). I pochi valori registrati in maggio e settembre 2005 confermano un diminuzione del flusso di CO₂ sino a valori prossimi a quello di "background" locale (1500-2000 gm-2d-1). La

temperatura del suolo, riportata nella Fig. 113, è stata registrata nel 2005 in un sito diverso (sito II) di quello monitorato fino a settembre 2003 (sito I). Il sensore di temperatura ha presentato anomalie di funzionamento nel marzo 2005.

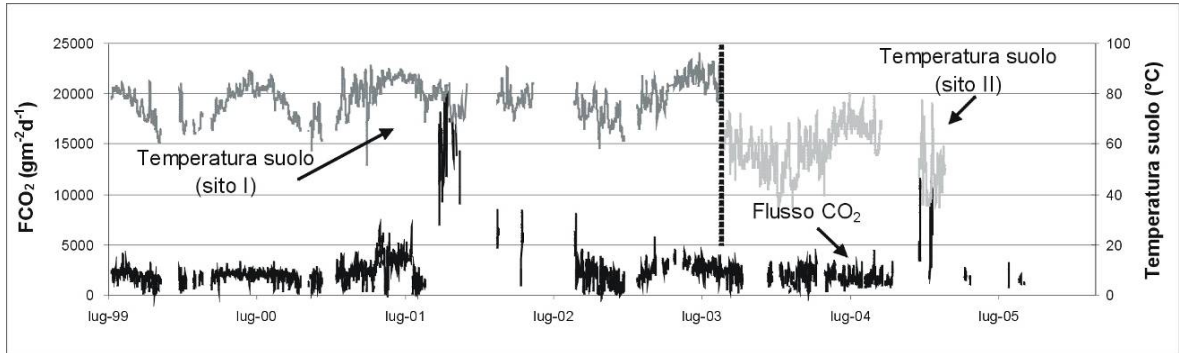


Figura 113 - Flusso di CO₂ e temperatura del suolo a circa 0.2 m di profondità, all'interno del cratere del Vesuvio.

La stazione meteorologica ABC 7030, ubicata sul bordo occidentale del Vesuvio (Zona: 33T, 4519335N- 451387E, coordinate UTM ED50), è stata reinstallata nel maggio 2005 dopo una completa revisione in seguito al danneggiamento del 16 settembre 2004 dovuto ad una scarica elettrica atmosferica. La stazione meteorologica ha funzionato fino a ottobre 2005, quando si è verificato un nuovo problema che ne ha compromesso l'operatività. In fig. 114 si riportano i cronogrammi della temperatura del suolo e di alcuni parametri atmosferici registrati alla stazione.

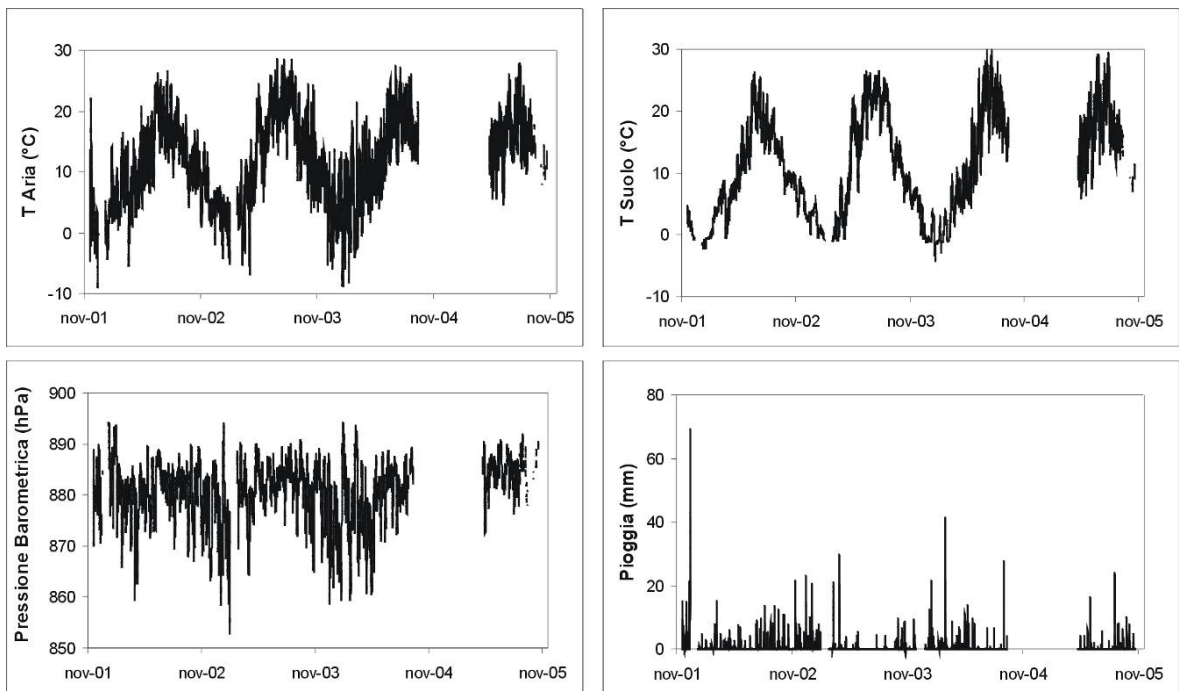


Figura 114 – Parametri ambientali registrati alla stazione ABC 7030, con frequenza oraria. La stazione è stata danneggiata nel settembre 2004 e nell'ottobre 2005 da scariche elettriche atmosferiche.

Composizione chimica delle fumarole del Vesuvio

Nel corso del 2005 sono state eseguite n. 4 campagne di campionamento delle fumarole interne al cratere vesuviano (tabella 28) e 4 campagne di campionamento della fumarola B1 del bordo cratere.

Una dettagliata descrizione del modello geochimico interpretativo delle fumarole del Vesuvio è riportata in Chiodini et al. (2001) e riassunta nei precedenti rapporti.

Nei precedenti rapporti di sorveglianza sono state segnalate variazioni composizionali delle fumarole interne al cratere: aumento del rapporto He/CO₂ e della pCO₂ stimata (sulla base di geoindicatori gassosi per una brine NaCl 3M) e contemporanea diminuzione dei rapporti H₂/CO₂ e CH₄/CO₂ nell'autunno 2001 (vedi rapporto finale 2001).

Le variazioni riscontrate nel 2001 ed il contemporaneo aumento del flusso di CO₂ registrato alla stazione FLXOV4 (fig. 115), hanno suggerito che le variazioni osservate sono state causate da un aumento dell'input di gas profondo, forse favorito dall'evento sismico dell'Ottobre 1999.

Durante il 2005 i valori stimati di pCO₂, rispetto ai periodi precedenti, non hanno mostrato variazioni significative (fig. 115). Nello stesso periodo i rapporti CH₄/CO₂, He/CO₂ e H₂/CO₂ (fig. 116) hanno ancora mostrato un'evoluzione verso valori simili a quelli registrati precedentemente all'evento sismico del 1999.

Tabella 28 - Analisi chimica dei campioni della fumarola FC2 del fondo del cratere del Vesuvio nel 1° semestre 2005 (le analisi sono espresse in µmol/mol).

Fumarole	Data	T°C	H ₂ O µm/m	CO ₂ µm/m	H ₂ S µm/m	Ar µm/m	O ₂ µm/m	N ₂ µm/m	CH ₄ µm/m	H ₂ µm/m	He µm/m	CO µm/m
FC2	15/01/2005	94.2	909349	89272	335.6	0.370	0.012	137.9	50.6	854.7	0.580	38.441
FC2	27/04/2005	94.5	931934	66979	251.7	0.534	0.061	110.1	37.6	687.1	0.416	25.757
FC2	04/08/2005	nd	928586	70298	272.7	0.677	0.022	117.6	34.8	690.5	0.374	25.044
FC2	29/09/2005	94.5	926570	72383	258.8	0.419	0.083	105.2	36.9	645.6	0.456	nd

Conclusioni

Nel corso del 2005 è continuato il monitoraggio del flusso di CO₂ e della temperatura del suolo all'interno del cratere vesuviano. Il flusso di CO₂ alla stazione automatica FLXOV4 è stato misurato solo per brevi periodi a causa di problemi occorsi alla stazione. La stazione meteorologica, ubicata sul bordo occidentale del cratere, colpita da scarica elettrica atmosferica nel settembre 2004 è stata reinstallata nel maggio 2005, ma nuovamente danneggiata ad ottobre 2005. Le misure discontinue di flusso di CO₂ effettuate nel 2005, hanno evidenziato un picco di degassamento nel periodo gennaio-febbraio 2005.

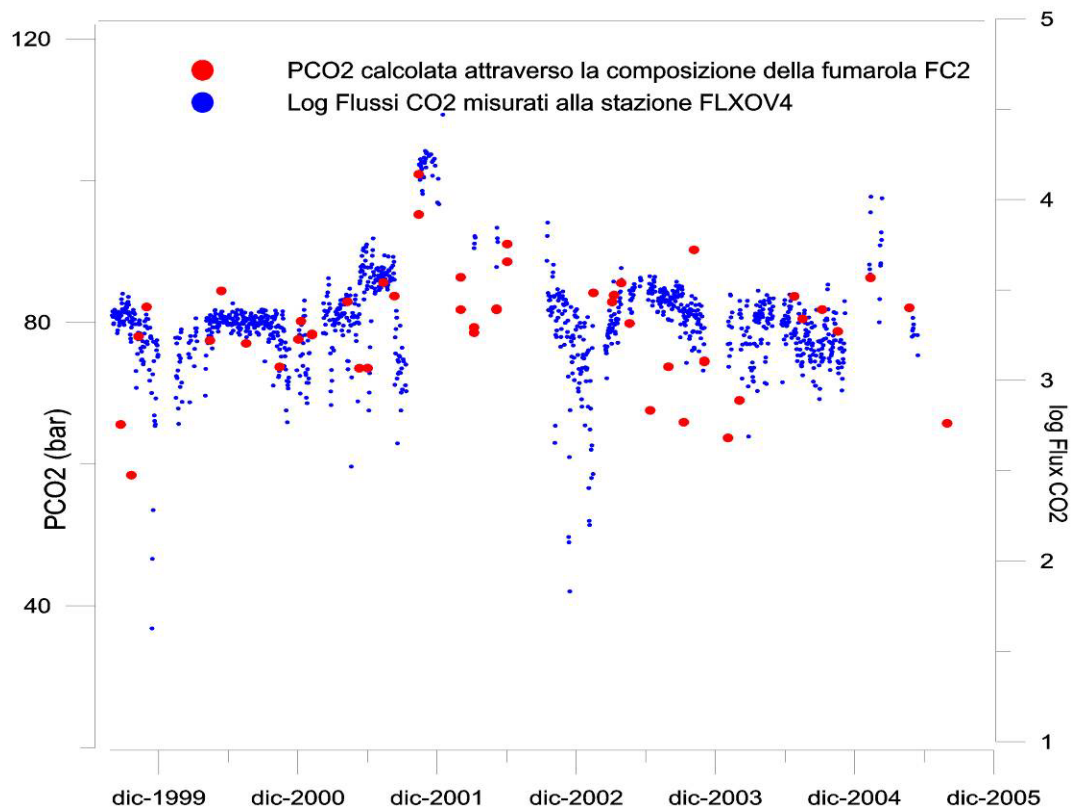


Figura 115 – pCO₂ stimata sulla base dei gas emessi dalla fumarola FC2 (brine NaCl 3M) e flusso di CO₂ alla stazione FLXOV4 (1998-2005).

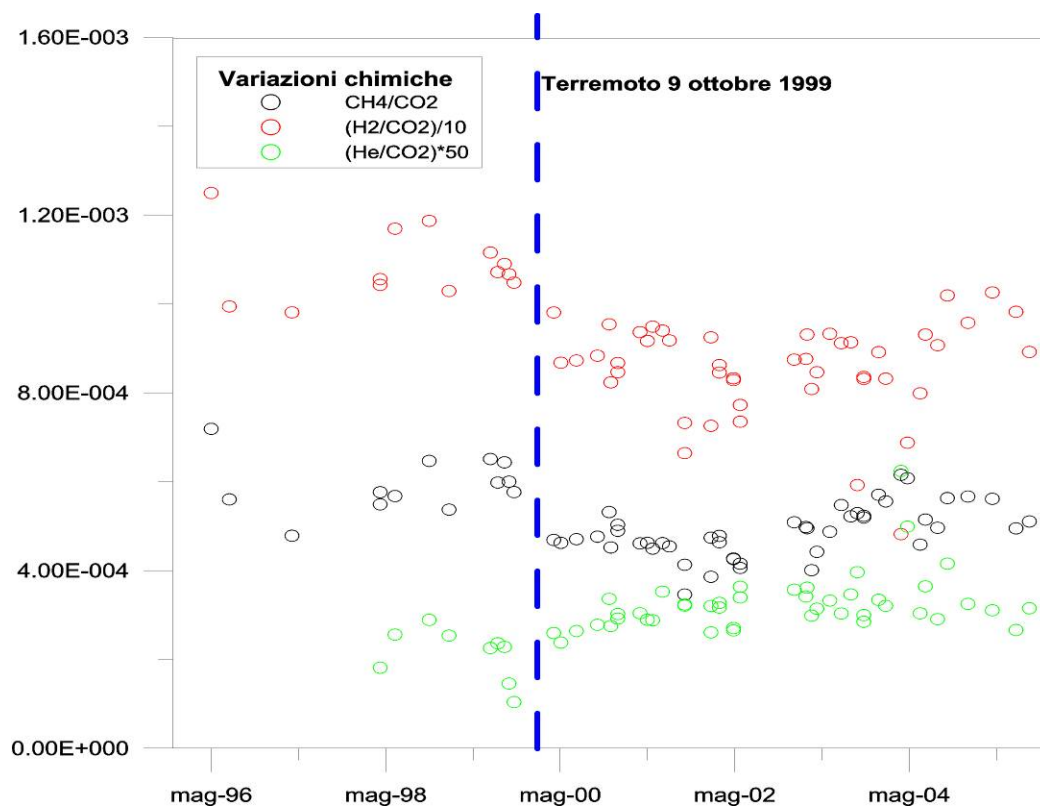


Figura 116 - Variazioni composizionali della fumarola FC2 nel periodo 1996-2005.

Nel periodo di interesse i parametri chimici delle fumarole e la $p\text{CO}_2$ stimata non hanno mostrato variazioni significative rispetto al periodo precedente. I valori dei rapporti H_2/CO_2 , CH_4/CO_2 e He/CO_2 , che avevano mostrato a partire dall'ottobre 1999 variazioni imputabili ad un aumento dell'input di gas profondo, si stanno lentamente riportando verso valori caratteristici del periodo precedente l'ottobre 1999.

Bibliografia

- Caliro S., Chiodini G., Avino R., Cardellini C. and Frondini F. (2005) Volcanic degassing at Somma-Vesuvio (Italy) inferred by chemical and isotopic signatures of groundwater. *Applied Geochemistry* 20/6, 1060-1076. doi:10.1016/j.apgeochem.2005.02.002
- Frondini F., Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Granieri D. and Ventura G. (2004) Diffuse CO_2 soil degassing at Vesuvio, Italy. *Bulletin of Volcanology* 66: 642-651 doi:10.1007/s00445-004-0346-x
- Chiodini G., Marini L., and Russo M. (2001) Geochemical evidence for the existence of high-temperature hydrothermal brines at Vesuvio Volcano, Italy. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65(13), 2129-2147.
- Chiodini G., D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, A. Costa, C. Werner (2005), Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems, *J. Geophys. Res.*, 110, B08204, doi:10.1029/2004JB003542.
- Granieri D., Chiodini G., Marzocchi W., Avino R. (2003) Continuous monitoring of CO_2 soil diffuse degassing at Phlegraean Fields (Italy): influence of environmental and volcanic parameters. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 212: 167-179.
- Quarenì F., Moretti R., Piochi M., Chiodini G. (2005) Modeling of the thermal state of Mt. Vesuvius from 1631 AD to present and the role of CO_2 degassing on the volcanic conduit closure after the 1944 AD eruption. Revised version submitted to *Journal of Geophysical Research B*.

SORVEGLIANZA GEOCHIMICA AI CAMPI FLEGREI¹⁸

La sorveglianza geochimica dell'area flegrea svolta nel 2005 dall'Unità Funzionale di Geochimica dei Fluidi istituita presso l'Osservatorio Vesuviano, ha riguardato il monitoraggio continuo e discontinuo dell'area craterica della Solfatara di Pozzuoli e dei Pisciarelli di Agnano:

- Il monitoraggio in continuo è stato effettuato mediante stazioni automatiche poste all'interno del cratere della Solfatara (Granieri et al., 2003). Queste stazioni permettono: la misura dei flussi di CO_2 dal suolo (stazione FLXOV1); l'acquisizione di parametri ambientali (FLXOV1 e ABC 7203); la misura del flusso termico e del gradiente di temperatura nel suolo (ABC 7030); la misura del flusso di CO_2 dal suolo mediante misure di concentrazione in aria e dei parametri atmosferici (Eddy

¹⁸ A cura di: R. Avino, S. Caliro, G. Chiodini, D. Granieri, C. Minopoli, R. Moretti, M. Russo

Correlation); la valutazione dello stato termico del suolo mediante sistemi di monitoraggio ad immagine, tarati sulle lunghezze d'onda dell'IR termico (stazione RMS). Nell'ottobre 2005 è stata installata la stazione geochimica FLXOV3 per la misura dei flussi di CO₂ dal suolo nell'area dei Pisciarelli (Agnano, Pozzuoli).

- Il monitoraggio discontinuo ha riguardato campagne specifiche di misura dei flussi di CO₂ della Solfatara e di Pisciarelli, campagne di campionamento dei fluidi delle fumarole della Solfatara di Pozzuoli (Bocca Grande e Bocca Nuova) e dei Pisciarelli di Agnano.

Monitoraggio discontinuo dei flussi di CO₂

Il monitoraggio discontinuo dei flussi di CO₂ nel periodo di riferimento è stato eseguito attraverso 8 campagne (indagini veloci) consistenti nella misura del flusso di CO₂ e della temperatura del suolo, a 10 cm di profondità, in 71 punti fissi ubicati all'interno del cratere della Solfatara (l'ubicazione dei punti di misura è riportata nel rapporto 2004).

Le misure di flusso di CO₂ sono state eseguite con il metodo della camera d'accumulo, già descritto nei precedenti rapporti di sorveglianza.

Nel 2005 i valori medi di flusso di CO₂ dal suolo sono risultati relativamente bassi in linea con l'anno precedente.

Si nota tuttavia un trend crescente dopo la diminuzione registrata nell'autunno 2004. In figura 117 sono riportati i valori medi della temperatura al suolo e del flusso di CO₂ dei 30 punti monitorati a partire dal 1998.

Inoltre, nel 2005 sono state eseguite 4 campagne di misura dei flussi di CO₂ e temperatura del suolo alla profondità di 10 cm in 28 punti fissi ubicati nell'area di Pisciarelli.

I valori misurati di flusso di CO₂ (~ 5500 g m⁻² d⁻¹) e della temperatura al suolo (media ~55°C) non hanno mostrato variazioni significative nel periodo considerato (fig. 118).

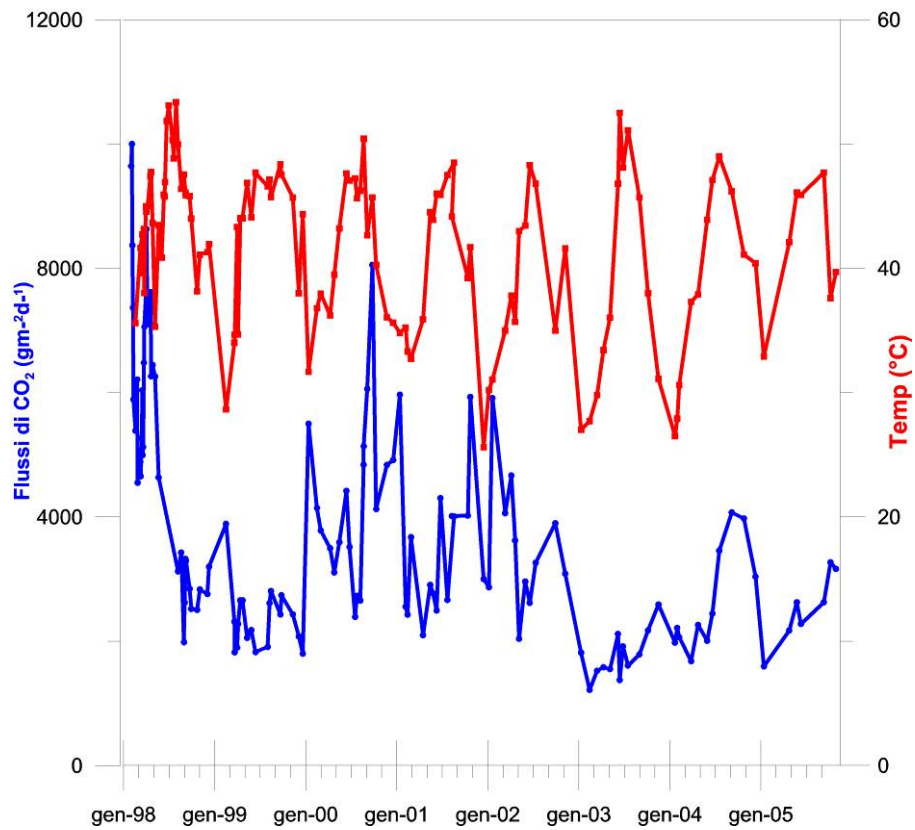


Figura 117 - Media delle temperature al suolo ad una profondità di 10 cm (linea rossa) e media delle misure di flusso di CO₂ (linea blu) per le 145 campagne.

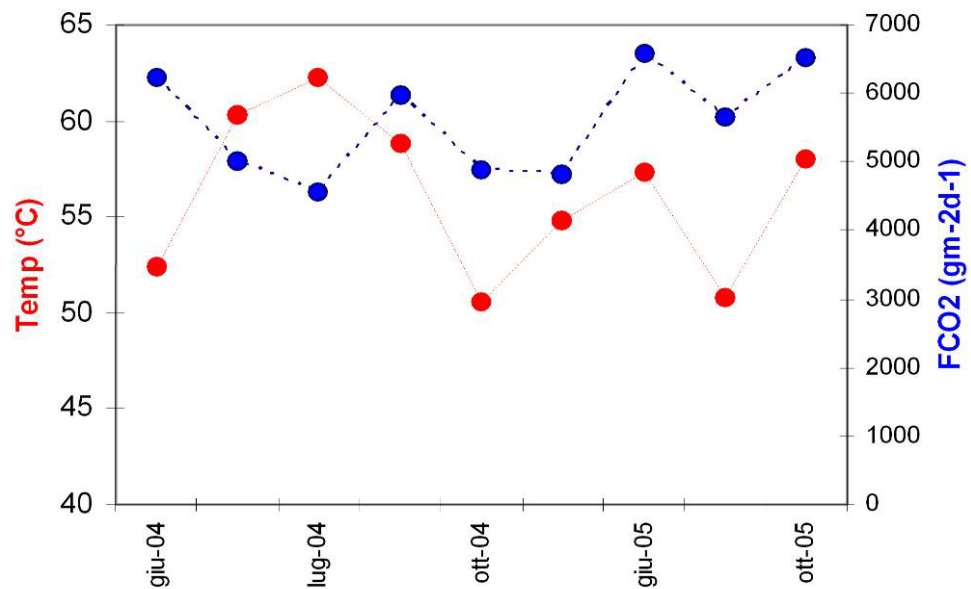


Figura 118 - Media delle temperature al suolo ad una profondità di 10 cm (linea rossa) e media delle misure di flusso di CO₂ (linea blu) per ognuna delle 9 campagne di misura effettuate nell'area di Pisciarelli.

Indagine di dettaglio

A maggio 2005 ed a settembre 2005 sono state effettuate due campagne di misura del flusso di CO₂ e della temperatura del suolo, a 10 cm di profondità, in circa 220 punti ubicati all'interno del cratere della Solfatara secondo una maglia regolare di 20 metri. In figura 119 è riportato il cronogramma di tutte le campagne effettuate a partire dal 1997. Nelle tre ultime campagne l'output totale di CO₂ dall'area indagata è risultato compreso fra 200 e 300 ton/g. Si ricorda che l'intera area di degassamento diffuso della Solfatara emette una quantità di CO₂ dell'ordine delle 1000-1500 ton/g (Chiodini et al., 2001, 2003; Todesco et al., 2003).

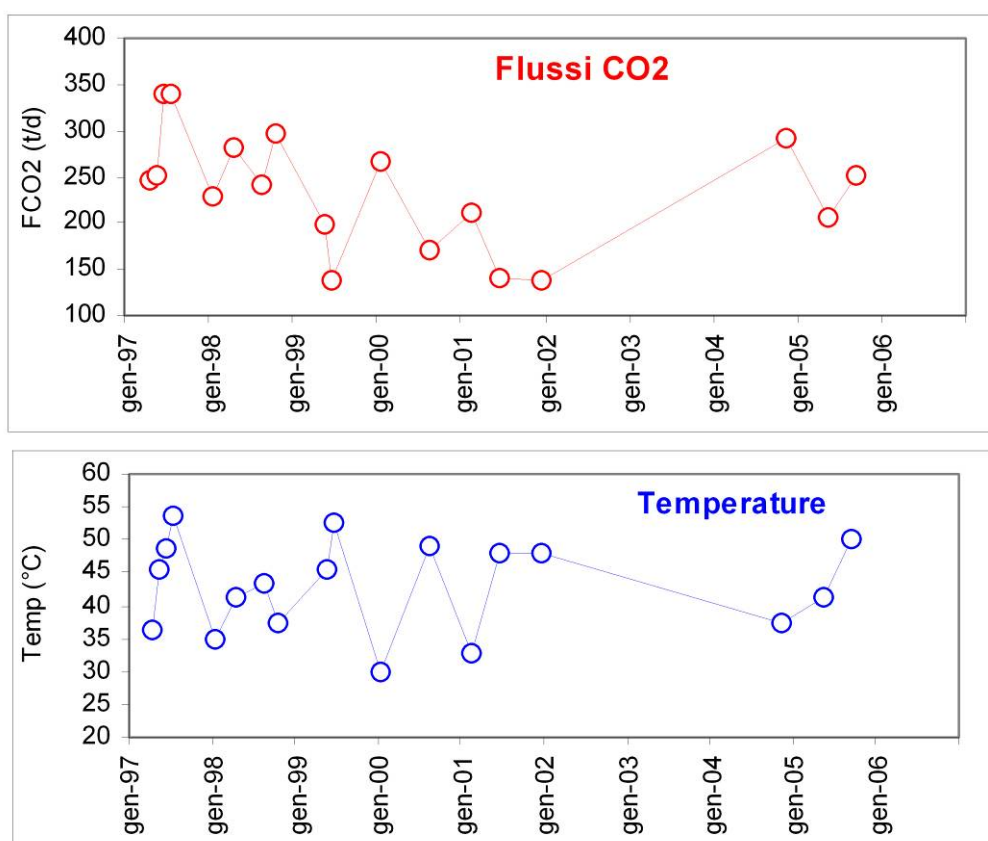


Figura 119

Stazioni in continuo: ubicazione e sensoristica

Nell'anno 2005 è continuato il monitoraggio geochimico in continuo tramite stazioni automatiche. All'interno del cratere della Solfatara è installata dal novembre 1997 la stazione automatica geochimica FLXOV1 che acquisisce il flusso diffuso di CO₂ dal suolo ed i principali parametri ambientali che influenzano il flusso stesso (temperatura del suolo e dell'aria, pressione atmosferica, umidità del suolo e dell'aria, intensità del vento; Granieri et al., 2003). L'acquisizione dei parametri atmosferici è completata dalla stazione meteorologica ABC 7203 che misura, in automatico, anche la piovosità. La stazione ABC 7031, ubicata in prossimità delle

due stazioni precedenti, misura ad intervalli orari la temperatura del suolo a tre differenti profondità (0.1, 0.2 e 0.3 m). Nell'anno 2004, all'interno del cratere della Solfatara, ha preso avvio un test per la misura del flusso di CO₂ dal suolo basato sulla tecnica micrometeorologica Eddy Correlation (Werner et al., 2003; Werner et al., 2006). Una stazione dedicata (stazione EC, già descritta nel rapporto precedente) è stata installata nel giugno 2004 e, durante l'anno 2005, è continuata l'acquisizione delle misure. Nell'ottobre 2005 è stata installata la stazione geochimica FLXOV3 nell'area dei Pisciarelli (Agnano, Pozzuoli). La stazione ha la stessa architettura della FLXOV1 e misura, in automatico, il flusso di CO₂ dal suolo, la temperatura del suolo e la pressione barometrica. Essa è stata operativa, in questa stessa area ma in due distinti siti, nel 2002 e nel 2003, tuttavia l'ambiente severo (alta concentrazione di gas acidi, alte temperature) ne rende difficoltoso il funzionamento per lunghi periodi.

Risultati del monitoraggio in continuo

In Fig. 120 è riportato l'andamento del flusso di CO₂ nel sito FLXOV1, mediato su intervalli mensili ed annui. Il degassamento diffuso di CO₂ nel sito appare all'incirca costante sin dal 2001, in contrasto con il periodo 1998-2001 segnato da un marcato trend decrescente correlato al processo di subsidenza (Granieri et al., 2003). L'andamento medio mensile ha evidenziato variazioni stagionali già riconosciute negli anni precedenti con valori più elevati di flusso in concomitanza della stagione umida (inverno - autunno). I picchi positivi di alta frequenza (Fig. 121) sono tutti correlati con gli eventi piovosi dell'area flegrea che provocano un aumento nel contenuto d'acqua nel suolo e variazioni positive del flusso di CO₂ nel sito di monitoraggio (Granieri et al., 2003).

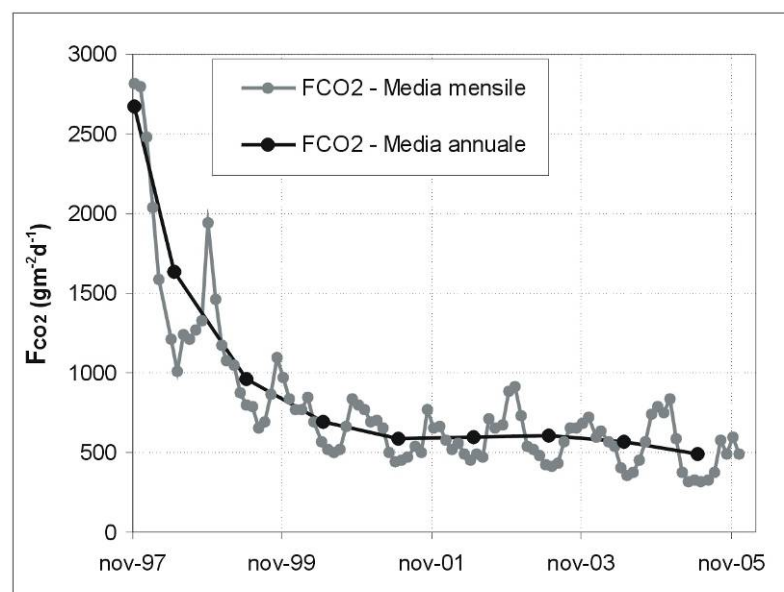


Figura 120 - Flusso medio annuo (linea nera) e mensile (linea grigia) alla stazione FLXOV1. Il dato relativo all'anno 1997 è riferito al periodo novembre – dicembre.

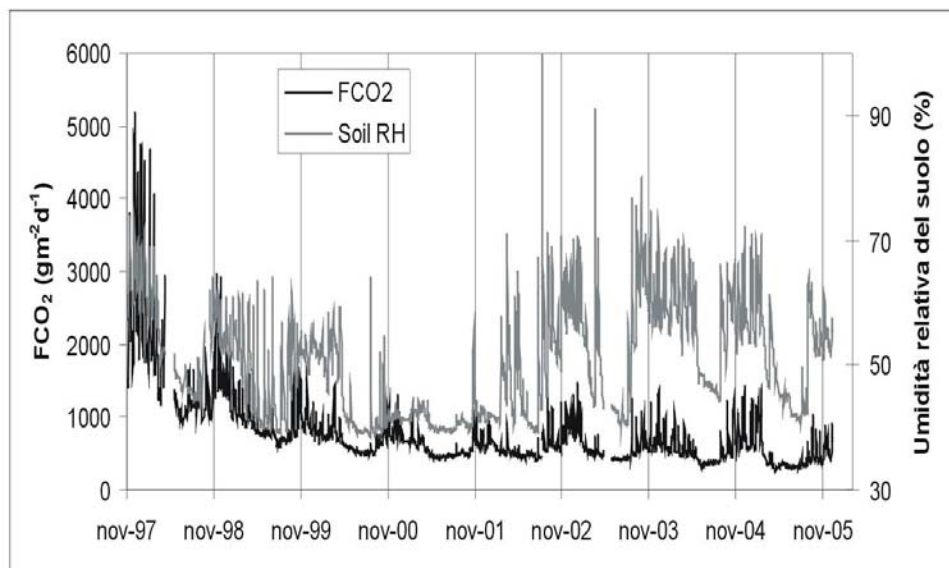


Figura 121 - Flussi di CO₂ ed umidità del suolo alla stazione automatica FLXOV1, registrati ogni 2 ore, a partire dal novembre 1997.

La stazione meteorologica ABC 7203 completa il set di dati ambientali (atmosferici e del suolo) relativi al cratere della Solfatara. La stazione ABC 7031 è posta in prossimità della stazione FLXOV1. In Fig. 122 sono riportati i cronogrammi delle temperature del suolo medie giornaliere registrate a tre diverse profondità. I valori di temperatura del suolo mostrano un generale andamento sinusoidale per effetto delle variazioni termiche stagionali. A profondità superiori a 0.2 m, la componente “stazionaria” della temperatura del suolo, dovuta agli effetti endogeni, è dominante rispetto alle variazioni di temperatura esterna, dovute all’irraggiamento solare, al vento, etc (Chiodini et al., 2005).

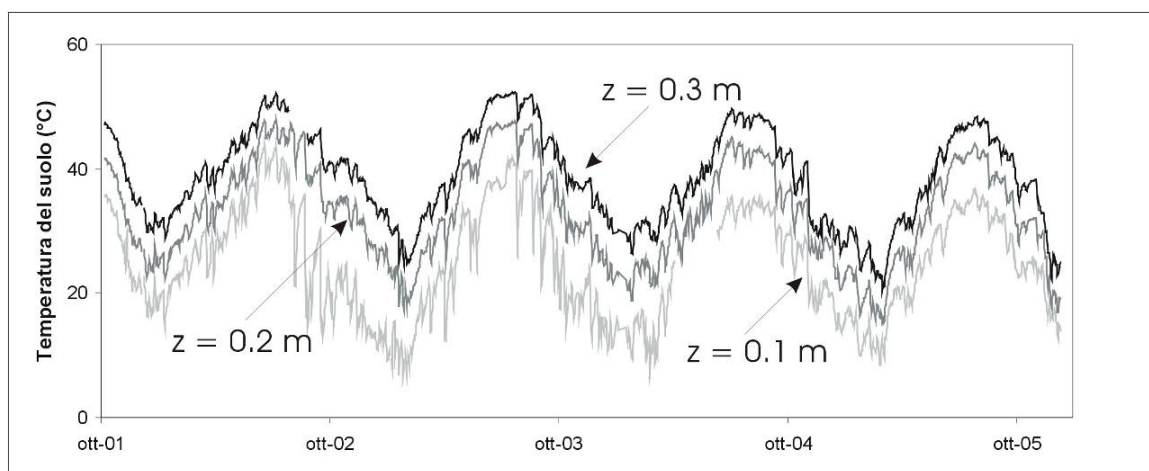


Figura 122 - Cronogramma delle temperature del suolo a diversa profondità, z. I valori sono acquisiti ad intervalli orari ma nel grafico sono riportate le medie giornaliere. Il sensore posto a z=0.1 m è stato sostituito nel giugno 2004 dopo circa due mesi di malfunzionamento.

Le registrazioni di temperatura a differenti profondità consentono di calcolare il gradiente termico nei suoli caldi della Solfatara. La misura di temperatura eseguita a 0.1 m risente fortemente delle variazioni dovute agli effetti atmosferici, in particolare degli effetti delle piogge e del vento (picchi negativi di più alta frequenza). Gli stessi effetti, pur se ancora presenti, appaiono attutiti alle profondità di 0.2 e 0.3 m. Nella tabella sottostante è riportato il valore medio e la standard deviation del gradiente 0.2-0.3 m, mediato su intervalli annuali:

Tabella 29 – Valori medi annuali e standard deviation del gradiente termico tra 0.2-0.3m.

Anno	Giorni di operatività	Media (°C/m)	St. Dev.
2002	365	58.6	9.1
2003	365	60.7	10.8
2004	348	57.1	11.9
2005	349	54.4	10.4

Il valore medio del gradiente termico tra 0.2 e 0.3 m, per l'anno 2005, è di 54.4 ± 10.4 °C/m che corrisponde ad un flusso termico conduttivo di circa 55 Wm^{-2} , considerando un valore appropriato di conducibilità termica del suolo ($\approx 1 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$, per i suoli caldi della Solfatara). Il valore medio del flusso termico, misurato con un sensore specifico (descritto nei precedenti rapporti) relativo al periodo gennaio-maggio 2005 è di $46 \pm 9 \text{ Wm}^{-2}$. Il sensore di flusso termico ha presentato anomalie di funzionamento dal maggio 2005 e attualmente non è operativo. In ogni caso i due valori, ottenuti con sistemi indipendenti, sono simili fra loro e inferiori al flusso medio di calore che interessa l'area anomala della Solfatara ($\sim 160 \text{ Wm}^{-2}$; Chiodini et al., 2005).

In data 10 ottobre 2005 è stata installata la stazione geochimica FLXOV3, nell'area dei Pisciarelli. La stazione ha subito un intervento completo di manutenzione dopo periodi discontinui di funzionamento nella stessa area negli anni 2002 (sito I) e 2003 (sito II). Attualmente è ubicata nello stesso sito in cui era stata posta nel 2003 (sito II). Nella tabella 30 si riportano i valori medi di flusso di CO_2 registrati alla stazione.

Tabella 30 – Flusso di CO_2 registrato alla stazione FLXOV3.

Anno	Giorni di operatività	FCO_2 ($\text{gm}^{-2}\text{d}^{-1}$)
2002	265	9000 (sito I)
2003	167	5900 (sito II)
2005	103	11250 (sito II)

Rispetto all'anno 2003, il primo periodo di funzionamento (ottobre-dicembre 2005) indica un raddoppiamento del valore di flusso di CO₂ nell'area dei Pisciarelli.

La Stazione EC, che ricordiamo è stata installata durante il 2004, comprende un rilevatore combinato all'infrarosso open-path per la concentrazione di CO₂ ed H₂O in aria, un anemometro sonico per la misura delle tre componenti della velocità del vento (anemometro trisonico), due sensori dedicati per la misura della pressione atmosferica e della temperatura dell'aria ed un datalogger per la memorizzazione locale ed il pre-processing dei dati acquisiti. La stazione permette una misura areale sia del flusso di CO₂ sia del flusso di calore emesso dai suoli caldi della Solfatara (Werner et al., 2006)

In Tabella 31 sono riportati alcuni dati statistici dei valori acquisiti dalla stazione EC nel 2005. F_{CO2} e F_{H2O} sono i flussi di CO₂ ed H₂O rispettivamente, H ed H_L sono il flusso di calore sensibile (scambiato tra il suolo e l'atmosfera) ed il calore latente di vaporizzazione rispettivamente. I valori sono mediati su intervalli di 10 minuti (ognuno comprendente 6000 misure) e, di essi, solo quelli caratterizzati da condizioni atmosferiche idonee (turbolenza dell'aria, intensità e direzione del vento) sono stati presi in considerazione per il calcolo del flusso di gas e di calore (definiti intervalli validi in tabella 31)

Tabella 31 – Dati statistici relativi al test di EC alla Solfatara per l'anno 2005.

N° misure	Intervalli 10'	Intervalli validi	F _{CO2} (gm ⁻² d ⁻¹)	F _{H2O} (gm ⁻² d ⁻¹)	H (Wm ⁻²)	H _L (Wm ⁻²)
23868000	3978	1413	1090	2680	77	70

Il flusso di H₂O, il flusso del calore latente di vaporizzazione (H_L) ed il flusso di calore sensibile (H) risentono fortemente dell'irraggiamento solare, mentre il flusso di CO₂ appare scarsamente dipendente dalle condizioni termiche dell'aria.

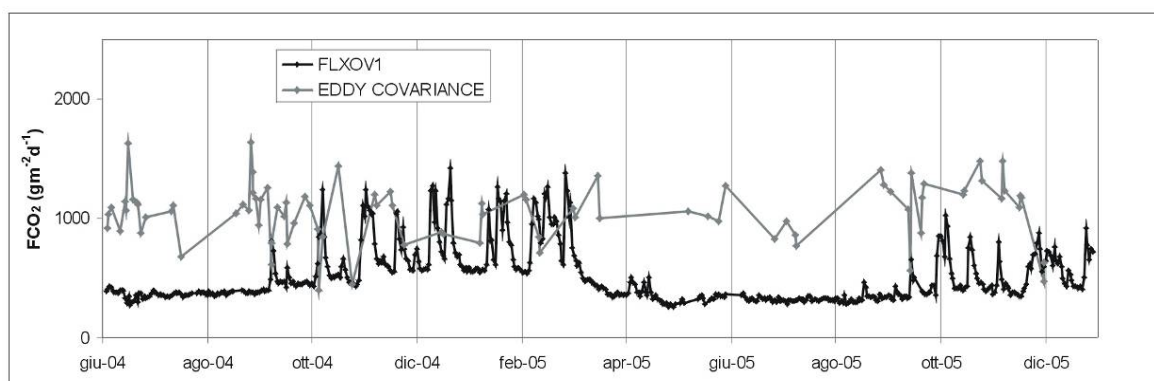


Figura 123 - Flusso di anidride carbonica (valori giornalieri medi) alle stazioni Eddy-Covariance e FLXOV1 della Solfatara.

Nell'anno 2005 il flusso di CO₂ misurato alla stazione geochimica FLXOV1 ha fornito un valore medio pari a circa la metà ($F_{CO_2}=500 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$) di quello misurato alla stazione EC ($F_{CO_2}=1090 \text{ gm}^{-2}\text{d}^{-1}$) (Fig. 123). La cosa non sorprende se si considera la diversa localizzazione delle due stazioni ed il diverso significato delle due misure: l'una puntuale (FLXOV1) e l'altra areale (EC), ossia integrabile su una vasta area comprendente anche la regione della Fangaia che è un sito di notevole emissione di gas (Werner et al., 2003; 2006). Analogamente il flusso di calore sensibile misurato alla stazione EC (77 Wm^{-2}) è risultato maggiore di circa il 40% di quello calcolato dalle misure di gradiente termico nel suolo alla stazione ABC 7031 (55 Wm^{-2}).

Indagini nell'infrarosso termico

In stretta collaborazione con il Laboratorio di Geomatica e Cartografia, a partire dall'anno 2004, sono state realizzate ed installate due stazioni remote automatiche di monitoraggio ad immagine, tarate sulle lunghezze d'onda dell'IR termico; la prima installata nell'area craterica della Solfatara la seconda sul bordo del Vesuvio (Progetto PON-MIUR TIIMNET). La descrizione delle stazioni e la loro ubicazione è riportata nel rapporto di sorveglianza 2004. Allo stato attuale è in fase di test un software dedicato all'interpretazione automatica delle immagini IR, al filtraggio dei dati dall'influenza dei parametri ambientali (temperatura dell'aria, vento, eventi piovosi, ecc.) ed all'estrazione dei parametri utili alla sorveglianza vulcanica.

Composizione chimica delle fumarole dell'area flegrea

Nel precedente rapporto di sorveglianza è riportata la descrizione dei modelli geochimici di riferimento per il sistema idrotermale della Solfatara (Cioni et al., 1984; Chiodini and Marini, 1998; Chiodini et al., 2001; Caliro et al., in preparazione), necessari per l'interpretazione dei dati di monitoraggio.

Durante il 2005 sono stati eseguiti 14 campionamenti della fumarola Bocca Grande (BG), 11 della fumarola Bocca Nuova (BN) alla Solfatara di Pozzuoli e 6 campionamenti della fumarola dei Pisciarelli di Agnano (i dati sono riportati in tabella 30). In tutte le fumarole controllate non sono state osservate variazioni di rilievo nella loro composizione chimica se si esclude un trend generale d'aumento dei rapporti CO₂/H₂O e He/CO₂, trend iniziato con la debole crisi del 2000 (Fig. 124).

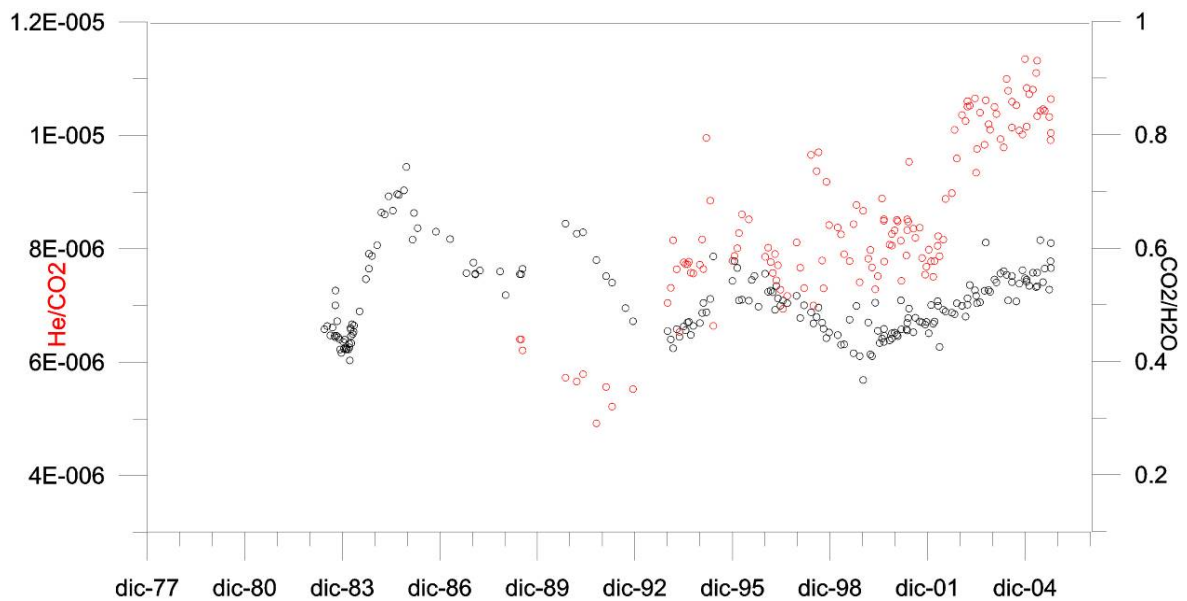


Fig. 124

Conclusioni

Il sistema di monitoraggio geochimico in continuo comprende allo stato attuale una stazione per l'acquisizione di parametri geochimici (FLXOV1), una stazione automatica per la misura delle temperature e del flusso termico del suolo, ABC 7031, una stazione meteorologica automatica, ABC 7203. Recentemente è stata installata, nel cratere della Solfatara, una stazione per monitorare gli scambi di CO₂ ed H₂O tra il suolo e l'ambiente atmosferico secondo la metodologia di eddy covariance (EC). I segnali delle stazioni, ad esclusione della stazione EC, sono trasmessi al Centro di Ricezione ed Elaborazione Dati (CRED) situato nella Sala Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano.

Il valore di flusso di CO₂ dal suolo, registrato alla stazione FLXOV1 nell'anno 2005, è leggermente inferiore rispetto a quello registrato nel 2004 ma conferma un generale andamento costante per il periodo 2001-2005. Evidenti sono le variazioni stagionali già riconosciute negli anni precedenti con valori più elevati di flusso in concomitanza della stagione umida (inverno - autunno) e valori più bassi nella stagione secca. I dati della stazione meteorologica ABC 7203 completano il set di dati ambientali (atmosferici e del suolo) relativi al cratere della Solfatara. Il valore di flusso termico conduttivo nel sito FLXOV1, calcolato sulla base delle temperature del suolo misurate a differenti profondità dalla stazione automatica ABC 7031, non ha mostrato variazioni significative nel 2005.

Analogamente le composizioni chimiche delle fumarole nell'area della Solfatara non hanno mostrato variazioni significative a breve termine. E' tuttavia in corso un approfondito trattamento dei dati alla luce di nuovo modello geochimico concettuale di riferimento (in elaborazione) e delle simulazioni fisico-numeriche del sistema idrotermale della Solfatara.

Tabella 32 - Dati della composizione chimica delle fumarole in $\mu\text{mol/mol}$ monitorate nell'area Flegrea durante il 2005.

Fumarola	data	T°C	H ₂ O $\mu\text{m/m}$	CO ₂ $\mu\text{m/m}$	H ₂ S $\mu\text{m/m}$	Ar $\mu\text{m/m}$	O ₂ $\mu\text{m/m}$	N ₂ $\mu\text{m/m}$	CH ₄ $\mu\text{m/m}$	H ₂ $\mu\text{m/m}$	He $\mu\text{m/m}$	CO $\mu\text{m/m}$
BG	11/01/05	163.3	816058	181698	1337	0.437	0.110	485	20.3	400	1.845	0.548
BG	11/01/05	163.3	816959	180736	1345	0.614	0.054	513	21.3	423	1.959	0.545
BG	09/02/05	160.0	819004	178730	1306	0.567	0.068	511	21.5	424	1.917	0.567
BG	22/03/05	159.8	812624	184994	1378	0.698	0.100	524	22.5	455	1.999	0.591
BG	28/04/05	156.0	819546	178073	1366	0.554	0.084	526	21.9	464	1.977	0.567
BG	09/05/05		812560	185016	1440	0.364	0.143	506	21.5	453	1.913	0.570
BG	09/05/05		819086	178539	1378	0.444	1.401	513	20.4	460	2.021	0.551
BG	13/06/05	161.2	797380	200249	1312	0.510	0.042	535	21.6	500	2.088	0.739
BG	13/07/05	159.4	817163	180466	1405	0.462	0.569	488	19.7	455	1.888	0.550
BG	02/08/05		810542	186955	1470	1.012	0.032	534	19.9	476	1.951	0.627
BG	22/09/05		820779	176855	1420	0.590	0.046	494	18.3	431	1.826	0.604
BG	06/10/05	160.5	807076	190429	1472	0.698	0.115	532	19.4	468	1.888	0.624
BG	10/10/05	152.4	798538	198876	1535	0.751	7.907	555	19.6	466	1.997	0.625
BG	10/10/05	152.4	810316	187194	1444	0.718	7.472	542	19.2	475	1.992	0.588
BN	11/01/05	148.2	831714	166441	941	0.969	0.100	491.08	16.44	393.0	1.78	0.541
BN	09/02/05	148.0	824726	173346	978	0.548	0.051	508.16	18.01	421.4	1.82	0.597
BN	22/03/05	142.3	826367	171697	1007	0.478	0.112	480.24	17.05	428.8	1.83	0.569
BN	28/04/05	139.9	825940	172108	995	0.521	0.054	493.04	17.98	443.5	1.76	0.578
BN	09/05/05	147.0	823763	174223	1042	0.512	0.706	499.29	17.05	452.8	1.85	0.585
BN	09/05/05	147.0	824833	173184	1035	0.376	0.482	489.10	17.04	439.0	1.72	0.581
BN	13/06/05	145.4	818310	179721	995	0.433	0.028	493.92	16.53	461.7	1.81	0.721
BN	13/07/05	138.5	820124	177889	1070	0.562	1.996	463.68	14.98	435.2	1.77	0.601
BN	02/08/05		820530	177451	1036	0.784	0.032	503	15.8	461	1.797	0.692
BN	22/09/05	145.0	821012	177002	1071	0.531	0.036	476	14.7	422	1.745	0.667
BN	10/10/05	135.2	834639	163484	962	0.444	3.118	474	15.0	420	1.724	0.567
Pisciarelli	22/03/05	94.5	849648	149082	585	0.602	0.065	425	13.5	244	1.60	0.118
Pisciarelli	28/04/05	90.5	853377	145345	595	0.544	0.057	427	13.9	239	1.58	0.064
Pisciarelli	13/06/05	98.8	850069	148808	468	0.408	0.029	401	13.2	239	1.52	0.100
Pisciarelli	13/07/05	98.5	853301	145568	531	0.450	1.023	370	11.7	216	1.36	0.066
Pisciarelli	02/08/05	96.0	860812	137963	559	0.837	0.036	415	12.9	236	1.54	0.076
Pisciarelli	22/09/05		851191	147584	591	0.421	0.033	395	12.8	224	1.444	0.065

Bibliografia

- Chiodini G. and Marini L. (1998) Hydrothermal gas equilibria; the H₂O-H₂ -CO₂ -CO-CH₄ system. *Geochim. Cosmochim. Acta* 62(15), 2673-2687.
- Chiodini G., D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, A. Costa, C. Werner (2005), Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems, *J. Geophys. Res.*, 110, B08204, doi:10.1029/2004JB003542.
- Chiodini G., D. Granieri, R. Avino, S. Caliro, A. Costa, C. Werner (2005), Carbon dioxide diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems, *J. Geophys. Res.*, 110, B08204, doi:10.1029/2004JB003542.
- Chiodini G., Frondini F., Cardellini C., Granieri D., Marini L., and Ventura G. (2001) CO₂ degassing and energy release at Solfatara Volcano, Campi Flegrei, Italy. *J. Geophys. Res.* 106(8), 16,213-16,221.
- Chiodini G., Todesco M., Caliro S., Del Gaudio C., Macedonio G., and Russo M. (2003) Magma degassing as a trigger of bradyseismic events; the case of Phlegraean Fields (Italy). *Geophys. Res. Lett.* 30(8), 4.
- Cioni R., Corazza E., and Marini L. (1984) The gas/steam ratio as indicator of heat transfer at the Solfatara fumaroles, Phlegraean Fields (Italy). *Bull. Volcanol.* 47, 295-302.
- Granieri D., Chiodini G., Marzocchi W., Avino R. (2003). Continuous monitoring of CO₂ soil diffuse degassing at Phlegraean Fields (Italy): influence of environmental and volcanic parameters. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 212: 167-179.
- Todesco M., Chiodini G., and Macedonio G. (2003) Monitoring and modelling hydrothermal fluid emission at La Solfatara (Phlegraean Fields, Italy); an interdisciplinary approach to the study of diffuse degassing. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 125(1-2), 57-79.
- Werner C., G. Chiodini, D. Voigt, S. Caliro, R. Avino, M. Russo, T. Brombach, J. Wyngaard, S. Brantley. (2003) Monitoring volcanic hazard using eddy covariance at Solfatara volcano, Naples, Italy. *Earth and Planetary Science Letters* 210: 561-577
- Werner C., Chiodini G., Granieri D., Caliro S., Avino R., Russo M. (2006) Eddy covariance measurements of geothermal heat flux at Solfatara Volcano, Naples, Italy. *Earth Planet. Sci. Lett.*, (in press)

MONITORAGGIO GEOCHIMICO DEI VULCANI ATTIVI E QUIESCENTI ITALIANI

(a cura dell'INGV - Sezione di Palermo)

PREMESSA

Le attività di monitoraggio dell'attività vulcanica svolte dalla Sezione di Palermo dell'INGV per fini di protezione civile, si esplicano essenzialmente attraverso la costante osservazione dei fluidi naturali quali le acque sotterranee ed i gas in esse disciolti, le acque meteoriche, le emissioni fumaroliche, le manifestazioni gassose diffuse dai suoli (mofete e maccalube), etc. Queste indagini vengono effettuate in modo discreto da personale altamente specializzato mediante prospezioni di misura di parametri geochimici e di campionamento dei fluidi rilasciati o attraverso reti monitoraggio costituite da stazioni dislocate in località remote che effettuano misure ad elevata frequenza ed inviano i dati automaticamente alle sale di monitoraggio dell'Ente. Le reti di monitoraggio automatico gestite dalla Sezione di Palermo dell'INGV sono in costante espansione sia nel numero delle installazioni che nella tipologia dei parametri geochimici monitorati.

Attualmente, la sezione di Palermo dell'INGV effettua attività di sorveglianza nelle aree maggiormente soggette a rischio vulcanico quali le isole di Vulcano, Panarea e Stromboli (Isole Eolie), l'Etna (Sicilia orientale), i Campi Flegrei, Vesuvio e Ischia (Campania), e Pantelleria. In alcune di queste, oltre alle misure discrete che consentono di acquisire mensilmente informazioni su un grande numero di parametri geochimici e di siti, sono state installate reti di monitoraggio automatico in modo da seguire con frequenza molto più elevata la variazione di alcuni parametri di grande importanza ai fini della valutazione delle condizioni di attività del sistema vulcanico monitorato (Vulcano, Stromboli, Etna). In numerose occasioni negli ultimi quindici anni, l'integrazione costante dei dati forniti da entrambe le filosofie di monitoraggio hanno consentito di individuare anomalie nei fluidi naturali riconducibili a fenomeni vulcanici. Di seguito viene riportata una sintesi delle attività di monitoraggio geochimico suddivise per ciascuna area monitorata.

ETNA

Le attività di monitoraggio sono state svolte in accordo ai programmi di sorveglianza previsti per l'anno 2005. Durante il periodo eruttivo (iniziato nel mese di settembre del precedente anno), le indagini discrete sono stata svolte con una frequenza più elevata (in alcuni casi settimanale). Le attività sono sinteticamente elencate nello schema seguente:

- Monitoraggio automatico dei principali parametri chimico-fisici della falda (pH, conducibilità elettrica, temperatura, livello freatico) in 6 siti con trasmissione dati ed in 7 siti con registrazione locale dei dati.
- Monitoraggio discreto del chimismo e della composizione isotopica delle acque di falda attraverso prospezioni periodiche effettuate con frequenza mensile.
- Monitoraggio discreto del flusso diffuso di CO₂ dai suoli in 4 settori dell'edificio etneo (prospezioni mensili su una rete fissa di complessivi 142 punti di misura).
- Monitoraggio discreto del chimismo e della composizione isotopica dei gas emessi in aree periferiche e sommitali del vulcano (frequenza da settimanale a mensile).
- Analisi dei rapporti S/Cl, S/C Cl/F S/Cl nei gas del plume; quando possibile sono stati misurati anche i tenori di CO₂.
- Monitoraggio automatico del flusso di CO₂ emesso dai suoli in 10 siti mediante rete automatica di monitoraggio continuo.
- Sviluppo delle reti di monitoraggio attraverso la progettazione di nuovo hardware.
- Sviluppo di nuovi moduli software per la gestione automatica dei dati nelle sale di monitoraggio geochimico.

Le indagini svolte durante il 2005 hanno messo in evidenza variazioni piuttosto intense che riguardano principalmente i flussi di CO₂ diffusa dai suoli ed i gas del plume. Tali variazioni rispecchiano lo stato di instabilità del sistema vulcanico che ha caratterizzato i primi mesi del 2005.

Le anomalie riguardanti sia i flussi diffusi di CO₂ che i rapporti C/S e S/Cl si esauriscono totalmente con la fine dell'eruzione 2004-2005. Il periodo successivo mostra valori estremamente bassi del regime esalativo che soltanto verso la fine del semestre ritorna ai livelli pre-eruttivi. I valori raggiunti nel mese di giugno rappresentano, probabilmente, il background caratteristico di questi siti durante periodi inter-eruttivi. La riduzione del rapporto C/S conferma la riduzione dell'attività evidenziando una fase esalativa tardiva del magma contenuto nelle porzioni più sommitali dei condotti eruttivi.

La seconda metà del 2005 presenta nuove anomalie geochimiche di una certa importanza riguardo l'attività di questo sistema vulcanico. Variazioni del chimismo (He/ CO₂) dei gas periferici e delle falde, dei flussi diffusi di CO₂ dai suoli indicano la presenza di nuovo magma fresco e non degassato nelle prozioni più profonde del sistema di alimentazione dell'Etna. L'episodio di ricarica si verifica durante l'estate 2005 e nei mesi successivi determina numerose anomalie geochimiche in tutti i settori monitorati dell'edificio vulcanico e delle aree pedemontane. Sebbene questa fase di ricarica sia di minor rilievo rispetto a quanto osservato negli anni precedenti, essa deve essere tenuta in debita

considerazione in quanto futuri eventi di ripascimento avverrebbero in un sistema sommitale già relativamente carico.

Sorveglianza geochimica delle acque sotterranee

L'attività di sorveglianza svolta nel corso del 2005 è consistita in campionamenti mensili attraverso una rete di 15 punti d'acqua (pozzi, sorgenti e gallerie drenanti) ubicati prevalentemente sul fianco orientale (Zafferana - S.Venerina) e sud-occidentale (Paternò - Belpasso) dell'edificio vulcanico. Sui campioni sono stati determinati i parametri chimico fisici (temperatura, pH, conducibilità elettrica), i tenori dello ione bicarbonato e la pressione parziale teorica di CO₂, nonché i tenori dei costituenti maggiori (Na, K, Mg, Ca, F, Cl, Br, NO₃ ed SO₄).

Durante il secondo semestre 2005, le acque sotterranee etnee non hanno evidenziato variazioni di temperatura che eccedono le normali oscillazioni stagionali. A partire dal mese di settembre è possibile individuare un trend in aumento della pressione parziale di CO₂ disciolta che continua, con oscillazioni di ampiezza variabile, fino a dicembre evidenziando una ricarica del sistema magmatico profondo. Alcuni siti, inoltre, mostrano limitati ma significativi aumenti del contenuto di solfati e cloruri. Tali aumenti, che non si evidenziano contemporaneamente in tutti i siti, potrebbero essere stati provocati da un apporto di SO₂ ed HCl di derivazione magmatica.

Monitoraggio continuo delle acque sotterranee

I principali parametri chimico-fisici delle acque sotterranee dell'Etna vengono monitorati attraverso una rete di stazioni con trasferimento automatico dei dati attraverso modem GSM (rete ETNAACQUE) e stazioni con registrazione locale dei dati (ETNAT). Quest'ultimi vengono scaricati ed elaborati con frequenza mensile. La rete è stata realizzata nell'estate del 2001 ed ha subito una profonda ristrutturazione in termini hardware e software a partire dal 2003. I siti di misura sono stati scelti sulla base di precedenti studi, nell'ambito dei quali sono state determinate le composizioni chimiche ed isotopiche delle acque e delle fasi gassose disciolte nonché i parametri chimici fisici in numerosi campioni d'acqua distribuiti sull'intero edificio vulcanico.

Nel mese di dicembre 2005 alla rete ETNAACQUE è stata aggiunta una stazione di monitoraggio in un sito che già nel passato ha dato indicazioni utili ai fini della sorveglianza vulcanica, ubicato nel settore sud-occidentale dell'Etna nell'area di Santa Maria di Licodia. Attualmente La rete ETNAACQUE consta di 6 stazioni ubicate presso i siti Difesa (Belpasso), Ciapparazzo (Bronte), Rocca Campana (Piedimonte), Valcorrente (Belpasso), Ponteferro (Santa Venerina) e Cherubino (Santa Maria di Licodia) ed acquisisce dati riguardanti i principali parametri chimico fisici delle acque in falda (T, pH,

Conducibilità elettrica, livello) con frequenza oraria. Le 7 stazioni che costituiscono invece la rete ETNAT, con registrazione locale dei valori di temperatura, sono installate in prossimità di Currone, (settore SW dell'edificio vulcanico), Bongiaro ed Ilice (settore Est dell'edificio vulcanico).

I dati acquisiti durante il secondo semestre 2005, non evidenziano variazioni di particolare rilievo ai fini della sorveglianza dell'attività vulcanica. Le deboli variazioni registrate evidenziano piccoli apporti di energia termica e di fluidi di origine profonda verso le falde. Infine, le variazioni di pH misurate dalle nuove stazioni installate a partire dalla seconda metà del 2004, risultano compatibili con le variazioni di PCO_2 rilevate attraverso il monitoraggio discreto delle stesse falde.

Monitoraggio discreto delle emissioni di CO_2

Nel corso del 2005 sono state effettuate 12 campagne mensili per la misura del flusso diffuso di anidride carbonica dai suoli su una rete di circa 142 punti fissi ubicati in quattro aree del vulcano:

- a) il basso versante sud-occidentale attorno al paese di Paternò;
- b) il versante orientale del vulcano attorno ai paesi di Zafferana Etnea e S. Venerina;
- c) il medio versante nord-orientale, attorno agli abitati di Vena e Presa lungo la parte bassa della faglia Pernicana o in prossimità di essa;
- d) medio-alto versante nord-orientale, nei pressi del Villaggio Mareneve, lungo la parte alta della faglia Pernicana.

Sono stati inoltre monitorati due siti, P39 e P78, che rappresentano i punti a più alto degassamento delle aree di Paternò e Zafferana Etnea – S. Venerina (ZE-SV), rispettivamente.

Nel periodo giugno–settembre 2005 il flusso di CO_2 misurato nell'area di Paternò e di Vena-Presa si mantiene su valori elevati, mentre nell'area di Zafferana Etnea – S. Venerina subisce una temporanea diminuzione. Nel mese di ottobre, in questa ultima area, si evidenzia un notevole aumento dei flussi di CO_2 dai suoli che raggiunge il valore medio più elevato registrato negli ultimi quattro anni. Infine, nei rimanenti mesi del 2005, i flussi di CO_2 mostrano un decremento costante in tutte le aree investigate. Tali variazioni sono consistenti con l'ipotesi dell'ingresso di nuovo magma (fresco e non degassato) nelle porzioni più profonde del sistema di alimentazione del vulcano, in grado di causare decise ma temporalmente brevi anomalie nell'andamento dei flussi di CO_2 . Tali anomalie si riducono sensibilmente negli ultimi due mesi del 2005.

Monitoraggio continuo del flusso diffuso di gas

La rete per il monitoraggio automatico del flusso di gas diffuso dal suolo (ETNAGAS) è frutto di un progetto di ricerca avviato nella seconda metà del 2002 ed ancora oggi in fase di sviluppo. La rete è stata interamente progettata, sviluppata ed assemblata presso la Sezione di Palermo dell'INGV, sia nelle componenti software che hardware. Soltanto parte della sensoristica viene fornita da ditte esterne specializzate. Attualmente il trasferimento dei dati avviene mediante rete GSM anche se da alcuni mesi sono stati iniziati i test per la realizzazione di ponti radio sui frequenza dedicata che conta di utilizzare non appena si disporrà dei necessari permessi da parte dei Enti Governativi preposti alla gestione delle frequenze radio.

Durante il 2005, il software ed il datalogger sono stati profondamente sviluppati allo scopo di ampliare le funzionalità del sistema ed aumentarne l'affidabilità. Nel primo caso è continuata la fase di tuning con definizione di criteri per la generazione dei warnings. Il datalogger è stato modificato nella sezione porte di comunicazione in modo da utilizzare sensori dotati di interfaccia RS485. Il firmware è stato infine modificato in modo da consentire il trasferimento dati e la programmazione dei canali tramite radio modem.

Le stazioni remote che costituiscono la rete di monitoraggio Etnagas acquisisce dati riguardanti il flusso di CO₂ dai suoli, i principali parametri meteo (T, P, direzione e velocità del vento, piovosità ed umidità dell'aria). In un sito viene anche monitorato il flusso di CH₄. Nel 2005, il numero delle stazioni installate è stato portato a 10. Le nuove stazioni sono state installate nei siti Monte Albano (Albano1) e Monte S.Maria (MSM1) e si aggiungono a quelle già presenti in prossimità dell'abitato di Paternò (P39), S.Venerina (P78, primoti, SV1) e S. Maria di Licodia, all'interno del bosco di Maletto in prossimità della Mofeta dei Palici e dell'abitato di Palagonia.

Come già indicato nella precedente relazione semestrale, le emissioni diffuse di CO₂ nella fase iniziale del 2005, sono state caratterizzate da una drastica riduzione dei valori che ha anticipato la fine del periodo eruttivo. Flussi sensibilmente bassi sono stati osservati per tutta la durata del primo semestre dell'anno. Tale caratteristica era già stata osservata alla fine dell'eruzione 2002-2003.

Nel secondo semestre 2005 si osserva una ripresa dell'attività esalativa che riporta i valori di flusso su livelli medi intereruttivi. Tale fenomeno riprende fra settembre e novembre 2005 determinando un aumento che, con intensità variabile, interessa tutte le stazioni della rete. L'entità massima delle variazioni risulta minore rispetto a quanto osservato prima dell'eruzione 2004-2005 ma ha interessato tutti i versanti dell'edificio etneo.

Gli aumenti del flusso di CO₂ diffusa dai suoli, i cui massimi si registrano fra settembre e novembre 2005, indicano l'ingresso di nuovo magma, fresco e non degassato, nelle porzioni più profonde del sistema di alimentazione del vulcano.

Composizione chimica ed isotopica dei gas fumarolici

Nel 2005, nell'area etnea, sono state effettuate campagne con cadenza mensile in otto siti ubicati sia ad alta quota (TDF, Belvedere Valle del Bove, Rift di NE) che in zone più periferiche (P78, P39, Belpasso, Salinelle di Vallone Salato - VSA). Per la determinazione delle principali specie chimiche ed isotopiche presenti in gas liberi e fumarolici e la misura delle emissioni di CO₂ dai suoli emessi. In alcuni siti è stato misurato il flusso di CO₂ dal suolo. Nei campioni di gas, sono state determinate sia la composizione chimica (tenori di CO₂, He, H₂, O₂, N₂, CH₄ e CO) che la composizione isotopica (dell'He e del Carbonio e dell'Ossigeno nella CO₂). Per tali misure sono state impiegate rispettivamente tecniche gas-cromatografiche e di spettrometria di massa. Nelle fumarole sono state anche misurate le temperature di emissione del gas e le corrispondenti temperature dell'aria.

I dati acquisiti nel 2005 non evidenziano variazioni di rilievo nei parametri monitorati in tutti i siti soprattutto se paragonati a quelli precedenti l'eruzione 2004/2005. Fa eccezione la concentrazione della CO₂ del sito P78 che si mantiene su valori elevati (~ 14%vol e) simili a quelli registrati prima e durante l'ultima eruzione. In particolare, per la prima volta in questo sito, l'andamento della concentrazione della CO₂ e quello della CO₂ dinamica non sono correlati. Anche i valori del $\delta^{13}\text{C}$ della CO₂ si mantengono su valori abbastanza positivi indicando un apporto magmatico residuo della CO₂ sostenuto che però sembra tendere alla diminuzione negli ultimi mesi del 2005. Le T mostrano una tendenza alla diminuzione ad eccezione di quella di BLV che tende ad aumentare negli ultimi mesi dell'anno.

Sorveglianza geochimica discreta del plume

Dal 2003 viene eseguita periodicamente la misura della composizione chimica delle specie volatili nel plume emesso dai crateri sommitali dell'Etna, che nel recente passato hanno fornito preziose informazioni riguardo i meccanismi di degassamento e l'evoluzione temporale dell'attività vulcanica. In particolare, i dati raccolti nell'ambito delle recenti eruzioni 2001 e 2002-2003, hanno permesso di definire un modello di degassamento riguardante le specie acide SO₂, HCl e HF, la cui applicazione fornisce indicazioni quantitative sulle condizioni di degassamento del magma presente nelle porzioni più superficiali del condotto eruttivo e sull'eventuale apporto di magma fresco, ricco in volatili. Nel corso del secondo semestre 2005, sono state effettuate misure periodiche nei plume emessi dal cratere di NE e dalla Voragine, con frequenza quindicinale in relazione alle condizioni meteorologiche ed alla accessibilità dell'area sommitale. Sono state misurate le concentrazioni di SO₂, HCl ed HF mediante metodologia "filter packs". Contemporaneamente, sono state eseguite misure della concentrazione di CO₂ ed SO₂

mediante uno strumento portatile, contenente uno spettrometro IR per la misura di CO₂ ed un sensore elettrochimico specifico per la misura di SO₂. Questo ha consentito di ottenere delle misure dei rapporti di concentrazione C/S, che forniscono un ulteriore contributo per la valutazione dello stato di degassamento del magma nelle porzioni sommitali dei condotti di alimentazione del vulcano.

Valori del rapporto C/S piuttosto elevati (fino a 10 nel cratere di Voragine) sono stati misurati nel corso delle ultime fasi dell'eruzione 2004-05 (primi mesi del 2005), compatibili con l'arrivo di un batch di magma non degassato a media profondità (< 6 km), probabilmente richiamato dallo svuotamento della camera superficiale durante l'eruzione. Il progressivo decremento della CO₂ rispetto alla SO₂ e l'aumento del rapporto S/Cl nel periodo post-eruttivo suggeriscono il trasferimento del magma nelle porzioni più superficiali dei condotti.

Monitoraggio chimico-isotopico dei gas periferici

Il monitoraggio chimico-isotopico dei gas periferici durante il secondo semestre del 2005 è stato effettuato con le consuete modalità (frequenza quindicinale) nei cinque siti di campionamento ben noti (P39, Vallone Salato, Salinelle di Stadio e Fondachello in area etnea, Mofeta dei Palici in area iblea). Nei campioni di gas prelevati sono state determinate le composizioni chimiche (concentrazioni di CO₂, He, H₂, O₂, N₂, CH₄ e CO) ed isotopiche ($\delta^{13}\text{CCO}_2$, $\delta^{18}\text{O CO}_2$, R/Ra He).

La composizione isotopica dell'elio ha mostrato una variazione di rilievo durante l'estate 2005, con un incremento del rapporto isotopico di circa due decimi di R/Ra in tutti i siti monitorati. Tale variazione si è esaurita in Settembre. Nei mesi successivi il rapporto isotopico non è mai rimasto stabile, mostrando almeno due variazioni evidenti in tutti i siti, benché di entità inferiore rispetto a quella estiva.

Il chimismo non ha mostrato variazioni di uguale importanza durante il periodo in questione. In particolare, i rapporti chimici He/CO₂ ed He/Ne, utilizzati come indicatori di dinamica magmatica nel sistema di alimentazione, sono rimasti sostanzialmente stabili. In tal senso, costituisce eccezione il sito di Mofeta dei Palici, il quale ha registrato una variazione di qualche rilievo durante l'estate.

L'insieme delle osservazioni chimico-isotopiche effettuate durante il secondo semestre 2005 suggerisce che in estate il sistema di alimentazione etneo sia stato interessato da un episodio di ricarica magmatica.

VULCANO

Nel corso del primo semestre 2005, le attività di sorveglianza geochemica svolte in questa area vulcanica sono consistite nel monitoraggio di:

- emissioni di gas diffuso (CO₂);
- emissioni fumaroliche site sul bordo e sulla parete interna del cratere La Fossa;
- falda acquifera attraverso i pozzi presenti all'interno ed in prossimità dell'abitato di Vulcano Porto.

Il calendario dei campionamenti è stato svolto in accordo a quanto previsto dal programma di sorveglianza definito per l'isola di Vulcano. I dati acquisiti in nel corso del 2005 confermano per quest'area, il persistere di condizioni di stabilità in cui l'attività esalativa e termale sembra essere sostenuta dalla presenza di un corpo magmatico intruso ad una profondità di pochi chilometri, in fase tardiva di degassamento ed in lenta migrazione verso la superficie.

Nell'intervallo temporale a cui fa riferimento questo documento possono essere messi in evidenza due momenti di una certa importanza che riguardano l'attività di questo sistema vulcanico. Nei primi mesi dell'anno, la temperatura dei fluidi termali emessi dalle fumarole de La Fossa si è progressivamente ridotta, confermando il trend negativo già innescatosi a fine del 2004. Nei primi mesi del 2005, pertanto, le condizioni di anomalia che hanno caratterizzato la fine del 2004 rientrano totalmente. Di contro, la parte finale del 2005 è caratterizzata da una ripresa dell'attività esalativa che si manifesta attraverso l'incremento della temperatura di emissione fumarolica, dall'aumento del rapporto CO₂/H₂O ed di tanti altri parametri che indicano tutti un aumento della componente gassosa magmatica nei fluidi fumarolici rilasciati. Questo periodo di anomalia ha avuto una durata di un paio di mesi ed, a differenza di quanto osservato alla fine del 2004, è stato accompagnato da un aumento dei flussi di CO₂ diffusa dai suoli anche nelle aree alla base dell'edificio vulcanico.

Monitoraggio chimico-isotopico dei fluidi fumarolici

I fluidi fumarolici nell'area del cratere La Fossa di Vulcano sono stati monitorati mediante campionamento di quattro fumarole (FA, F11, F0 ed F5AT), con frequenza di una campagna ogni 45 giorni. Si è acquisita la temperatura di emissione ed il chimismo delle miscele gassose, insieme alla composizione isotopica di He e CO₂.

A partire da Ottobre, la fumarolizzazione ha mostrato alcune visibili modifiche in termini di estensione e distribuzione delle aree di emissione. Ciò ha riguardato sia le aree fumaroliche sul fianco interno che quelle lungo l'orlo craterico. Quest'ultimo è stato anche interessato da qualche apprezzabile incremento termico, raggiungendo temperature massime intorno a 460°C presso la fumarola F11. In effetti, l'orlo craterico è rimasta la

zona del cratere con le maggiori temperature di emissione durante tutto il secondo semestre del 2005.

La geochimica dei gas fumarolici durante il secondo semestre dell'anno è stata caratterizzata da un incremento rilevante delle concentrazioni di specie magmatiche (He, N₂ e CO₂), iniziato a partire da Ottobre. Sono contemporaneamente aumentati anche i tenori di zolfo in tutte le fumarole, mentre l'HCl è stato caratterizzato dai valori elevati e fortemente variabili raggiunti in precedenza. Aumenti di rilievo sono stati anche osservati nelle composizioni isotopiche di elio e carbonio nello stesso periodo. Dopo il loro aumento, tutti questi parametri si sono mantenuti su valori anormalmente elevati fino alla fine dell'anno.

Le variazioni geochimiche osservate presso il campo fumarolico della Fossa di Vulcano suggeriscono che il sistema sia stato interessato da un evidente incremento nell'apporto di fluidi magmatici a partire da Ottobre. Tale anomalia ha modificato la geochimica dei fluidi craterici durante tutto il secondo semestre del 2005, anche se nel mese di Dicembre alcuni parametri già evidenziavano un trend regressivo del fenomeno. Si ritiene che tali anomalie siano state prodotte da un evento di dinamica magmatica, verosimilmente un fenomeno di rimpascimento di nuovo magma, che ha interessato il sistema vulcanico di Vulcano nel periodo in questione.

Monitoraggio discreto delle emissioni diffuse di anidride carbonica dai suoli

L'area ricoperta dalle misure si estende per circa 2.2 km² alla base dell'edificio vulcanico e comprende l'intero abitato di Vulcano Porto e le aree termali e maggiormente esalanti, poco distanti dall'abitato (Faraglione, Acque Calde, centrale ENEL e TELECOM, Camping Sicilia). I flussi di CO₂ dai suoli sono stati misurati attraverso una maglia di 53 punti di misura. L'ubicazione di tali siti non viene modificata dal 1988 allo scopo di mantenere basso l'errore relativo fra le campagne ($\pm 4\%$).

Nel 2005 sono state eseguite in totale 12 prospezioni, mantenendo una regolare cadenza mensile. Nella seconda metà dell'anno i valori medi di flusso di non hanno subito particolari variazioni rispetto al semestre precedente fino al mese di settembre. Nel mese di ottobre si evidenzia un aumento del flusso di CO₂ dai suoli che in coincidenza della prospezione di novembre raggiunge il valore medio più elevato registrato negli ultimi quattro anni. Tale anomalia ha interessato esclusivamente l'area di Grotta dei Palizzi situata alla base di La Fossa, ove sono stati misurati valori di concentrazione dinamica superiori ad $1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Il flusso di CO₂ diminuisce nel dicembre 2005, riportandosi su valori simili a quelli registrati nel primo semestre dell'anno.

Sorveglianza geochimica delle acque dei pozzi

Durante il 2005, è stato proseguito il monitoraggio delle falde attraverso campionamenti bimestrali. Le indagini sono consistite nella misura in campo di alcuni parametri chimico fisici e nella determinazioni in laboratorio della composizione chimica ed isotopica delle acque campionate.

I dati acquisiti nel corso del 2005, se confrontati con quelli osservati negli anni precedenti, non evidenziano variazioni di particolare rilievo sia nel regime termico che nel chimismo delle acque termali dell'area di Vulcano Porto.

Monitoraggio continuo delle emissioni fumaroliche e dei flussi diffusi di CO₂ dai suoli

Il sistema di monitoraggio è attualmente costituito da 7 stazioni remote collegate mediante link radio su frequenza dedicata e rete GSM alla sala di monitoraggio della Sezione di Palermo dell'INGV. Le stazioni periferiche, misurano e memorizzano ad intervalli orari la temperatura delle fumarole, le emissioni di CO₂ dal suolo ed i parametri meteo. In alcuni casi i sensori sono stati progettati e realizzati nei laboratori INGV in modo da resistere alle condizioni fortemente aggressive presenti nelle aree fumaroliche.

Le stazioni sono ubicate a Lipari (Caolino – misura la temperatura fumarolica e funge da ripetitore), sul cratere “La Fossa” (due stazioni che monitorizzano i valori di temperatura delle fumarole Fratt/B1, Fratt/B2, F5 ed F5 AT ed FA), sulla spiaggia di levante (misura della temperatura fumarolica), in prossimità del Campo sportivo di Vulcano Porto, alla base del sentiero per il Cratere ed in contrada Grotta dei Palizzi (tre stazioni per la misura del flusso di CO₂ dai suoli). Infine la rete dispone di una stazione per la misura dei parametri meteo, installata presso il Centro Carapezza.

Nel periodo in esame sono state registrate alcune variazioni rilevanti che si seguono al periodo anomalo iniziato alla fine del 2004 e terminato nei primi mesi del 2005. In particolare, le fumarole ad alta temperatura, F5AT e FA, site sull'orlo craterico, hanno mostrato un incremento sincrono della temperatura che ha inizio nel mese di Settembre 2005. L'incremento ha raggiunto i valori più elevati (compresi tra 395 e 430 °C) nel mese di Novembre 2005. La fine del 2005, evidenzia una regressione del fenomeno che attesta i valori delle fumarole monitorate su valori compresi tra 380 e 410°C.

STROMBOLI

Stromboli, il vulcano più attivo dell'intero arco eoliano, è caratterizzato da un degassamento sommitale a condotto aperto permanente e da una persistente attività esplosiva. Occasionalmente si verificano esplosioni più violente associate ad emissioni di lava.

Uno studio geochimico preliminare, condotto nel corso del triennio 2000-2003, ha fornito informazioni necessarie per l'individuazione dei siti geochimici sensibili, potenzialmente utili per un sistema di monitoraggio dell'attività vulcanica: sono stati individuati quattro pozzi termali (Cusolito, Limoneto, Fulco e Zurro), due punti anomali di degassamento nei quali sono operative due stazioni per il monitoraggio continuo di flussi di CO₂ dai suoli (STR01 ed STR02), ed una fumarola sull'orlo craterico (SC5).

Negli ultimi mesi del 2005, le indagini geochimiche hanno messo in evidenza numerose anomalie che hanno riguardato sia il degassamento diffuso che il chimismo e la composizione isotopica delle falde. Tali anomalie sono compatibili con un aumento della pressione di gas nella porzione terminale dei condotti eruttivi del vulcano, ipotesi che viene ulteriormente confermata dall'aumento della frequenza delle esplosioni che ha caratterizzato la parte terminale del 2005.

Monitoraggio continuo del flusso diffuso di CO₂ dai suoli

Le due stazioni di monitoraggio in continuo dei flussi di CO₂ sono ubicate rispettivamente al Pizzo sopra la Fossa (STR02) e nella zona di Scari (STR01). Entrambe acquisiscono un dato ogni ora e trasmettono i dati al centro di acquisizione di Palermo con un sistema misto basato su modem radio su frequenza dedicata e modem GSM.

Le misure del flusso di CO₂ registrate dalla stazione di monitoraggio automatico situata sul Pizzo sopra la Fossa hanno evidenziato valori mediamente più elevati, fino a 30000 g·m⁻²·day⁻¹, sin dalla fine del 2004 e nei primi mesi del 2005 in corrispondenza di un incremento dell'attività esplosiva ai crateri. In seguito i dati disponibili indicano una regressione dell'attività esalativa con valori intorno a 5000 g·m⁻²·day⁻¹ misurati all'inizio del periodo estivo.

Questa condizione di basso flusso si è protratta fino a Novembre 2005. Gli ultimi due mesi dell'anno sono stati caratterizzati da notevoli incrementi nel degassamento sommitale (fino a 20000 g·m⁻²·day⁻¹) con variazioni repentine del flusso di CO₂ emessa di ampiezza fino al 200% rispetto ai valori medi mensili registrati precedentemente. Queste variazioni sono state accompagnate da un aumento della frequenza esplosiva osservata ai crateri sommitali.

Monitoraggio della falda acquifera

I pozzi vengono campionati con frequenza mensile; hanno temperature variabili da 35 a 47°C ed un ampio range di salinità (8200 < TDS < 40000 mg/l) dovuto ad un variabile contributo di acqua di mare. Le acque, in questi siti, sono il risultato di un mescolamento tra un termine marino ed uno più ricco in HCO³⁻ dovuto ad un elevato input di CO₂ di origine magmatica. La variabilità composizionale che caratterizza questi siti è da attribuire

alla presenza di fenomeni di stratificazione sia verticale che orizzontale dell'acquifero. Come si osserva in molti strato-vulcani, infatti, l'alternanza di lave fessurate e di livelli piroclastici di differente granulometria crea corpi idrici stratificati e di composizione variabile in senso verticale. Inoltre, poiché i siti campionati si trovano in un'area costiera, l'acqua marina si infila al di sotto dell'acqua più superficiale meteorica. I siti Cusolito, Limoneto e Zurro sono rappresentativi dell'acquifero più profondo e salino, mentre Fulco presenta una salinità minore ed è principalmente alimentato da acque meteoriche. Inoltre, l'acquifero salino interagisce maggiormente con il vapore proveniente da un acquifero idrotermale profondo, come suggeriscono i dati di temperatura ed i tenori di specie che si arricchiscono preferenzialmente in fase vapore, quali NH_4 e H_3BO_3 . Le acque presenti nel sito Fulco, invece, riflettono la presenza di una fase gassosa a minore entalpia e ricca in CO_2 , come indicato dai dati di pH e di CO_2 disciolta. Il pozzo Zurro, pur avendo una salinità elevata, presenta minori indizi di interazione con fluidi profondi.

La composizione isotopica del carbonio della CO_2 in fase gassosa, in equilibrio con le falde, indica un'origine magmatica della CO_2 che viene modificata da processi di frazionamento isotopico durante la risalita e l'interazione con i fluidi superficiali. L'entità del frazionamento è maggiore nelle acque più saline e con pH più elevato, a causa della maggiore solubilità della CO_2 e di un maggiore scambio isotopico con le specie carbonatiche disciolte. L'effetto finale è un progressivo arricchimento nel gas residuale di specie poco solubili in acqua rispetto alla CO_2 e di ^{12}C rispetto al ^{13}C .

La composizione isotopica dell'elio disciolto in tutti i siti analizzati conferma l'esistenza di processi d'interazione tra falde superficiali e fluidi profondi di origine magmatica. La composizione isotopica dell'He, infatti, mostra valori intorno a 4.5 $\text{R/Ra}_{\text{corr}}$, superiori a quelli riscontrati nelle fumarole crateriche.

La comparazione dei dati isotopici dell'He disciolto, misurati nei pozzi termali posti all'interno del centro abitato di Stromboli e nella fumarola SC5 sita nell'area sommatatale, indica un aumento della quantità di gas nei condotti eruttivi del vulcano negli ultimi mesi dell'anno.

VESUVIO

L'acquifero superficiale del Vesuvio è monitorato dal 1999 mediante il campionamento mensile di 9 pozzi e 3 sorgenti localizzati, in gran parte, sul fianco sud-occidentale del vulcano (area caratterizzata dalla maggiore emissione di fluidi vulcanici) e, in misura inferiore, sui fianchi settentrionale ed orientale dell'edificio vulcanico, in prossimità di strutture tettoniche attive.

Su ciascun campione viene determinata la composizione chimica dell'acqua in termini di costituenti maggiori (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄, NO₃, alcalinità), la composizione chimica dei gas disciolti e la composizione isotopica dell'elio disciolto su quattro siti.

Inoltre, in due punti di campionamento sono state installate stazioni di misura in continuo della temperatura, con frequenza di campionamento oraria: si tratta della sorgente Olivella, ubicata sul fianco settentrionale dell'edificio vulcanico e del pozzo 14, nel comune di Torre Anunziata. Lo scaricamento dei dati ad oggi avviene in sede locale tramite PC portatile.

Nel corso del 2005, si è osservata una condizione generalmente stazionaria nella composizione chimica dell'acquifero vesuviano. In alcuni siti si osserva una diminuzione della salinità frutto di un maggiore apporto di una componente idrica più superficiale che tende a prevalere su quella profonda più salina. L'aumento del flusso idrico superficiale rispetto ai fluidi profondi determina inoltre un aumento del frazionamento fra le diverse specie gassose, legato alla loro differente solubilità in acqua. In particolare si osserva un aumento del rapporto CH₄/CO₂ legato all'arricchimento preferenziale del CH₄ nella fase gassosa rispetto alla CO₂, imputabile sia ad un ridotto apporto di CO₂ e/o di gas profondi sia ad un aumento della componente idrica superficiale.

Le temperature medie delle acque sotterranee, corrette rispetto al trend stagionale, mostrano inoltre una tendenza alla diminuzione, confermando quindi l'ipotesi di una maggiore influenza di fluidi di origine superficiale nella ricarica degli acquiferi vesuviani.

ISCHIA

L'attività esalativa dell'isola di Ischia, la cui eruzione più recente risale al 1301, è caratterizzata dalla presenza di numerose sorgenti termali e fumarole. La composizione chimica e isotopica dei fluidi emessi è legata alle caratteristiche idrologiche e litologiche delle formazioni rocciose presenti nel reservoir.

Durante il 2005, in aprile ed ottobre, sono stati prelevati campioni di acque termali (sorgenti e pozzi) e di gas liberi al fine di determinare le possibili variazioni legate all'attività vulcanica.

Nei campioni di acque termali sono stati determinati gli elementi maggiori e minori (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄, NO₃, HCO₃ e CO₃), la composizione isotopica del δD e δ¹⁸O dell'acqua, la composizione chimica dei gas disciolti e la composizione isotopica del TDC. Le acque campionate sono il risultato di fenomeni di mixing in varie proporzioni tra acque di origine meteorica, marina e geotermica; la maggior parte di esse risultano termali o debolmente termali con temperature comprese tra 24 e 98°C.

Le acque termali presentano caratteristiche chimico-fisiche differenti in relazione al grado di interazione che subiscono durante il loro tragitto verso la superficie. Ciò determina una

variabilità della conducibilità elettrica ($1.5 < \text{conducibilità (20}^\circ\text{C)} < 90 \text{ mS}$) e del pH che è anche fortemente influenzato dall'interazione acqua-gas ($5.5 < \text{pH} < 9$).

I gas campionati sono stati analizzati per la determinazione della composizione chimica ($\text{He, H}_2, \text{O}_2, \text{N}_2, \text{CO, CH}_4, \text{CO}_2$) ed isotopica del C e O della CO_2 e dell'He. I gas sono tutti a CO_2 prevalente e presentano una composizione isotopica della CO_2 e dell'He tipica dei gas di origine magmatica.

Per tutto il 2005, i dati acquisiti non evidenziano variazioni rilevanti rispetto a quanto osservato negli anni precedenti.

PANTELLERIA

L'isola di Pantelleria, vulcano attivo in stato di quiescenza, è sede di un sistema geotermico ad acqua dominante con temperature, stimate con geotermometri sia in fase liquida che gassosa, comprese tra i 150 ed i 250 °C.

Durante il 2005, a giugno e novembre sono stati effettuati i campionamenti delle sorgenti e dei pozzi termali e freddi che meglio caratterizzano i circuiti idrologici dell'area in esame, tenendo conto della loro ubicazione, del contesto geologico e delle loro potenzialità. In totale, sono stati prelevati 8 campioni di acque e 3 campioni di gas.

Nelle acque sono stati determinati in campagna i parametri chimico-fisici (T, pH, conducibilità) ed in laboratorio sono state analizzate per la determinazione dei cationi e degli anioni maggiori e minori, delle specie gassose disciolte, e della composizione isotopica del δD e $\delta^{18}\text{O}$ dell'acque e del $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ delle specie del C disciolte (TDC).

Le acque sono caratterizzate da $23 < T < 55^\circ\text{C}$, $6.1 < \text{pH} < 9.7$ e $3.7 < \text{cond} < 32 \text{ mS}$. La loro composizione chimica è regolata dai fenomeni di interazione acqua-roccia e acqua-gas che subiscono durante il loro tragitto. I gas sono tutti a CO_2 prevalente con una composizione isotopica della CO_2 e dell'He tipica dei gas di origine magmatica.

Nell'arco degli ultimi 10 anni non sono state osservate variazioni di particolare importanza sia nel sistema di alimentazione idrotermale sia nella composizione delle acque e dei gas. Le variazioni registrate sono riferibili soltanto ad interazioni superficiali dovute principalmente ad ingresso di acqua marina e all'emungimento dei pozzi. Ciò è ulteriormente testimoniato dalla stabilità delle T del reservoir profondo determinate attraverso geotermometria. Le variazioni composizionali che interessano il lago di Venere sono invece riconducibili ad un diverso apporto meteorico ed a fenomeni di evaporazione.

PANAREA

Nel corso del 2005 sono state indagate e campionate le emissioni idrotermali sottomarine presenti ad Est dell'isola di Panarea. I dati acquisiti nel corso di queste prospezioni indicano, in generale, una lenta e progressiva diminuzione dell'attività del sistema

vulcano-geotermico di Panarea. Ciò risulta sia dalle portate di gas rilasciato che dalle condizioni termo-bariche del sistema idrotermale. In particolare, i dati acquisiti hanno messo in evidenza che:

- la depressione craterica formatasi con la crisi di Novembre 2002, in prossimità dell'isolotto di Bottaro, tende a riempirsi e la sua profondità massima è diminuita di oltre due metri. L'attività di degassamento continua a mostrare una lenta ma progressiva diminuzione di intensità.
- le rimanenti aree esalative continuano ad essere ubicate tra gli isolotti di Bottaro e Lisca Bianca, e non hanno evidenziato variazioni apprezzabili dello stato di attività.
- la geochimica dei gas mostra ancora una sensibile diminuzione nella concentrazione di specie ridotte indicative di elevate pressioni e temperature di equilibrio all'interno del sistema geotermico di alimentazione.
- le acque termali non hanno mostrato anomalie di rilievo nei parametri chimico-fisici, e le loro temperature d'emissione si sono mantenute stabili.

INNOVAZIONE TECNOLOGICA DEI LABORATORI INGV - SEZIONE DI PALERMO

Durante il 2005 i laboratori geochimici INGV hanno effettuato un numero elevatissimo di analisi (nell'ordine di diverse migliaia) che vanno dalla chimica delle acque sotterranee circolanti nei sistemi vulcanici monitorati alla composizione chimica delle emissioni gassose presenti sia in aree crateriche sia in alcune aree degli edifici vulcanici. Sono state effettuate anche misure isotopiche su acque, gas, e gas nobili, che sono state in grado, attraverso l'applicazione di modelli termodinamici elaborati per ogni singolo apparato, di dare indicazioni sullo stato di attività dei vulcani controllati.

Per tale motivo il "Laboratorio di Geochimica INGV" è un supporto stabile e indispensabile per l'attuazione e lo sviluppo delle attività di sorveglianza geochimica delle aree vulcaniche attive e della ricerca sui fluidi circolanti in aree sismicamente attive.

In particolare il laboratorio geochimico dell'ente, che è ubicato presso la sezione di Palermo, effettua misure analitiche che sono in grado di supportare la sorveglianza geochimica discreta dei vulcani monitorati:

- dalla sezione di Palermo che riguardano in particolare l'Etna, Stromboli, Vulcano e Panarea e per interventi più limitati le aree di Pantelleria, Vesuvio, Campi Flegrei e Ischia;
- dalla Sezione Napoli (Osservatorio Vesuviano), che opera prevalentemente nell'area napoletana, per quello che riguarda le determinazioni isotopiche di He e Carbonio;

- dalla sezione di Roma1 per ciò che riguarda in particolare la chimica acque e gas disciolti.

La complessità delle metodologie analitiche a supporto delle attività precedentemente descritte impone un continuo affinamento delle metodiche e uno sviluppo delle strumentazioni che devono assecondare l'esigenza di avere misure sempre più precise finalizzate al miglioramento dei risultati ottenuti dall'applicazioni dei modelli termodinamici utilizzati per effettuare le valutazioni di pericolosità sui singoli apparati vulcanici.

Questo processo comporta necessariamente il continuo sviluppo di nuove strumentazioni e di nuove metodologie. Quindi l'innovazione tecnologica è alla base della crescita scientifica dei ricercatori e dell'efficienza dei sistemi di monitoraggio e sorveglianza, oltre che, più in generale della ricerca applicata ai sistemi naturali.

Nel 2005 lo sviluppo dei "Laboratori di Geochimica INGV" ha portato nel reparto analitico isotopi stabili alla sostituzione dello spettrometro di massa VG5400, in dotazione al nostro istituto dai primi anni 90, con un nuovo modello Helix SFT per l'analisi isotopica dell'elio. Inoltre sono state realizzate le nuove linee di preparazione multipla dei campioni per la determinazione contemporanea (sulla stessa aliquota) dei rapporti isotopici di He e Ar. Questo up-grade della strumentazione accoppiato con le nuove linee di purificazione permetterà di migliorare la qualità analitica delle determinazioni effettuate nonché la possibilità di rendere ancora più efficiente il laboratorio isotopico migliorando quindi il servizio geochimico di monitoraggio discontinuo dei sistemi vulcanici.

Infine è stato acquistato un reattore Thermo – GC/TC. Questa periferica permette la determinazione della composizione isotopica dell'idrogeno del metano e degli idrocarburi leggeri ed è connessa ad un sistema composto da gas cromatografo-GC/C III (Gas combustion) e dallo spettrometro di massa. Per la determinazione del δD (CH₄) il gas, separato cromatograficamente, viene fatto passare attraverso un altro tubo di reazione (GC/TC) in cui avviene la pirolisi della molecola alla temperatura di 1450°C con la formazione di H₂ che viene mandato direttamente allo spettrometro per la misura del rapporto D/H.

Nell'ambito delle strumentazioni in possesso del laboratorio un miglioramento delle capacità analitiche e dei campi di indagine è stata ottenuto accoppiando al sistema Trace GC – GC/C III – Delta plus XP una periferica di preconcentrazione del campione gassoso da analizzare (PreCon).

In tal modo è possibile misurare la composizione isotopica del CH₄ e dei composti gassosi dell'azoto in atmosfera e in manifestazioni esalative dove le bassissime concentrazioni di tali gas non rendono possibile la misura con le metodologie convenzionali. Questa implementazione strumentale ha aperto nuovi settori di ricerca, non

solo in campo ambientale, ma anche nell'ambito della sorveglianza geochimica dell'attività vulcanica e sismica.

Infine nel reparto tecnologico (laboratorio meccanico) sono stati acquistate alcune strumentazioni che servono da supporto alle attività di laboratorio e di sorveglianza ed in particolare alla messa in opera sul campo delle reti geochimiche acque e gas.

Gli sviluppi metodologici portati avanti dal personale scientifico operante all'interno dei laboratori geochimici ha permesso di aumentare sia il numero di parametri analitici investigati che di semplificare e ottimizzare alcune tecniche analitiche.

PROGETTI SISMOLOGICI E VULCANOLOGICI DI INTERESSE PER IL DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

(a cura di G. Valensise e P. Papale, coordinatori dei Comitati di Gestione)

Con Decreto n. 179 del 18 maggio 2005 il Presidente dell'INGV ha avviato formalmente le ricerche di cui alla lettera c) dell'art. 5 della Convenzione tra il Dipartimento della Protezione Civile e l'INGV, finalizzate alla "Prosecuzione delle attività di studi e ricerche sulla sismicità e sul vulcanismo delle aree di Stromboli e Panarea e per studi e ricerche su zone di particolare interesse specificatamente individuate". Si tratta di 10 progetti di ricerca, di cui 5 a carattere sismologico e 5 a carattere vulcanologico, ideati per rispondere a specifiche istanze e necessità del DPC.

L'avvio delle ricerche è stato preceduto da una fase istruttoria protrattasi per quasi un anno. Questa fase è servita a creare un buon raccordo con i progetti finanziati all'interno dei programmi GNV e GNDT e con i relativi prodotti (tali progetti si sono chiusi in via definitiva nell'estate 2004), e a consentire l'elaborazione di modalità di gestione scientifica, amministrazione e rendicontazione diverse e più efficaci delle precedenti.

Successivamente, con Decreto 484 del 29 luglio 2005 il Presidente dell'INGV ha avviato due ulteriori iniziative che ricadono nel quadro delle attività di cui alla lettera c) dell'art. 5 della Convenzione:

- un ulteriore progetto, denominato EduRisk, dedicato allo studio di metodologie di comunicazione dei rischi sismico e vulcanico a bambini e ragazzi in età scolare. Il progetto appartiene quindi a una categoria intermedia tra i progetti "S" e i progetti "V", ed ha un costo di 330.000 Euro di cui 181.000 per la prima annualità.
- un'attività di ricerca dedicata alla vulcanologia storica nell'area campana, configurato come una integrazione del progetto V3 denominata "V3_8 – Ricerche storiche", per un costo totale di 250.000 euro di cui 125.000 per la prima annualità.

Ulteriori dettagli sulla struttura dei progetti, sulle loro finalità e sulle modalità del loro avvio sono disponibili nella sezione "Documenti" della pagina Internet dedicata ai progetti stessi: <http://www.ingv.it/progettiSV/progettiSV.htm>. Tra gli allegati al presente rapporto vengono riportati come il testo completo dei progetti sismologici (All. 1), il testo completo dei progetti vulcanologici (All. 2), il testo dell'attività accessoria dedicata alla vulcanologia storica dell'area campana (sottoprogettoV3_8, vedi sopra) e del progetto EduRisk (All. 3).

Con Delibera del Consiglio Direttivo dell'INGV n. 4.5.4.05 del 21 dicembre 2005 è stata poi disposta la creazione dei due Comitati di Valutazione e Monitoraggio previsti dal Decreto 387 del 26 novembre 2004, rispettivamente per la Sismologia e per la Vulcanologia. Si tratta di due gruppi di esperti di chiara fama internazionale non coinvolti nei progetti, 4 per la sismologia e 3 per la vulcanologia, i quali hanno già svolto una importante funzione di indirizzo e valutazione dei progetti. La Delibera assegna un compenso forfettario di 20.000 Euro a ciascuno dei 7 esperti per l'intero ciclo di durata dei progetti (10.000 Euro per annualità), e gli riconosce il rimborso delle spese di viaggio e soggiorno necessarie per l'espletamento della loro funzione. Una precedente lettera del Presidente aveva assegnato un compenso forfettario di 4.000 Euro ciascuno più spese di viaggio e soggiorno a due di tali esperti per aver contribuito alle prime fasi della stesura dei progetti stessi.

Complessivamente i progetti coinvolgono circa 260 Unità di Ricerca e oltre 1.500 ricercatori, distribuiti in un ampio spettro di enti ed istituzioni di ricerca italiani e stranieri, secondo lo schema di Tabella 1, e in rappresentanza di molteplici ambiti disciplinari.

Per semplificare la gestione amministrativa dei progetti l'INGV ha deciso di strutturarli in due annualità di 13 mesi ciascuna, la prima delle quali è iniziata il 1 giugno 2005 e si concluderà il 30 giugno 2006. I fondi relativi alla prima annualità sono stati interamente trasferiti alle UR nel mese di luglio 2005, non appena le UR stesse restituivano i contratti (per le UR esterne) e le lettere d'incarico (per le UR INGV) opportunamente vistate. Vengono qui rendicontate le spese relative alla prima annualità dei progetti descritti. La Tabella 2 riassume il costo della prima annualità dei progetti, che ricade sul secondo semestre 2005. Si noti che la prima annualità si chiude il 30 giugno 2006, ma i relativi rendiconti analitici di spesa da parte delle singole Unità di Ricerca dovranno essere consegnati all'INGV entro il 31 maggio 2006.

Tabella 1 - Costo complessivo dei progetti biennali di cui alla lettera c) dell'art. 5 della Convenzione tra il Dipartimento della Protezione Civile e l'INGV, suddivisi tra sismologia e vulcanologia. Viene mostrata anche la ripartizione del finanziamento complessivo tra i diversi enti maggiori che partecipano alle attività.

	Progetti Sismologici	Progetti Vulcanologici	Progetto Misto EDURISK	Totali (Euro)	% su totale finanziamenti
INGV	1.473.500	2.852.500	235.000	4.561.000	39.0
CNR	214.000	256.500	---	470.500	4.0
OGS	568.500	90.000	60.000	718.500	6.1
Università	1.912.330	3.375.600	35.000	5.322.930	45.5
Altri Enti	106.000	287.000	---	393.000	3.4
Estero	0	239.000	---	239.000	2.0
Totali (Euro)	4.274.330	6.850.600	330.000	11.704.930	100.0

Tabella 2 - Costi della prima annualità dei progetti di studi e ricerche in campo sismologico e vulcanologico, che per competenza ricade nel secondo semestre 2005, suddivisi per progetto e per voci di spesa. Date le sue notevoli dimensioni, il progetto V3 è stato suddiviso in 8 sottoprogetti dedicati a specifiche aree vulcaniche.

	Personale (solo UR non INGV)	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale assegnazione 1° anno
Progetti in Sismologia						
S1	48000	39750	30250	75000	57000	250000
S2	260600	219000	53000	208900	55000	796500
S3	173750	81600	25400	137800	112300	530850
S4	156350	81050	88300	157240	96100	579040
S5	85000	24300	36500	48000	28000	221800
Totale S	723700	445700	233450	626940	348400	2378190
Progetti in Vulcanologia						
V1	129000	18500	16000	57500	14000	235000
V2	86000	74600	48300	121250	29000	359150
V3_1	38000	35000	32000	224000	20500	349500
V3_2	127500	55200	27300	169500	45500	425000
V3_3	59000	33900	12600	84000	16000	205500
V3_4	54000	39700	41300	173500	27000	335500
V3_5	19000	55700	19300	120500	4000	218500
V3_6	107000	82300	72200	259500	55000	576000
V3_7	36000	29200	14300	59000	0	138500
V3_8	70000	10000	7500	35000	2500	125000
V4	98800	20500	41500	174600	79900	415300
V5	80500	64500	23500	168500	37000	374000
Totale V	904800	519100	355800	1646850	330400	3756950
Progetto misto EduRisk (SV)						
SV	0	29000	5000	134000	13000	181000
TOTALE S+V+SV	1628500	993800	594250	2407790	691800	6316140

Infine, con una lettera datata 16 novembre 2005, i Coordinatori dei Comitati di Gestione dei progetti (Dott. P. Papale per i progetti vulcanologici e Dott. G. Valensise per i progetti sismologici) hanno chiesto di poter disporre di parte dei fondi non assegnati ai progetti per sostenere le spese dei Comitati di Valutazione e Monitoraggio previsti dal Decreto 387/04, stimate in 180.000 Euro. La richiesta è stata accolta dal Presidente dell'INGV, il quale ha dato disposizione di provvedere all'Amministrazione dell'INGV.

In conclusione, la tabella 3 fornisce un riepilogo delle spese sostenute nel secondo semestre 2005. Le tabelle 4, 5 e 6 forniscono il dettaglio relativo ai singoli progetti rispettivamente sismologici, vulcanologici e misto.

Tabella 3 - Riepilogo delle somme spese nel secondo semestre 2005.

Voce di spesa	Costo (Euro)
Progetti Sismologici (S)	2.378.190,00
Progetti Vulcanologici (V)	3.756.950,00
Progetto EduRisk (S/V)	181.000,00
Compensi Comitati di Valutazione – Compenso annuale	70.000,00
Compensi Comitati di Valutazione – Revisione preliminare progetti	8.000,00
Compensi Comitati di Valutazione –Rimborsi spese di viaggio	5.062,43
Totale (Euro)	6.399.202,43

Tabella 4 - Dettaglio dei costi della prima annualità dei progetti di studio e ricerca in campo sismologico, suddivisi per singolo progetto, per unità di ricerca e per voci di spesa.

Progetto	Istituzione	Responsabile	Personale	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale 1° Anno
S1	INGV-MI	Meletti	0	7000	5000	10000	4000	26000
S1	INGV-MI	Meroni	0	4000	2000	8000	6000	20000
S1	INGV-MI	Camassi	0	5500	2500	8000	8000	24000
S1	INGV-CT	Azzaro	0	5000	1000	2000	3000	11000
S1	INGV-RM1	Gasparini	0	1000	1000	3000	3000	8000
S1	INGV-OV	Marturano	0	2250	750	2000	3000	8000
S1	Eucentre PV	Strobbia	0	4000	4000	14000	8000	30000
S1	UniSI	Albarelo	28000	3000	2000	4000	3000	40000
S1	UniBO	Gasparini	20000	1000	3000	6000	10000	40000
S1	UniGE	Spallarossa	0	0	5000	12000	3000	20000
S1	CNR-IAMI	Rotondi	0	1000	2000	0	0	3000
S1	OGS	Rebez	0	6000	2000	6000	6000	20000
S2	INGV-RM1	Basili	0	12000	12000	18000	4000	46000
S2	UniBO	Gasparini	0	3000	0	3000	0	6000
S2	INGV-MI	Meletti	0	2000	0	1000	3000	6000
S2	OGS	Brancolini	9500	12000	0	12000	0	33500
S2	CNR-BO	Argnani	9500	3500	0	1500	0	14500
S2	UniCT	Barbano	30000	11500	5000	12000	0	58500
S2	UniPG	Barchi	18100	5500	0	2200	2000	27800
S2	INGV-RM1	Burrato	0	13700	0	9300	3000	26000
S2	UniCT	Catalano	20000	5000	0	5500	3500	34000
S2	CNR-IGAG	Dogliani	19000	5000	0	2000	0	26000
S2	INGV-RM2	Favali	0	8000	0	6000	4000	18000
S2	INGV-RM1	Galadini	0	7400	0	4400	0	11800
S2	INGV-PA	Italiano	0	22500	0	20000	0	42500
S2	UniCH	Lavecchia	19000	3000	0	8000	0	30000
S2	UniBA	Mastronuzzi	0	1000	0	5000	0	6000

S2	UniBas	Mucciarelli	8500	1500	0	0	0	10000
S2	UniME	Neri	8000	3600	5000	4000	0	20600
S2	UniCH	Pizzi	16000	2000	0	0	0	18000
S2	UniPI	Scandone	0	8000	0	14000	0	22000
S2	UniBA	Siniscalchi	10000	25000	0	8000	0	43000
S2	OGS	Sirovich	0	6000	0	4000	0	10000
S2	INGV-CNT	Solarino	0	8000	0	2000	5000	15000
S2	UniBO	Tinti	0	1500	0	1000	0	2500
S2	INGV-RM1	Piatanesi	0	1500	0	1000	3000	5500
S2	UniBN	Zuppetta	8000	2000	2000	4000	0	16000
S2	INGV-RM1	Barba	0	2500	2500	0	5000	10000
S2	UniPD	Caporali	15000	2500	0	1000	0	18500
S2	UniTS	Braitenberg	10000	2500	0	1000	0	13500
S2	UniCal	Guerra	0	0	0	15000	0	15000
S2	INGV-OV	Pingue	0	10000	0	8000	0	18000
S2	INGV-RM1	Akinci	0	1000	5000	7000	5000	18000
S2	INGV-CNT	Di Giovambatt.	0	2000	3000	5000	5000	15000
S2	INGV-RM1	Cinti	0	1500	3000	3500	3000	11000
S2	PoliMI	Garavaglia	0	4000	4500	4000	5000	17500
S2	UniNA2	Godano	16000	2000	0	0	0	18000
S2	UniSI	Mantovani	15000	4000	0	2500	2500	24000
S2	INGV-RM1	Murru	0	2800	5000	5000	2000	14800
S2	OGS	Peruzza	10000	8000	4000	7000	0	29000
S2	CNR-IAMI	Rotondi	19000	2000	2000	2000	0	25000
S3	INGV-MI	Franceschina	0	7500	2500	12000	13000	35000
S3	INGV-RM1	Cultrera	0	12000	12000	41000	39000	104000
S3	OGS	Boehm	25750	14500	0	13500	6400	60150
S3	CNR-IMAA	Piscitelli	7500	13500	3500	3800	20400	48700
S3	UniBA	Del Gaudio	0	2600	1400	3000	20000	27000
S3	UniBas	Mucciarelli	19000	6000	0	18000	0	43000
S3	UniCal	Silvestri	57000	2500	0	3500	4500	67500
S3	UniCT	Maugeri	22000	5000	2000	12000	0	41000
S3	UniGE	Eva C.	18500	10000	0	6000	4000	38500
S3	UniNA	Emolo	18000	2000	4000	16000	5000	45000
S3	UniRM3	Scarascia	6000	6000	0	9000	0	21000
S4	INGV-CNT	Michelini	0	20800	58500	24700	10000	114000
S4	INGV-RM1	Akinci	0	7650	18100	95500	5000	126250
S4	OGS	Bragato	48100	13400	0	24460	0	85960
S4	UniGE	Spallarossa	38000	23400	0	6300	27000	94700
S4	UniTS	Costa	46500	6300	11700	6280	27100	97880
S4	UniRM2	Pierdicca	19000	500	0	0	0	19500
S4	UniRM1	Cardarelli	4750	9000	0	0	27000	40750
S5	INGV-CT	Langer	0	1500	4000	3500	0	9000
S5	INGV-RM1	Herrero	0	4000	16000	18000	6000	44000
S5	INGV-MI	Pessina	0	3500	3500	5000	6000	18000
S5	OGS	Priolo	25000	4300	0	4000	0	33300
S5	OGS	Sirovich	0	3000	0	2500	0	5500
S5	PoliMI	Paolucci	20000	4000	3000	5000	6000	38000
S5	Eucentre PV	Pinho	20000	1000	6000	5000	5000	37000
S5	UniGE	Lagomarsino	20000	3000	4000	5000	5000	37000
			723700	445700	233450	626940	348400	2378190

Tabella 5 - Dettaglio dei costi della prima annualità dei progetti di studio e ricerca in campo vulcanologico, suddivisi per singolo progetto, per unità di ricerca e per voci di spesa.

Progetto	Istituzione	Responsabile	Personale	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale 1° Anno
V1	UniBO	Tinti	31000	7000	7000	10000		55000
V1	UniRM1	Marsella	15000	3000	2000	3000	2000	25000
V1	UniBO	Baldi	15000	3000	2000	3000	2000	25000
V1	CNR-IGAG	Tommasi	4000	3500		2500		10000
V1	UniRM1	Chiocci	64000	2000	5000	39000	10000	120000
V2	INGV-CT	Calvari	0	1500	1500	12000	0	15000
V2	UNIMlb	Tibaldi	8000	4250	1500	1600	0	15350
V2	INGV-CNT	Castellano	0	0	0	3000	5000	8000
V2	INGV-CT	Patanè	0	1500	2500	3000	2000	9000
V2	INGV-RM2	Speranza	0	6000	2500	1000	3500	13000
V2	UniFI	Francalanci	0	3000	0	8000	0	11000
V2	INGV-CT	Andronico	0	2000	6000	6000	2500	16500
V2	INGV-RM1	Scarlato	0	4000	1000	8000	1000	14000
V2	INGV-RM1	Bertagnini	0	4000	1000	10000	0	15000
V2	UniPI	Rosi	0	2500	1500	9000	0	13000
V2	UniFI	Ripepe	0	3000	3000	1000	2000	9000
V2	INGV-OV	D'Auria	0	1500	10500	3500	0	15500
V2	INGV-RM2	Favali	0	2000	0	4000	0	6000
V2	INGV-CT	Mattia	0	3000	8000	15000	0	26000
V2	INGV-RM1	Papale	0	2500	2000	6000	3000	13500
V2	UniFI	Casagli	30000	0	0	0	0	30000
V2	UniMI	Apuani	15000	3650	0	12150	0	30800
V2	UniUrb	Renzulli	0	3500	2500	6000	6000	18000
V2	CNR-ISMAR	Marani	0	200	800	0	0	1000
V2	UniTO	Cigolini	7000	3000	0	500	2000	12500
V2	UniBO	Tranne	0	6500	1500	3000	0	11000
V2	UniRM3	De Rita	8000	2000	1500	5500	0	17000
V2	UniRM3	Mattei	18000	2000	1000	0	2000	23000
V2	UniUrb	Capaccioni	0	13000	0	3000	0	16000
V3_1	UniRM1	Gaeta	19000	1500	7000	12000	3500	43000
V3_1	INGV-RM1	Scarlato	0	1000	7000	17000	0	25000
V3_1	INGV-RM1	Pizzino	0	500	0	13500	0	14000
V3_1	INGV-RM1	Carapezza	0	2500	0	4000	10000	16500
V3_1	UniRM3	Tuccimei	0	500	1000	9500	0	11000
V3_1	INGV-CNT	De Gori	0	3000	3000	0	4000	10000
V3_1	UniCH	Poe	0	500	2000	7500	0	10000
V3_1	INGV-CNT	Riguzzi	0	16000	4000	67000	3000	90000
V3_1	INGV-RM1	Mariucci	0	0	0	67000	0	67000
V3_1	UniRM3	Giordano	19000	3000	0	4000	0	26000
V3_1	INGV-RM1	Taddeucci	0	1500	5500	3000	0	10000
V3_1	UniRM1	Bozzano	0	3500	2500	12000	0	18000
V3_1	INGV-RM1	Marra	0	1500	0	7500	0	9000
V3_2	CNR-IREA	Berardino	19000	1500	0	2000	2000	24500
V3_2	UniBO	Bonafede	19000	1500	2000	3500	0	26000
V3_2	INGV-OV	Caliro	0	6000	0	5000	15000	26000
V3_2	UniNA	Civetta	9500	3000	7000	19500	2000	41000
V3_2	UniMuenchen	De Campos	0	0	4000	8000	0	12000

V3_2	INGV-OV	Del Gaudio	0	1000	0	4000	0	5000
V3_2	INGV-OV	Di Vito	0	2000	0	7000	2000	11000
V3_2	UniRM3	Faccenna	16000	2000	2000	3000	0	23000
V3_2	UniCH	Iezzi	0	2000	0	5000	2000	9000
V3_2	INGV-RM1	Marzocchi	0	2000	1000	7000	0	10000
V3_2	INGV-RM1	Papale	0	7000	6000	18000	14000	45000
V3_2	MARS	Peluso	12500	4500	0	3000	0	20000
V3_2	INGV-OV	Petrillo	0	2000	0	8000	0	10000
V3_2	INGV-OV	Piochi	0	6000	0	10000	0	16000
V3_2	UniPG	Poli	0	3000	0	3000	2000	8000
V3_2	UniNA	Rapolla	0	1500	0	13500	0	15000
V3_2	UniRM3	Romano	19000	1000	1000	4000	1000	26000
V3_2	UniPI	Rosi	16000	3000		5000	0	24000
V3_2	UniNA	Russo	0	500	2500	2500	1500	7000
V3_2	UniPI	Sbrana	0	3000	0	13000	0	16000
V3_2	CNR-IGG	Tonarini	0	1500	1000	8500	0	11000
V3_2	UniNA	Zollo	16500	0	0	9000	0	25500
V3_2	UniTS	Petrini	0	1200	800	8000	4000	14000
V3_3	UniPa	Aiuppa	16000	4500	2500	9000	0	32000
V3_3	UniMol	Capuano	0	1500	1500	4500	1500	9000
V3_3	UniNA	D'Antonio	19000	2000	0	3500	2000	26500
V3_3	INGV-OV	De Vita	0	4500	0	2500	2000	9000
V3_3	CNR-IAMC	De Alteriis	0	2000	2000	4000	0	8000
V3_3	CEA-CNRS	Guillou	16000	0	1000	1000	0	18000
V3_3	UniPA	Luzio	0	6000	0	1000	1500	8500
V3_3	INGV-OV	Orsi	0	3500	1500	12500	5000	22500
V3_3	UniTS	Petrini	0	1000	1000	2000	2000	6000
V3_3	UniNA	Rapolla	0	1000	0	21000	0	22000
V3_3	UniPI	Sbrana	0	4000	0	9000	0	13000
V3_3	CNR-IAMC	Sprovieri	0	1250	1250	6000	0	8500
V3_3	UniBO	Tinti	8000	1250	1250	3000	2000	15500
V3_3	CNR-IGG	Tonarini	0	1400	600	5000	0	7000
V3_4	UniNA	Civetta	19000	1500	1500	2000	2000	26000
V3_4	INGV-OV	Berrino	0	1000	3000	6000	0	10000
V3_4	UniNA	De Vivo	0	500	2500	9000	0	12000
V3_4	INGV-OV	Del Pezzo3	0	3000	6000	20000	3000	32000
V3_4	UniMuenchen	Dingwell	0	0	5000	15000	0	20000
V3_4	UniRM3	Mattei	0	1500	1500	2000	2000	7000
V3_4	UniNA	Nunziata	0	0	0	5000	0	5000
V3_4	UniPI	Santacroce	0	5000	5000	19000	2000	31000
V3_4	CNRS-ISTO	Scaillet B.	0	0	4000	12000	0	16000
V3_4	UniNA	Patella	0	0	0	9000	0	9000
V3_4	UniCA	Cioni	16000	6000	4000	18000	3000	47000
V3_4	UniTS	Peresan	0	200	1800	2000	1000	5000
V3_4	INGV-OV	Pingue	0	3000	0	6000	3000	12000
V3_4	INGV-OV	Quareni	0	1000	1000	5000	4000	11000
V3_4	INGV-OV	Di Vito	0	2000	0	6000	0	8000
V3_4	UniTO	Zanella	0	5000	0	8000	2000	15000
V3_4	UniBA	Dellino	0	3500	1500	9000	0	14000
V3_4	UniNA	Gasparini	19000	1500	1500	2000	0	24000
V3_4	INGV-RM1	Neri	0	2000	1000	6000	2000	11000
V3_4	INGV-RM1	Pareschi	0	2000	0	5500	3000	10500

V3_4	UniRM3	Scandone	0	1000	2000	7000	0	10000
V3_5	UniBA	Dellino	0	10000	2000	17000	2000	31000
V3_5	INGV-OV	De Astis1	0	7200	1800	12000	0	21000
V3_5	INGV-OV	Bruno	0	6500	0	27000	0	33500
V3_5	UniBO	Romagnoli	0	4000	0	29000	0	33000
V3_5	CNR-IMAA	Piscitelli	0	4500	2500	3000	2000	12000
V3_5	UniNA	Fedi	0	1500	1500	2500	0	5500
V3_5	UniCal	De Rosa	19000	1000	1500	2000	0	23500
V3_5	INGV-PA	Inguaggiato	0	2000	7000	3000	0	12000
V3_5	UniUrb	Capaccioni	0	5000	0	1000	0	6000
V3_5	INGV-PA	Diliberto	0	4000	1000	9000	0	14000
V3_5	INGV-CT	Gambino	0	8000	2000	5000	0	15000
V3_5	CNR-IGAG	Tommasi	0	2000	0	10000	0	12000
V3_6	UniPI	Armenti	0	3000	0	4000	0	7000
V3_6	CNR-IREA	Berardino	0	1000	0	2000	2000	5000
V3_6	UniBO	Bonafede	10000	1500	1500	5000	1000	19000
V3_6	INGV-CT	Carbone	0	1000	3000	8000	2000	14000
V3_6	INGV-CT	Burton	0	2000	7000	4000	0	13000
V3_6	UniRM1	Chiocci	0	3000	0	34000	3000	40000
V3_6	INGV-CT	Coltelli	0	3000	0	12000	0	15000
V3_6	INGV-CT	Corsaro	0	2000	4000	5000	0	11000
V3_6	UniCal	Crisci	0	1000	3000	7000	4000	15000
V3_6	UniCT	Cristofolini	0	2000	1000	5500	1500	10000
V3_6	INGV-CT	Del Negro	0	1500	4000	12000	5000	22500
V3_6	UniMuenchen	Dingwell	0	0	2000	6000	0	8000
V3_6	UniBO	Dragoni	8000	500	1500	1000	2000	13000
V3_6	UniNA	Fedi	0	2000	2000	4000	0	8000
V3_6	UniCT	Fortuna	0	500	1500	7000	0	9000
V3_6	INGV-RM1	Giunchi	0	1500	2000	2000	2500	8000
V3_6	UniCT	Gresta	19000	2000	2000	10000	1000	34000
V3_6	INGV-PA	Gurrieri	0	500	1500	5000	5000	12000
V3_6	IPG Paris	Hirn	16000		2000	2000	0	20000
V3_6	UniNA	Incoronato	0	4000	0	4000	0	8000
V3_6	INGV-RM2	Meloni	0	1200	1800	3000	3000	9000
V3_6	UniNA	Milano	0	2000	1000	2500	1500	7000
V3_6	UniCT	Monaco	16000	2000	0	5000	2000	25000
V3_6	INGV-OV	Morett	0	5000	0	6000	6000	17000
V3_6	UniBO	Mulargia	19000	2000	2000	3000	0	26000
V3_6	INGV-RM1	Murru	0	2000		2000	0	4000
V3_6	INGV-RM1	Neri A.	0	4000	4000	19500	5000	32500
V3_6	INGV-CT	Neri M.	0	2000	0	3000	0	5000
V3_6	UniCT	Nunnari	0	2000	0	2000	0	4000
V3_6	INGV-PA	Paonita	0	1500	3000	10000	0	14500
V3_6	INGV-RM1	Pareschi	0	5000	0	17000	0	22000
V3_6	INGV-CT	Patanè D.	0	2000	6000	9000	3000	20000
V3_6	CNR-IMAA	Pergola	0	4000	0	3500	1500	9000
V3_6	INGV-RM1	Pompilio	0	2000	3000	8000	0	13000
V3_6	INGV-CT	Privitera	0	1000	3000	3000	2000	9000
V3_6	INGV-CT	Puglisi	0	2000	6000	2500	0	10500
V3_6	UniFI	Ripepe	19000	2000	0	1000	2000	24000
V3_6	INGV-OV	Saccorotti	0	1000	3000	5000	0	9000
V3_6	UniBA	Siniscalchi	0	7000		6000	0	13000

V3_6	INGV-RM1	Taddeucci	0	600	1400	9000	0	11000
V3_7	OGS	Brancolini	0	2000	1500	7500	0	11000
V3_7	INGV-PA	D'Alessandro	0	8000	2000	15000	0	25000
V3_7	UniNA	D'Antonio	0	4500	1000	4000	0	9500
V3_7	INGV-RM1	Landi	0	3000	0	3000	0	6000
V3_7	INGV-CT	Lanzafame	0	1700	800	6000	0	8500
V3_7	INGV-CT	Mattia	0	2000	4000	7000	0	13000
V3_7	INGV-OV	Orsi	0	4000	1000	7000	0	12000
V3_7	UniPA	Rotolo	16000	1000	3000	2000	0	22000
V3_7	UniCT	Tortorici	20000	3000	1000	7500	0	31500
V3_8	SGA srl	Guidoboni	70000	5000	7500	35000	2500	120000
V3_8	INGV-CT	Coltelli	0	5000	0	0	0	5000
V4	INGV-RM1	Marzocchi	0	2000	3000	13000	13000	31000
V4	INGV-CT	Falsaperla	0	2000	3000	32000	0	37000
V4	UniBO	Campanini	16000	1000	1000	4000	2000	24000
V4	UniSA	Crescentini	19000	1500	2500	3000	3000	29000
V4	UniNA	Zollo	38500	1000	3000	19800	2500	64800
V4	Geoazur	Virieux	0	0	12000	14000	4000	30000
V4	OGS	Priolo	25300	2000	2000	4700	0	34000
V4	INGV-RM1	Piersanti	0	1000	5000	1000	8000	15000
V4	INGV-OV	Bianco	0	2000	3000	13000	4000	22000
V4	INGV-OV	Martini	0	0	0	4000	20000	24000
V4	INGV-OV	Iannaccone	0	2000	2000	20000	20000	44000
V4	INGV-RM1	Romeo	0	2000	0	21100	3400	26500
V4	INGV-OV	Vilardo	0	3000	2000	11000	0	16000
V4	INGV-CT	Lodato	0	1000	3000	14000	0	18000
V5	UniRM3	Capelli	16500	2000	0	3000	3000	24500
V5	INGV-RM1	Carapezza	0	3000	2000	20500	5500	31000
V5	UniNA2	Castaldi	0	4500	1500	5000	0	11000
V5	INGV-OV	Chiodini	0	9000	6000	11500	5000	31500
V5	INGV-RM2	Etiope	0	4000	3000	9000	0	16000
V5	INGV-PA	Favara	0	2500	0	6500	0	9000
V5	UniPG	Froncini	12000	7500	0	6500	4000	30000
V5	INGV-PA	Giammanco	0	2000	3000	10500	3500	19000
V5	INGV-PA	Italiano	0	2000	0	16000	0	18000
V5	UniPA	Parello	0	7000	2000	11500	5000	25500
V5	INGV-RM1	Quattrocchi	0	1500	1500	19000	2000	24000
V5	CNR-IGG	Raco	16000	2500	0	3500	3000	25000
V5	UniPA	Valenza	12000	7000	3000	20000	5000	47000
V5	UniFI	Vaselli	6000	8000	0	3000	0	17000
V5	UniRM3	Barberi	18000	2000	1500	23000	1000	45500
			904800	519100	355800	1646850	330400	3756950

Tabella 6 - Dettaglio dei costi della prima annualità del progetto a carattere misto sismologico e vulcanologico (EduRisk) suddivisi per unità di ricerca e per voci di spesa.

Progetto	Istituzione	Responsabile	Personale	Missioni Italia	Missioni Estero	Beni di Consumo e Servizi	Beni Durevoli	Totale 1° Anno
SV1	INGV-MI	Camassi	0	5000	3000	45000	0	53000
SV2	INGV-CNT	Nostro	0	8000	0	25000	7000	40000
SV3	INGV-OV	Nave	0	4000	0	14000	0	18000
SV4	INGV-CT	Azzaro	0	4000	2000	8000	6000	20000
SV5	UniNA	Zuccaro	0	4000	0	11000	0	15000
SV6	INOGS	Peruzza	0	4000	0	31000	0	35000
			0	29000	5000	134000	13000	181000

RENDICONTAZIONE FINANZIARIA

INGV – Sezione di Catania

Anno 2005 - 2° semestre

cap. 141503 - Innovazione Tecnologica					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
rif. a 177	Nanometrics	Differenza tra somma impegnata nel 1° sem.'05 e spesa per regolarizzazione valuta per acquisto broadband seismoter Trilium, cignus vast remote	8.334,62	11230 del 31/08/05	931
rif. a 177	Nanometrics	regolarizzazione sdoganamento ordine Nanomterics	99,96		
236	Leica Geosystems	Ricevitore GPs Leica 1200 PRO + Gx 1220	48.600,00	95016590 del 29/07/05; 95016830 del 2/09/05	729
279	Farad	Antenna GPS Trimble Zephir geodetica	900,00		
316	Nanometrics	Antenna 1,8 m heated De.icing	3.916,48		
317	Angelo Perez	iva ed oneri doganali	1.018,29		
329	Rhode & Schwartz	Spectrum Analyzer handled 100 hz	8.072,40		
616	ITC	Switch Hp 4160 G2 + accessori	7.392,00		
647	Randazzo Daniele	Realizzazione software	11.760,00		
648	Teseo	Stampanti HP laserjet	8.352,00		
655	Nanometrics	Taurus remote field station	63.724,40		
656	Angelo Perez	iva ed oneri doganali	16.568,34		
658	Geodetics	RTD nt 30 sites post processing upgrade	7.284,26		
714	Office Center Tringale	PC Asus + monitor sansumg	1.635,60		
Totale			187.658,35		

INGV – Centro Nazionale Terremoti

Anno 2005 - 2° semestre

cap. 141503 - Innovazione Tecnologica					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
500	Souriau	Connettori	4.420,00		
287	MTI spa	Archiviaz. Dati delle Reti Sismiche e Geodetiche del CNT	190.183,86	158	117/2006*
520	Leica Geosystem spa	Staz. GPS per reti GPS permanenti Area centro-nord Italia	165.268,80		
529	Kinematics	Accelerometri Episensor	85.628,67		
539	Nanometrics	Staz. Satellitari per RSN	208.701,58		
540	Nanometrics	Rete sismica di pronto intervento	244.878,67		
541	Nanometrics	Trident per canali accelerom. stazioni satellitari	75.337,30		
542	Nanometrics	Sensori BB Trillium per RSN	141.677,31		
552	Elettroingross '94 spa	Contenitori per installazioni stazioni satellitari	1.615,68		
572	Susta spa	Arredo per laborat. Osserv. Gibilmanna	13.093,92		
595	Eltec	Batteria stazioni OBS	5.394,00		
596	Guralp	Sensore per stazioni OBS	14.950,00		
598	Elce	Gruppo di continuità Osserv. Gibilmanna	2.376,00		
599	Eltec	Batteria stazioni OBS	1.191,60		
600	Internet	Biblioteca Gibilmanna	1.635,74		
601	Sinergica	Dinamometro OBS	1.674,00		
602	RACOM.CZ	Radio Modem	1.980,00		
603	Nautilus	Strumentaz. Osservat. Gibilmanna	12.672,00		
604	Euroceanique	Connettori e Cavi OBS	18.360,00		
605	Euroceanique	Connettori e Cavi	2.940,00		
606	IN.TEC srl	Materiali per recupero OBS	10.202,40		
607	Nanometrics	Sensore per stazioni OBS	9.184,27		
608	McLane Research	Glass Flotation	12.532,35		
609	Columbia University	Strumentaz. per realizz. OBS	20.038,41		
627	Ca Plast	Produzione box stagno per staz. GAIA 2	19.998,00		
628	Elco	Circuiti stampati ALIM1 BIS	3.300,00		
629	Avnet EMG Italy spa	Prodotti per costruz. ALIM1 BIS	537,60		
630	Orem sas	Box ALIM1BIS e connettori 4 PIN	6.244,80		
631	2B Elettronica	Oscillatori per moduli GAIA2	720,00		
632	Technolasa	Materiali per costruzione ALIM1BIS	2.745,60		
633	Asystel	Display per progetto pilota SIS Corder	9.061,68		
634	Tecnosystem spa	Produzione schede AGDF2 FXT	2.064,00		
Totale			1.290.608,24		

INGV – Osservatorio Vesuviano, Napoli

Anno 2005 - 2° semestre

cap. 141503 - Innovazione Tecnologica					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
1771	Tersid srl	Materiale per laboratorio	410,40	1802	1657
1842	Net.con srl	Hard disk	416,48	222	1737
2018	Sst informatica srl	Sistemi acquisizione dati e licenza software	10.320,00	26	2285
2030	Allemano metrology	Barometro	3.480,00	1287	2004
2197	Geotec srl	Gps e cavi pc	564,00	12819	2092
2198	Lennartz electronic gmbm	Ricevitore gps	4.410,00	96107	2370
2202	A.e.p. srl	Materiale informatico	1.453,75	1970	2033
2207	Arco carpenteria d'amora	Cassone in lamiera	756,00	49	2287
2265	Sst informatica srl	Pc	1.620,00	36	2247
2341	Mondiatel sas	Telefonia	229,00	538	2003
2344	Misco italy c.s.	Materiale informatico	2.037,39	148626	2237
2371	Sst informatica srl	Pc	1.620,00	34	2014
2409	R.s. components spa	Materiale informatico	217,61	29/112710	2212
2425	Cinquepascal srl	Materiale elettrico	1.566,30	798	2209
2830	Bartolini spa	Spedizione Sensori	25,08	73	2367
2031	Lombard & marozzini	Trasduttori	5.520,00	177	322
2149	Forniture industriali alborino	Compressore e kit accessori	179,15	2877	179
2329	Computer service sas	Pc	492,00	833	357
2331	Sst informatica srl	Notebook	2.136,00	3	380
2426	Consult srl	Videocamera	1.095,00	222	180
2476	Druck italia srl	Trasduttore di pressione	960,00	107084	389
2602	R.s. components spa	Registratore dati adc con cavo	232,70	29/119103	325
2612	Computer discount napoli srl	Monitors	876,98	3281	395
2637	Misco i.c.s.	lomega nas	3.110,57	166388	282
2654	Sst informatica srl	Materiale informatico	557,88	38	189
2656	Videomaster italia	Materiale per laboratorio	780,00	298	379
2677	R.s. components spa	Materiale elettrico	379,75	84/110360	388
2680	Primatech srl	Materiale elettrico	2.042,40	56	320
2693	Tecno.el srl	Materiale elettrico	3.351,78	11	278
2709	Computer service sas	Alimentatori e pc	972,00	26	378
2711	Paltek srl	Registratore dati adc con cavo	1.300,02	876	280
2757	Golden computer srl	Materiale informatico	84,00	72	345
2762	Geotec srl	Materiale informatico	1.586,40	15607	356

2765	Repetto sport	Caschi	765,36	3	170
2766	Automatika srl	Fotocamera	802,20	10	375
2771	Vip elettronica srl	Materiale elettrico	159,70	9	333
2779	Sst informatica srl	Materiale informatico	1.030,80	1	321
Totale			57.540,70		

Nota: Somme impegnate nel 2005 e da rendicontare successivamente

N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
1215	Guralp system limited	Sismometri	81.998,07		
1216	Lennartz electronic gmbm	Sismometri	8.886,25		
1649	Codevintec italiana srl	Stazioni sismiche	62.497,20		
2152	Avino ht	Pc e monitor	1.954,80		
2185	Codevintec italiana srl	Centralina stazione tiltmetrica	24.390,00		
2410	Avino ht	Stampante e scanner	627,00		
2326	Agilent technologies	Gasromatografo	31.670,40		
2387	Leica geosystem spa	Antenne e sensori	50.934,00		
2391	Avino ht	Stampante	648,00		
2607	Pr elettronica	Pc	1.689,54		
2657	Sara di mariotti	Schede gps	3.658,80		
2682	Codevintec italiana srl	Stazioni sismiche	23.473,22		
2752	I.s.e srl	Modem	719,04		
2756	Leica geosystem spa	Laser e cavi collegamento	15.600,00		
2758	Codevintec italiana srl	Taurus nanometrics	493,20		
2763	Tersid srl	Materiale informatico	2.018,40		
2764	Boviar srl	Materiale informatico	2.220,48		
2767	Consult srl	Maschere in silicone e filtri	1.047,60		
2769	Gigieffe impianti	Erogatore di energia	1.752,07		
2770	Consult srl	Filtri	91,20		
2772	Observatoire royal de belgique	Sistema implementazione	1.100,00		
Totale			317.469,27		

INGV – Sezione di Palermo

Anno 2005 - 2° semestre

cap. 141503 - Strumentazione					
N. buono	Fornitore	Descrizione bene	Importo lordo (€)	N. fatt.	N. mdt.
8	Chloride Selectron	Gruppo Continuità	11.760,00	F134036	128
32	Computronix s.r.l.	Monitor 26"	1.428,90	280	98
137	Thermo Electron s.p.a.	Spettrometro Finnigan Delta Plus +access.	230.400,00	504507	1062
385	Lab. Service Analytica	Generatore di Idrogeno	6.240,00	1232	986
464	GV Instruments	Spettrometro Helix SFT 30% acconto	75.228,00	3353	1294
625	Geotop	Controller Hp-2110	907,20	111	115
626	GB System	2 PC P4+ 2 Monitor Philips + accessori	5.768,00	7	199
627	Radio Surplus Elettronica	Radio Test Set GSM MS HP8922M	822,00	10	96
628	Thyristor Elettronica	1Generatore funzioni + 1Analizzatore Stati logici	2.664,00	00113A	284
628	Thyristor Elettronica	1alim. Protek+ 1Analizzatore+ 1Multi Protek	3.322,80	00046A	78
630	E.S.CO. Elettronica	Wattmetro	1.024,08	A/00184	239
629	RS Components S.p.a.	1 Fluke-715 +1 Macchina A Graver GRD +1 Unità Esposizione UV	3.191,65	30/003866	141
624	Informatica Service Center	4 PC + accessori	5.904,65	62	184
624	Informatica Service Center	1 PC + accessori	808,48	9	121
624	Informatica Service Center	Comunicazione wireless	335,35		
Totale			349.805,11		

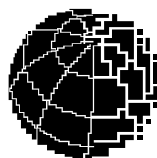
ALLEGATI

ALL. 1

Progetti sismologici

(All. 1 al Decreto 179 del 18 maggio 2005)

I - 00143 ROMA
Via di Vigna Murata, 605
Tel.: (39) 6 518501
Telex: 625835 GEOROM
Telefax: (39) 6 5041181



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

PROGETTO INGV-DPC 2004-2006

PROGETTI SISMOLOGICI

*(Attuazione dei progetti di ricerca sismologici
di particolare interesse per il Dipartimento della Protezione Civile
previsti dalla Convenzione 2004-2006 tra DPC e INGV)*

**Allegato 1
al Decreto n. 179 - 18 maggio 2005
del Presidente dell'INGV
Prof. Enzo Boschi**

Indice

Premessa	5
Tabelle finanziarie riassuntive	6
Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi <i>coord. Gian Michele Calvi e Massimiliano Stucchi</i>	7
Progetto S2 - Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia <i>coord. Dario Slejko e Gianluca Valensise</i>	21
Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico <i>coord. Francesca Pacor e Marco Mucciarelli</i>	39
Progetto S4 - Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale <i>coord. Luca Malagnini e Daniele Spallarossa</i>	57
Progetto S5 - Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi <i>coord. Ezio Faccioli e Antonio Rovelli</i>	73

Premessa

I progetti che seguono rappresentano l'articolazione dei cinque argomenti che formano l'oggetto dell'allegato tecnico (allegato 1) al punto 5c della convenzione 2004-2006 fra Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), approvato nella sua versione finale da DPC nel mese di settembre 2004.

I cinque argomenti sono stati definiti attorno a temi di interesse strategico per il DPC su cui promuovere ricerche finalizzate che possano beneficiare dell'esperienza della comunità scientifica nazionale e delle competenze presenti all'interno dell'INGV, nei settori già interessati dal programma quadro GNDT 2000-2002.

In particolare, il **Progetto S1** rappresenta il completamento del progetto svolto fra 2003 e 2004 per la redazione della mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'Ordinanza PCM 3274. Il **Progetto S2**, sviluppando ulteriormente quanto già prodotto dal progetto GNDT "Terremoti probabili...", è dedicato all'approfondimento delle conoscenze sul potenziale sismogenetico e alla definizione della probabilità di occorrenza di forti terremoti nei prossimi decenni. Il **Progetto S3** sviluppa il tema, già sviluppato da alcuni progetti GNDT 2000-2002, della definizione degli scenari di scuotimento e danno attesi a seguito di terremoti medio-forti nelle aree di Gubbio e Potenza, calibrandone i risultati attesi con le osservazioni ottenute da due terremoti recenti (Molise, 2002 e Bresciano, 2004). Il **Progetto S4** sviluppa il tema della definizione rapida di scenari di scuotimento, finalizzati a fornire al DPC uno strumento di avanguardia per la valutazione dei danni attesi e la predisposizione degli interventi. Infine, il **Progetto S5** affronta un tema emergente in ambito ingegneristico, e cioè la definizione dell'input sismico di progetto in termini di spostamento del suolo, a integrazione dei più tradizionali input espressi in termini di accelerazione del suolo.

Con il Decreto 387 (11 novembre 2004) il Presidente dell'INGV, Prof. Enzo Boschi, ha affidato la predisposizione di ciascuno dei cinque progetti a una coppia di responsabili, uno appartenente a INGV e uno a una istituzione esterna. Questa fase si è svolta nel periodo gennaio-marzo 2005 e ha comportato dapprima l'elaborazione da parte delle coppie di responsabili di una formulazione preliminare di ogni progetto. A questa fase è seguita la raccolta, selezione e negoziazione dei contributi da parte delle Unità di Ricerca interessate, sia interne che esterne all'INGV. Nel corso della formulazione dei progetti particolare attenzione è stata rivolta alla definizione di *deliverable* di utilizzo immediato e pratico per DPC, la cui realizzazione verrà comunque sostenuta da ricerca scientifica di alto livello.

I progetti così definiti sono stati sottoposti a una valutazione di tipo speditivo da parte del Collegio di Istituto INGV e da parte di un revisore di chiara fama, non coinvolto nella realizzazione dei progetti stessi. In base alle risultanze di queste valutazioni i progetti sono stati revisionati dai responsabili nel corso del mese di maggio 2005 e sottoposti nuovamente al revisore per una verifica finale.

I progetti iniziano il 1° giugno 2005 e avranno termine il 31 luglio 2007, per una durata totale di 26 mesi suddivisi in due fasi di 13 mesi ciascuna. Subito dopo l'avvio INGV, d'intesa con DPC, completerà il Comitato dei Revisori, come stabilito dall'art. 7 del Decreto INGV 387 (11 novembre 2004). Il mese di giugno 2006 sarà dedicato alla verifica dei risultati conseguiti nella prima fase.

L'insieme dei dieci responsabili forma il Comitato di Gestione dei progetti, del quale Gianluca Valensise è stato nominato coordinatore a partire dal 1 giugno 2005. Sono in corso di definizione le modalità di consultazione e coordinamento con il Committente DPC.

I responsabili dei cinque progetti hanno cercato e ottenuto il massimo coinvolgimento della comunità scientifica italiana. Oltre ai maggiori enti di ricerca (CNR, OGS, oltre allo stesso INGV), collaborano ai progetti il Centro Europeo di Ricerca in Ingegneria Sismica di Pavia (EUCENTRE) e oltre venti atenei distribuiti su tutto il territorio nazionale.

In totale risultano coinvolte 78 Unità di Ricerca e 572 ricercatori, per un totale di 2.711 mesi/persona e una media di 2,4 mesi/persona annui per ricercatore. Il progetto finanzia inoltre 1.059 mesi/persona ad assegnisti, borsisti e dottorandi. Lo schema che segue riassume la forza lavoro complessivamente disponibile:

Progetto	Unità di Ricerca	Unità di Personale	Mesi/persona*	Mesi/persona**
S1	12	57	283	54
S2	40	278	1143	380
S3	11	113	577	306
S4	7	89	582	252
S5	8	35	126	67
Totale	78	572	2711	1059

* non include assegnisti, borsisti e dottorandi finanziati dal progetto

** solo assegnisti, borsisti e dottorandi finanziati dal progetto

Il costo totale dei progetti è di 4.274.330 Euro, così ripartiti per progetto e per voci di spesa:

	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumabili e servizi		Materiale durevole		Totale per annualità		Totale generale
	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	I° anno	II° anno	tot
S1	48.000	48.000	39.750	41.250	30.250	33.750	75.000	63.000	57.000	38.000	250.000	224.000	474.000
S2	267.100	249.700	201.800	211.200	57.000	53.000	210.100	199.800	58.500	20.000	794.500	733.700	1.528.200
S3	173.750	156.850	81.600	83.00	25.400	30.500	137.800	98.300	112.300	35.500	530.850	404.150	935.000
S4	138.950	138.750	73.450	56.200	85.500	89.100	132.780	111.800	99.300	60.300	529.980	456.150	986.130
S5	85.400	43.700	24.300	18.300	36.500	23.200	47.300	31.300	28.000	13.000	221.500	129.500	351.000
Tot.	713.200	637.000	420.900	409.950	234.650	229.550	602.980	504.200	355.100	166.800	2.326.830	1.947.500	4.274.330

La ripartizione dei finanziamenti fra gli enti e le voci di spesa è la seguente:

	Personale	Miss. Italia	Miss. estero	Consumabili e servizi	Materiale durevole	Totale	%
INGV	0	340.000	335.000	592.500	206.000	1.473.500	34,5
CNR	110.000	44.000	14.000	18.600	27.400	214.000	5,0
OGS	244.200	155.200	13.000	92.600	63.500	568.500	13,3
Università	985.000	274.650	85.200	368.480	199.000	1.912.330	44,7
Altri	30.000	9.000	17.000	29.000	21.000	106.000	2,5
Totale	1.369.200	822.850	464.200	1.101.180	516.900	4.274.330	100,0
%	32,0	19,3	10,9	25,8	12,1	100,0	

Come si può notare, circa due terzi del finanziamento (per la precisione il 65,5%) sono stati assegnati a Unità di Ricerca esterne a INGV.

Il grande interesse mostrato dalla comunità scientifica per i temi descritti, l'attesa consapevole del Dipartimento per i risultati dei progetti, le novità organizzative introdotte da INGV per una gestione snella ed efficace dei progetti stessi, l'introduzione di un passaggio di valutazione iniziale e di un monitoraggio in corso d'opera, assicurano ai progetti stessi un quadro di riferimento solido e di ottimo auspicio.

Maggio 2005

Progetto S1

**Proseguimento della assistenza a DPC per il
completamento e la gestione della mappa di pericolosità
sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e
progettazione di ulteriori sviluppi**

coordinatori: GianMichele Calvi (EUCENTRE) e Massimiliano Stucchi (INGV-MI)

1. Obiettivo

Questo progetto rappresenta la continuazione di attività che INGV, con alcuni collaboratori esterni, ha intrapreso a favore di DPC a partire dalla seconda metà del 2003 e per tutto il 2004, per la compilazione della mappa di pericolosità sismica denominata MPS04. Per questo motivo il Decreto INGV 387, con riferimento alle modalità di predisposizione dei progetti, recita:

“I progetti S1 e VI, che costituiscono la prosecuzione di attività previste da precedenti convenzioni, proseguono senza la necessità dei predetti adempimenti”

I coordinatori hanno comunque avviato un confronto con gli operatori interessati, che ha visto un momento di discussione in un seminario tenutosi a Milano il 31.01.2005; in seguito hanno valutato i contributi e le proposte ricevute. Da questa fase sono emersi i seguenti obiettivi principali:

- 1) completamento delle elaborazioni relative a MPS04, con riferimento alla valutazione di amax per le isole, per altri periodi di ritorno e per una ordinata spettrale, e sviluppo del sito web per la disseminazione dei materiali del progetto;
- 2) realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, utilizzando sia l'approccio utilizzato per MPS04, sia approcci di sito, ed effettuazione di confronti fra tali valutazioni, MPS04 e dati osservativi;
- 3) contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente, attraverso il pieno utilizzo del potenziale informativo di MPS04 e il confronto con elaborati basati su ipotesi non stazionarie di sismicità, già disponibili o realizzabili in tempi brevi;
- 4) aggiornamento dei database sismologici non altrimenti aggiornati da INGV o da altri enti, con particolare riferimento al database macrosismico e ai prodotti correlati (catalogo parametrico e stime di completezza, ecc.).

In aggiunta, utilizzando principalmente i risultati conseguiti ai punti precedenti, il progetto intende formulare *suggerimenti e contributi* per: a) la gestione delle fasce di tolleranza previste dall'Ordinanza e dei valori di incertezza associati alle stime di amax, anche in relazione ai confronti di cui all'obiettivo 2); b) l'aggiornamento delle azioni di progetto delle norme sismiche; c) la definizione degli input per il progetto S5; d) l'eventuale aggiornamento di MPS04.

Il progetto, viceversa, non intende perseguire obiettivi quali:

- i) la realizzazione di confronti fra MPS04 e altre valutazioni di amax, basate sull'utilizzo di elementi di input e codici di calcolo diversi da quelli usati per MPS04. L'Ordinanza 3274 richiede infatti esplicitamente che tali confronti vengano eseguiti da soggetti *non* coinvolti nella redazione degli elaborati;
- ii) la predisposizione di database complessi, da mettere a disposizione dell'utenza, risultanti ad esempio dal confronto/validazione di documenti di pericolosità sismica di affidabilità comparabile, dalla selezione di accelerogrammi specifici, ecc., in quanto ritiene che tali attività competano eventualmente a DPC, mediante USSN.

E' necessario sottolineare che il progetto è stato dimensionato sugli obiettivi descritti, alcuni dei quali, peraltro, rappresentano aggiunte rispetto a quanto previsto dall'allegato tecnico alla convenzione INGV-DPC, cui si rimanda.

La valutazione speditiva preliminare ha suggerito alcune integrazioni che, per quanto onerose, il progetto cercherà di soddisfare, d'intesa con il Committente e, in alcuni casi, nel secondo anno di attività.

E' stata suggerita inoltre l'estensione del progetto ad altri obiettivi, quali ad esempio la redazione di mappe basate su modelli non stazionari della sismicità. Mentre non si può che concordare sulla opportunità che gli enti di ricerca sviluppino questo settore di ricerca, si ritiene comunque

opportuno sottolineare che non è automatico, né indispensabile, che tali sviluppi avvengano nell'ambito di una convenzione con DPC; tanto meno nell'ambito di questa convenzione che non lo richiede e le cui risorse non sarebbero comunque sufficienti.

In definitiva il progetto ritiene di concentrare sforzi e risorse per rispondere al meglio alle reali esigenze del Committente, e di ricercare altre sedi e altri finanziamenti per lo sviluppo di ricerche di avanguardia ma i cui risultati non siano direttamente utilizzabili da parte del Committente stesso.

Il progetto propone comunque che il tema degli sviluppi metodologici venga affrontato nell'ambito del punto d) dei *suggerimenti e contributi* citati più sopra avviando, a partire dal secondo anno, un gruppo di lavoro, aperto anche alla partecipazione di ricercatori designati dal progetto S2, con il compito di proporre iniziative future.

2. Stato dell'arte

2.1 Contesto di utilizzo di MPS04. Nel corso del 2004 INGV ha consegnato a DPC, previa approvazione da parte di un gruppo di revisori e della Commissione Grandi Rischi, la mappa di pericolosità sismica MPS04, redatta ai sensi della Ordinanza 3274 quale riferimento ufficiale per l'assegnazione dei Comuni alle zone sismiche da parte delle Regioni. L'adozione di MPS04 è in corso di effettuazione da parte di DPC.

I valori puntuali di MPS04, la descrizione delle procedure e delle elaborazioni, i materiali di base utilizzati, ecc., sono stati resi disponibili al pubblico, per la prima volta in Italia per questo tipo di analisi, all'indirizzo internet <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>; il sito vede un accesso costante da parte di un'utenza diversificata.

Vale la pena di ricordare ancora una volta che il problema della definizione delle zone sismiche è passato negli ultimi anni sotto le competenze delle Regioni. Per quanto riguarda le competenze di DPC, il suo compito principale può dirsi praticamente esaurito con:

- a) la definizione dei criteri secondo i quali vanno redatte le mappe di pericolosità sismica a supporto della definizione delle zone sismiche, di competenza delle Regioni, criteri che stabiliscono anche le modalità con cui deve avvenire il confronto fra elaborazioni diverse, quando disponibili;
- b) la messa a disposizione delle stesse Regioni dell'elaborato di riferimento MPS04 e del suo corredo informativo.

Si può ipotizzare che a DPC venga richiesto di esercitare, nei confronti delle Regioni, attività di: i) assistenza per la gestione di MPS04; ii) "vigilanza" sul rispetto dei suddetti criteri.

Nel corso degli ultimi anni sono state prodotte, per finalità e in contesti diversi, varie valutazioni di pericolosità sismica, basate su approcci in parte simili, in parte diversi da quelli utilizzati per MPS04. In generale, tali elaborazioni si riferiscono a porzioni limitate di territorio: si vedano – tra gli altri - i risultati dei progetti GNDT, recentemente conclusi, relativi alle aree di Vittorio Veneto, Liguria Occidentale, Città di Castello ecc. Altre valutazioni sono in corso di elaborazione a cura delle Regioni. Mentre l'Ordinanza esclude la possibilità che INGV – quale redattore di MPS04 - si faccia carico di eventuali confronti, DPC potrebbe essere chiamato a svolgere tale ruolo.

E' interessante notare, inoltre, che la disponibilità di valori puntuali di amax di MPS04 stimola in modo crescente i progettisti a fare diretto riferimento ai predetti valori, nell'ambito delle tolleranze concesse dalle norme sismiche dell'Ordinanza. E' quindi ipotizzabile che DPC promuova un'attività di assistenza diretta ai progettisti, attraverso la messa a disposizione di: a) valutazioni complementari a quelle di MPS04 (obiettivo 1 del progetto); b) dati accelerometrici, ecc;

L'insieme di queste esigenze potrebbe richiedere un'attività complessa di trasferimento, che dovrebbe rappresentare uno dei compiti istituzionali e più qualificanti dell'apposito ufficio DPC (USSN). In questa prospettiva questo progetto è pronto a collaborare con DPC, nel rispetto dei reciproci ruoli, anche mediante il trasferimento dell'intero archivio di MPS04 e degli aggiornamenti che verranno conseguiti nel corso dello sviluppo del progetto stesso.

2.2 Il problema della "validazione". Il problema della valutazione della qualità/affidabilità di un elaborato di pericolosità sismica passa in primo luogo attraverso un'analisi "interna" di coerenza, robustezza e livello di aggiornamento dei dati e delle metodologie utilizzate; sotto questo aspetto pregi e limiti di MPS04 sono ampiamente noti e ben descritti nelle valutazioni dei revisori.

E' comunque evidente che scelte di tipo diverso in materia di dati di ingresso e di metodologie di calcolo avrebbero potuto portare a risultati differenti; tuttavia, non sono ancora disponibili procedure accettate che consentano di stabilire quali elaborazioni siano "migliori" di altre.

Il problema della definizione della qualità relativa di stime diverse di pericolosità sismica deve infatti essere affrontato con procedure compatibili con il carattere intrinsecamente probabilistico delle stime stesse. Nonostante esista sull'argomento una vasta letteratura (es., Lindley, 1987; Lind, 1996; Whinkler, 1996), a parte poche eccezioni (Grandori, 1993; Kagan e Jackson, 1994; Jackson, 1996; Grandori et al., 1998, 2004; Albarello e D'Amico, 2000; Albarello e Mucciarelli, 2003) il problema non ha ancora trovato molta eco nella letteratura sismologica.

Anche per questi motivi in questo progetto non si ritiene utile – come ricordato più sopra - operare confronti con elaborazioni "simili" a MPS04, basate su relazioni di attenuazione di parametri strumentali del moto del suolo.

Si intende viceversa promuovere confronti con elaborazioni che utilizzino al meglio la grande base informativa disponibile in termini di intensità macrosismica messa a disposizione dalle ricerche di sismologia storica prodotte negli ultimi anni (Monachesi et al., 1997; Boschi et al. 2000, ecc.).

Questi confronti richiedono la redazione di mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica con diversa probabilità di eccedenza in 50 anni che potranno essere redatte secondo due approcci diversi:

- a) con procedure analoghe a quelle utilizzate per la redazione di MPS04, utilizzando il medesimo impianto e leggi di attenuazione dell'intensità opportunamente calibrate;
- b) con metodologie basate sull'impiego delle storie sismiche di sito (Magri et al., 1994; Albarello e Mucciarelli, 2002; Albarello et al., 2002, ecc.).

In questa fase risulterà opportuno aggiornare al meglio le correlazioni oggi disponibili fra i parametri di scuotimento, con particolare riferimento alle correlazioni a_{max}/I e v_{max}/I .

2.3 Il problema della priorità di intervento sugli edifici esistenti. L'introduzione della normativa sismica prevista dall'Ordinanza e la disponibilità di MPS04 comporta che, qualora si proceda alla valutazione della sicurezza sismica di edifici, ci si riferisca a valori di a_{max} o a spettri di accelerazione con forma spettrale data dalle norme e magnitudo coerente con a_{max} . In sintonia con le più avanzate normative sismiche, l'Ordinanza definisce le condizioni limite per l'adeguamento come: il soddisfacimento della sicurezza per le vite umane per uno scuotimento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (stato limite di danno severo, SLDS) e/o la prevenzione nei confronti del collasso per uno scuotimento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (stato limite di collasso SLCO), oltre alla prevenzione nei confronti di danni strutturali per uno scuotimento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 50% in 50 anni (stato limite di danno limitato, SLDL).

Per rispondere a queste esigenze è opportuno: i) esplorare la dipendenza alla scala regionale della

accelerazione di picco dal periodo di ritorno; ii) considerare la sismicità recente in relazione all'andamento di lungo termine e disporre di valutazioni probabilistiche di occorrenza a breve termine. Per questo scopo è opportuno disporre di informazioni, sia pure preliminari, provenienti da modelli non stazionari di sismicità. Una fase preliminare di questa ricerca è stata avviata da Eucentre.

2.4 L'aggiornamento dei database sismologici. Questo obiettivo non rientra fra quelli strettamente definiti dalla convenzione INGV-DPC; esso rappresenta tuttavia un complemento utile, e in alcuni casi indispensabile, per la realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica aggiornate. Ad esempio, è ovvio che per il conseguimento dell'obiettivo 2) sarebbe opportuno disporre di dati osservati il più aggiornati possibile.

Per quanto riguarda i dati macrosismici, la base di dati (DBM04, DataBase Macrosismico 04) che sostiene il catalogo parametrico CPTI04 viene resa disponibile in questi giorni.

Tuttavia, nel corso della compilazione di CPTI04 è stata anche esplorata - parzialmente - la notevole produzione recente di dati macrosismici, che non è confluita nel catalogo stesso per ragioni di tempo. Risulterà quindi utile aggiornare il database e provvedere alla compilazione di una nuova versione del catalogo CPTI, migliorando anche le procedure per la stima dei parametri dei terremoti, con particolare riferimento alle magnitudo.

Analogamente, sarebbe opportuno migliorare le stime di completezza di CPTI04, ottenute per ogni ZS di ZS9 su base sia storica che statistica, e in particolare: i) ottenere stime di completezza di sito almeno per un'ulteriore ventina di città, opportunamente distribuite, in modo da raddoppiare il numero di località di calibrazione oggi disponibili; ii) procedere a una revisione delle stime basate sull'approccio statistico.

Per quanto riguarda i dati accelerometrici, è ben nota la difficoltà di fare riferimento ad una banca dati aggiornata, completa, autorevole e pubblica. Poiché questo compito è attualmente di competenza di USSN, è necessario che il problema venga affrontato a livello di vertici INGV/DPC.

3. Descrizione del progetto

Task 1 - Completamento delle elaborazioni relative a MPS04

Obiettivi di questo task sono:

- i) completare le elaborazioni relative a MPS04, con particolare riferimento alla valutazione di amax per le isole per le quali l'approccio utilizzato per MPS04 non è risultato praticabile;
- ii) realizzare una serie di valutazioni complementari a MPS04, utilizzandone lo stesso impianto metodologico;
- iii) eseguire una serie di verifiche e controlli allo scopo di meglio quantificare i contributi delle incertezze aleatoria e epistemica
- iv) produrre valutazioni sperimentali di pericolosità sismica calibrate per le condizioni locali
- v) ampliare e potenziare il sito web per la disseminazione dei risultati del progetto.

i) Il modello di zonazione sismogenetica ZS9 non rappresenta completamente le caratteristiche cinematiche a cui ricondurre la sismicità di molte delle isole e, pertanto, non consente di valutarne correttamente la pericolosità sismica. Si dovrà pertanto ricorrere a metodologie particolareggiate che saranno individuate caso per caso. Ad esempio, per le isole di Ustica, Alicudi e Filicudi verrà utilizzata la ZS F (zona offshore del Basso Tirreno) non utilizzata per le valutazioni di amax relative alla Sicilia settentrionale; in altri casi si delimiteranno piccole zone sorgente da

caratterizzare con la sismicità recente strumentale, e così via. Ove possibile si eseguiranno confronti preliminari con i dati di intensità disponibili per le isole stesse.

ii) La mappa MPS04, come previsto dall'Ordinanza 3274, rappresenta il valore di a_{max} atteso con la probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente a un periodo di ritorno di 475 anni. Si prevede di completare la descrizione della pericolosità sismica in Italia con la realizzazione delle seguenti ulteriori uscite: a) valutazione di a_{max} con le seguenti probabilità di superamento in 50 anni: 81, 63, 50, 39, 22, 5, 2, rispettivamente corrispondenti ai periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 475, 1000 e 2500 anni; b) valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec. e, eventualmente, ad altri periodi di interesse ingegneristico.

Nel corso del secondo anno verrà studiata la fattibilità di: (1) valutare la pericolosità sismica anche per periodi di ritorno di 5.000 e 10.000 anni, allo scopo di evidenziare incongruenze non facilmente identificabili per periodi più corti; (2) e di valutare il massimo moto aspettato (es. A_{max} o V_{max}) su tutto il territorio nazionale, con particolare riguardo ai lunghi periodi di ritorno (1.000-10.000 anni). Per questi obiettivi – in collaborazione con il progetto S5 - verrà considerata la possibilità di introdurre leggi di attenuazione non-lineari per accelerazioni elevate.

iii) A titolo sperimentale - e per limitate porzioni del territorio - verranno eseguite valutazioni della pericolosità prendendo in considerazione diverse leggi di attenuazione, modelli alternativi di sorgenti sismiche, di M_{max} e di valutazione della completezza, con la definizione di un albero logico più complesso di quanto non utilizzato da MPS04, allo scopo di meglio quantificare i contributi delle incertezze aleatorie e epistemiche.

iv) Il Progetto GNDT "Terremoti probabili..." ha elaborato la mappa di riferimento tipo NEHRP per il territorio nazionale. Verranno elaborate mappe di pericolosità sismica e di spettri di risposta locali (damping 5%) per il territorio nazionale, allo scopo di fornire uno strumento di grande importanza per la valutazione di scenari di rischio per tutto il territorio nazionale, e un prodotto di immediato utilizzo per varie applicazioni locali. Tali mappe, in aggiunta, consentiranno di verificare l'effettiva corrispondenza statistica degli spettri per varie categorie di suolo definiti nella nuova norma di costruzione antisismica (transitoria per EuroCodice8), con gli spettri calcolati per la cartografia nazionale, verifica che non è stata possibile sino ad oggi.

v) Al fine di rendere velocemente e facilmente disponibili i risultati di valutazioni di pericolosità sismica ad un vasto pubblico che comprende comunità scientifica, progettisti e pianificatori, verrà sviluppato e potenziato il sito zonesismiche.mi.ingv.it, che ha svolto un ruolo importante nel corso della redazione di MPS04. Una parte rilevante di attività sarà dedicata allo sviluppo dell'interfaccia webgis per la pubblicazione delle mappe e la loro consultazione interattiva; in modo tale che il singolo utente potrà interrogare, zoommare, selezionare i dati e salvarli sul proprio computer. Saranno rese disponibili così le mappe di a_{max} per diversi periodi di ritorno in termini di 50mo percentile e relative incertezze; le curve di hazard di singoli siti, attivabili selezionando il singolo nodo della griglia di calcolo o il capoluogo comunale; mappe di disaggregazione secondo rappresentazioni standard, ecc. Tutti i dati e le elaborazioni saranno posti su una base geografica e amministrativa di riferimento che consenta una rapida localizzazione dei siti rappresentati in modo da essere un supporto anche per le amministrazioni regionali in fase di recepimento dell'Ordinanza PCM 3274.

Task 2 - Realizzazione di valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica ed effettuazione di confronti fra MPS04 e le tali valutazioni

Come ricordato più sopra, per la redazione di MPS04 sono state considerate alcune relazioni di attenuazione di soli parametri strumentali del moto del suolo. Tale scelta, considerata come

standard dalla maggior parte delle procedure del settore, incontra i ben noti limiti derivanti dalla limitata estensione cronologica dei dataset utilizzati per la calibrazione delle relazioni stesse.

Un altro limite, spesso trascurato ma non per questo meno significativo, è costituito dal fatto che molto spesso i parametri dei terremoti utilizzati per la predetta calibrazione provengono da fonti diverse da quelle utilizzate per calcolare i tassi di sismicità, introducendo notevoli elementi di incoerenza nell'intero processo di valutazione della pericolosità sismica.

La disponibilità dei dati macrosismici italiani, che coprono un ampio intervallo cronologico, rende possibile progettare un'operazione di valutazione della pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica del tutto coerente al suo interno, articolata in due percorsi:

- a) valutazione di I con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04 e relazioni di attenuazione opportunamente calibrate, considerando anche relazioni regionalizzate dedotte da indagini tomografiche (Carletti et al., 2003);
- b) valutazione di I con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando metodi di sito con: i) soli dati di sito originali; ii) dati di sito integrati da dati "virtuali", dedotti da dati epicentrali (distanza dall'epicentro macrosismico e intensità epicentrale) o dai valori di intensità documentati in località vicine.

Per effettuare entrambi i percorsi è necessario disporre di relazioni di attenuazione dell'intensità macrosismica calibrate per via empirica, parametrizzate nella loro forma probabilistica completa (Magri et al., 1994; Cella et al., 1996; Zonno et al. 1995; Gasperini, 2001; Albarello e D'Amico, 2004; Rotondi e Zonno, 2004). I dati virtuali citati più sopra possono essere dedotti anche dai valori di intensità osservati in località limitrofe (entro un raggio ΔR) in corrispondenza dello stesso evento, ad esempio prendendo in considerazione il concetto dei Vicini Naturali (Natural Neighbour) o del Nearest Neighbour (Okabe et al., 2000).

Per rendere le elaborazioni così ottenute confrontabili con MPS04 occorre utilizzare – o al limite determinare ex-novo - opportune relazioni empiriche (possibilmente espresse in forma di distribuzioni di probabilità) che mettano in relazione i valori di intensità con quelli degli stimatori strumentali negli stessi siti (es. Margottini et al., 1992; Atkinson e Sonley, 2000). A questo punto sarà possibile applicare procedure che permettano di definire la qualità relativa delle stime e la loro validità in rapporto alle osservazioni disponibili (es. Albarello e D'Amico, 2000; Albarello e Mucciarelli, 2003). Elemento essenziale di queste procedure sarà la definizione di un quadro di osservabili congruente con il carattere della valutazione di pericolosità (amax o intensità) e di un periodo di controllo (voting) di dimensioni compatibili con l'intervallo di esposizione di volta in volta considerato (decine di anni). Sia confronti "in avanti" (utilizzando come controllo un intervallo di tempo non considerato per la parametrizzazione del modello di calcolo) sia "all'indietro" (utilizzando come controllo un intervallo di tempo considerato per la parametrizzazione del modello di calcolo) possono fornire utili indicazioni.

Task 3 - Contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente

Questo task – a carattere sperimentale e "di servizio" – non è previsto dall'Allegato Tecnico alla convenzione. Esso è scaturito dalla volontà del progetto di rispondere ad una esigenza specifica - e non rinviabile - del DPC: la definizione della priorità di intervento su edifici di importanza strategica non adeguati sismicamente. Il progetto ha chiaro che non è disponibile nè un elaborato direttamente utilizzabile, nè una metodologia consolidata; tuttavia, dato il carattere di urgenza dell'esigenza DPC e avendo chiaro che questo task cercherà di fornire elementi utili:

- a) utilizzando il massimo della informazione estraibile dalle elaborazioni basate su modelli

stazionari della sismicità, con particolare riferimento a MPS04;

- b) eseguendo confronti fra le informazioni così ottenute e elaborazioni, già disponibili o ottenibili in modo speditivo, basate sull'utilizzo di modelli di sismicità non stazionari.

In primo luogo si procederà a esaminare, per tutti i siti di interesse, le similitudini e le differenze fra le curve di pericolosità sismica. Parallelamente verranno realizzati scenari sismici, in termini di coppie magnitudo-distanza, calcolati mediante un processo di disaggregazione a partire da MPS04. Come è ovvio la coppia magnitudo-distanza che fornisce il massimo contributo alla pericolosità sismica per ogni sito cambia a seconda del periodo di ritorno considerato, tipicamente 30 o 50 anni. La disaggregazione consente di ottenere un'immagine approssimata delle aree che più contribuiscono alla pericolosità sismica nell'intervallo di tempo di interesse.

Il limite di questa procedura è identificabile nel carattere "time-independent" che caratterizza la valutazione della pericolosità sismica MPS04. Tuttavia, il suo principale pregio consiste nella capacità di ottenere in modo speditivo e relativamente semplice un risultato che può essere confrontato con elaborati più complessi basati sull'utilizzo di modelli di sismicità non stazionari. Fra questi, occupano un posto di rilievo gli elaborati prodotti dal Progetto GNDT 2000-2002 "Terremoti probabili...", (coord. da A. Amato e G. Selvaggi), formulati in termini sia di probabilità di occorrenza di terremoti, sia di amax con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Altri elaborati di confronto, finalizzati ad ottenere in modo speditivo valutazioni probabilistiche di occorrenza a breve termine, potranno essere ottenuti dall'utilizzo della metodologia di analisi non parametrica proposta da Faenza et al., 2003; Cinti et al., 2004. Rispetto ai numerosi approcci statistici tradizionali, la particolarità del metodo risiede nella possibilità di verificare direttamente le ipotesi di distribuzione dei terremoti, non imponendo a priori alcuna legge temporale specifica (per esempio, gap sismico, cluster, Poisson, ecc.), e nel considerare parametri geofisici/geologici che potrebbero influenzare la distribuzione spazio-temporale della sismicità ed allo stesso tempo valutarne l'importanza. Applicazioni recenti hanno utilizzato i terremoti con M 5.5+ avvenuti negli ultimi 400 anni distribuiti su una griglia spaziale regolare (Faenza et al., 2003) e su una regionalizzazione basata sui diversi regimi tettonici e caratteristiche sismologiche (Cinti et al., 2004). In particolare si intende sperimentare questa metodologia utilizzando altre regionalizzazioni, fra cui ZS9, e utilizzare diverse soglie di completezza temporale del catalogo sismico in funzione del grado di conoscenza della storia sismica delle varie aree considerate.

Questo task, che potrà giovare di un coordinamento con il progetto S2, si esaurirà entro la metà del progetto; in alternativa potrebbe continuare se le esigenze di DPC lo richiederanno.

Task 4 - Aggiornamento dei database sismologici

Come ricordato, questo obiettivo non fa parte dell'allegato tecnico alla convenzione INGV-DPC. Tuttavia l'aggiornamento dei dati di base è da considerarsi quale obiettivo strategico per il conseguimento di numerosi obiettivi, di questo progetto così come di altri di cui alla stessa convenzione. Obiettivi di questo task sono pertanto:

- a) l'aggiornamento del database macrosismico DBM04 con il rilascio della versione DBM06;
- b) la compilazione della versione CPTI06 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani;
- c) l'aggiornamento delle valutazioni di completezza del catalogo per vari livelli di Mw.

Per quanto riguarda il database macrosismico, esso verrà integrato con gli studi più recenti inventariati nel corso della compilazione di CPTI04, ed essenzialmente: a) la versione 3 del Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI3, Boschi et al., 2000); b) il database francese SISFRANCE (SisFrance, 2002); c) il database svizzero ECOS (Swiss Seismological Service,

2002); d) studi monografici sulla sismicità di Catania e Bologna (Boschi e Guidoboni, 2001; 2003); e) studi di terremoti realizzati dalla società SGA per INGV relativamente al Molise e all'Italia settentrionale; f) studi di terremoti relativi ad aree (Sicilia orientale, Basilicata, Veneto settentrionale, Bassa Padana) o singoli eventi di particolare interesse realizzati da ricercatori INGV (sezioni di Milano e Catania) e SSN (Molin et al., 1999; Galli et al., 2002); g) altri studi storico-macrosismici disponibili in letteratura; h) rilievi macrosismici di terremoti recenti; i) bollettini strumentali e macrosismici INGV per il periodo 1993-2005.

Il catalogo parametrico CPTI verrà aggiornato secondo due modalità:

- (1) Dapprima verrà prodotta una versione compilata con gli stessi criteri di CPTI04, aggiornata nella base di dati che sostiene i parametri dei terremoti utilizzando i nuovi dati citati al punto precedente. Nell'occasione verranno eseguiti anche confronti con altri cataloghi strumentali, quali ad esempio il recente catalogo CSI e i cataloghi ISC e NEIC, allo scopo di migliorare il contenuto riguardante le zone di confine; verranno inoltre aggiornate le modalità di determinazione di alcuni tipi di magnitudo.
- (2) Parallelamente si verificherà la possibilità di compilare un catalogo di nuova impostazione, con particolare riferimento ai seguenti problemi: i) *formato*, per includere - ad es. - la possibilità di doppie localizzazioni (macrosismica e strumentale; ii) *inclusione delle repliche*, al di sopra di una soglia definita, determinando i parametri per tutte le repliche per le quali siano disponibili dati di base, e attivando indagini ad hoc per quelle che ne risultano sprovviste. Nell'occasione verranno riesaminate alcune situazioni complesse, riguardanti alcuni eventi rimossi in modo automatico, quali presunte repliche, nel processo di revisione del catalogo PFG.

Le valutazioni di completezza per la compilazione di MPS04 sono state effettuate estendendo alle ZS i dati puntuali determinati con approcci sia storici che statistici. Si intende in questo progetto aumentare il numero dei punti oggetto di indagine storica, applicando e possibilmente aggiornando la metodologia speditiva utilizzata in precedenza. Parallelamente, le valutazioni di tipo statistico verranno effettuate su una maglia più fitta di località e aggiornate alla versione più recente del catalogo parametrico. Particolare attenzione verrà riservata al problema della definizione dell'incertezza delle stime effettuate con entrambi gli approcci.

Ulteriori risultati e suggerimenti

In aggiunta ai risultati previsti dai task descritti in precedenza, il progetto si propone di contribuire:

- a) alla gestione delle fasce di tolleranza previste dall'Ordinanza 3274 e dei valori di incertezza associati alle stime di amax di MPS04, attraverso i risultati conseguiti nell'ambito di Task 2, che offriranno elementi indipendenti per supportare le scelte di competenza delle Regioni;
- b) all'aggiornamento delle azioni di progetto delle norme sismiche, ad esempio tramite il confronto fra i valori spettrali previsti dalle norme e quelli ottenuti da elaborazioni del materiale di MPS04 (es.: spettri a pericolosità uniforme);
- c) alla formulazione di suggerimenti per l'eventuale aggiornamento di MPS04.

Infine, il progetto S1 fornirà al progetto S5 gli elementi di input più aggiornati per la realizzazione delle mappe previste da quel progetto, e contribuirà attivamente alla redazione delle mappe stesse.

4. Deliverable attesi

	Task1	1a scad.	2a scad.
D1	valutazione standard (10%, 475 anni) di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04	sett. 05	lug. 07
D2	valutazione di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) con le seguenti probabilità di superamento in 50 anni: 81%, 63%, 50%, 39%, 22%, 5%, 2%, rispettivamente corrispondenti ai periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 475, 1000 e 2500 anni	sett. 05	lug. 07
D3	valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico	ott. 05	lug. 07
D4	valutazioni sperimentali di amax corrispondenti a periodi di ritorno di 5000 e 10000 anni	dic. 06	lug. 07
D5	valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04	dic. 06	lug. 07
D6	valutazioni sperimentali di amax e di spettri di risposta calibrate per le condizioni locali (mappe tipo NEHRP)	dic. 06	lug. 07
D7	ampliamento del sito web per la disseminazione dei dati del progetto	sett. 05	lug. 07
	Task2		
D8	mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica, con varie probabilità di eccedenza in 50 anni, utilizzando lo stesso impianto metodologico di MPS04	dic. 05	
D9	idem, utilizzando metodi di sito	apr. 06	
D10	nuova formulazione delle procedure per la stima dell'intensità macrosismica da dati epicentrali o da risentimenti in zone vicine	apr. 06	
D11	aggiornamento delle relazioni amax/I e vmax/I	lug. 06	lug. 07
D12	codice per il calcolo della pericolosità sismica da dati di sito (shareware)		
D13	procedure per la valutazione comparativa di stime di pericolosità anche in rapporto agli osservabili disponibili	lug. 06	
	Task3		
D14	disaggregazione dei dati di MPS04 in termini di M-D	dic. 05	
D15	valutazioni sperimentali di probabilità di occorrenza dei terremoti utilizzando metodologie non parametriche applicate a zonazioni diverse	lug. 06	
D16	strumenti speditivi per la definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati	lug. 06	lug. 07
	Task4		
D17	versione aggiornata 2006 del database macrosismico (DBM06)	lug. 06	lug. 07
D18	versione aggiornata 2006 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI06)	lug. 06	lug. 07
D19	versione aggiornata delle stime di completezza del catalogo	lug. 06	
	Ulteriori risultati		
D20	suggerimenti per la gestione delle fasce di tolleranza di MPS04	ott. 05	
D21	suggerimenti per l'adeguamento delle azioni sismiche di progetto delle norme	dic. 05	
D22	suggerimenti per l'eventuale aggiornamento di MPS04		lug. 07
D23	trasferimento al progetto S5 degli elementi di ingresso sismologici più aggiornati e collaborazione per la redazione delle relative mappe.	lug. 06	

5. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Task1 e deliverable collegati. Non esistono problemi per la produzione dei *deliverable* 1, 2, 3, 7. Se il catalogo CPTI06 verrà prodotto entro il primo anno del progetto, sarà possibile tentare un aggiornamento degli elaborati utilizzando il catalogo stesso.

I *deliverable* n. 4, 5, 6 sono collegati a attività fortemente sperimentali, aggiunte su richiesta del revisore. Il loro conseguimento può risultare oneroso; risultati sono assicurati soltanto per gli aspetti metodologici.

Task2 e deliverable collegati. Tutti i *deliverable* (8-13) non presentano elementi di rischio, nel senso che verranno comunque realizzati utilizzando quanto di meglio disponibile. Uno degli aspetti centrali è la determinazione di una legge di attenuazione della intensità affidabile e calibrata sui dati italiani. La redazione delle mappe verrà comunque impostata a prescindere, facendo uso eventualmente del materiale già esistente. Analoghe considerazioni valgono per la possibilità di calibrare le leggi di attenuazione sul nuovo database delle intensità.

Task3 e deliverable collegati. Gli estensori del progetto sono consapevoli della perfettibilità metodologica della proposta e dell'elevato rischio associato al *deliverable* 16. Si sottolinea comunque che, in considerazione di questi aspetti, le risorse allocate sono modeste. I *deliverable* 14 e 15 non presentano problemi.

Task4 e deliverable collegati. Alcuni elementi per la compilazione di DBM06 e CPTI06 sono già stati predisposti nella fase di redazione di MPS04. In generale la realizzazione dei *deliverable* 17-19 non presenta problemi.

Ulteriori risultati. I *deliverables* 20-23 non presentano problemi.

Si sottolinea che i fondi richiesti non sembrano elevati e che per il conseguimento dei risultati attesi verranno utilizzate risorse proprie degli enti partecipanti – in primo luogo INGV – al di là delle quote standard di cofinanziamento, con particolare riferimento al settore di Task 4.

6. Validazione

Come proseguimento di un progetto in corso, parte del progetto – e segnatamente Task2 – rappresenta una attività di validazione, di carattere fortemente innovativo - dei risultati conseguiti in precedenza (MPS04).

7. Riferimenti bibliografici

- Albarelo D. e D'Amico, 2000. La validità delle stime di pericolosità sismica in Italia. XIX Convegno Nazionale GNGTS, Roma, Novembre 2000.
- Albarelo D. e Mucciarelli M., 2002. Seismic hazard estimates from ill-defined macroseismic data at a site. *Pure Appl. Geophys.*, 159, 6, 1289-1304.
- Albarelo D. e Mucciarelli M., 2003. Seismic hazard assessment and site effects evaluation at regional scale. In Mulargia F. and Geller R.J. (eds.), "Earthquake science and seismic risk reduction. NATO Science Series IV, Kluwer, 148-158.
- Albarelo D. e D'Amico V., 2004. Attenuation relationship of macroseismic intensity in Italy for probabilistic seismic hazard assessment. *Boll.Geofis.Teor.Appl.*, 45, 4, 271-284.
- Atkinson G.M. and Sonley E., 2000. Empirical relationships between Modified Mercalli Intensity and response spectra. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 90, 2, 537-544.
- Boschi E. e Guidoboni E., 2001. Catania terremoti e lave dal mondo antico alla fine del Novecento. INGV-SGA, Bologna, 414 pp.

- Boschi E. e Guidoboni E., 2003. I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo. INGV-SGA. Bologna, 598 pp.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. and Gasperini P., 2000. Catalogue of strong Italian earthquakes form 461 B.C. to 1997. INGV-SGA, CD-ROM.
- Carletti F. e Gasperini P., 2003. Lateral variations of macroseismic intensity attenuation in Italy, *Geophys. J. Int.*, 155, 839-856.
- Cella, F., Zonno, G. and Meroni, F., 1996. Parameters estimation of intensity decay relationships. *Annals of Geophysics*, XXXIX, 5, 1095-1113.
- Cinti F.R., Faenza L., Marzocchi W. e Montone P., 2004. Probability map of the next $M > 5.5$ earthquakes in Italy. *G-cubed*, 5, 11, doi:10.1029/2004GC000724.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 58, 1583-1606.
- Faenza L., Marzocchi W. e Boschi E., 2003. A nonparametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes: an application to the Italian catalogue. *Geophys. J. Int.*, 155(2), 521-531.
- Galli P., Molin D., Galadini F. e Giaccio B., 2002. Aspetti sismotettonici del terremoto irpino del 1930. In: Castenetto S. e Sebastiano M. (eds.), Il "terremoto del Vulture" 23 luglio 1930 VIII dell'Era fascista. SSN, Roma, 217-262.
- Gasperini P., 2001. The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape indicates the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km. *Bull.Seism.Soc.Am.*, 91, 826-841.
- Grandori G., 1993. A methodology for the falsification of local seismic hazard analysis. *Ann.Geofis.*, 36, 1, 191-197.
- Jackson D.D., 1996. Hypothesis testing and earthquake prediction. *Proc.Nat.Acad.Sci.USA*, 93, 3772-3775.
- Kagan Y.Y. and Jackson D.D., 1994. Long-term forecasting of earthquakes. *J.Geophys.Res.*, 99, 13685-13700.
- Lind N.C., 1996. Validation of probabilistic models. *Civil.Eng.Syst.*, 13, 175-183.
- Lindley D.V., 1987. The probability approach to the treatment of uncertainty in artificial intelligence and expert systems. *Stat.Sci.*, 2, 17-24.
- Magri L., Mucciarelli M. e Albarello D. 1994. Estimates of site seismicity rates using ill-defined macroseismic data. *PAGEOPH*, 143, 618-632.
- Margottini C., Molin D. e Serva L., 1992. Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data. *Eng.Geol.*, 33, 45-58.
- Molin D., Galadini F., Galli P., Mucci L. e Rossi A., 1999. Terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915. Studio macrosismico. In: Castenetto S. e Galadini F. (eds.), 13 gennaio 1915. Il terremoto nella Marsica. SSN, Roma, 321-340; 631-661.
- Monachesi G. e Stucchi M., 1997. DOM 4.1 un database di osservazioni macrosismiche di terremoti italiani al di sopra della soglia di danno. <http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT>
- Okabe A., Boots, K. Sugihara and S. N. Chiu, 2000. *Spatial Tessellations*. Second edition, Wiley eds, pp.671.
- Rotondi R. e Zonno G., 2004. Bayesian analysis of a probability distribution for local intensity attenuation. *Ann.Geophys.*, 47, 5, 1521-1540.
- SisFrance, 2002. *SisFrance: histoire et caractéristiques des séismes ressentis en France métropolitaine et sur ses abords*. <http://www.sisfrance.net/>
- Swiss Seismological Service, 2002. ECOS - Earthquake Catalog of Switzerland. ECOS Report to PEGASOS, Version 31. 3. 2002, Appendix A: ECOS Database. SED, Zürich. <http://histserver.ethz.ch/>
- Whinkler R.L., 1996. Scoring rules and the evaluation of probabilities. *Test*, 5, 1-60.
- Zonno, G., Meroni F., Rotondi R. e Petrini V., 1995. Bayesian estimation of the local intensity probability for seismic hazard assessment. *Proceeding of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, October 17-19, 1995*, 1723-1729.

8. Tabella mesi/persona, suddivisi per task e UR

UR	Ente	Resp.	Task1 compl.	Task2 valut. in int.	Task3 priorità	Task4 database	Mesi p. cofin. (tot)	Mesi p. rich. (tot)
1	INGV-MI	Meletti	@	@	@	@	64	0
2	INGV-MI	Meroni	@			@	26	0
3	INGV-MI	Camassi			@	@	58	0
4	INGV-CT	Azzaro		@		@	18	0
5	INGV-RM1	Gasparini				@	12	0
6	INGV-OV	Marturano				@	12	0
7	EUCENTRE	Strobbia	@		@		16	0
8	UNISI	Albarelo		@	@	@	8	32
9	UniBO	Gasparini		@	@	@	18	22
10	UniGE	Spallarossa			@		30	0
11	CNR-MI	Rotondi		@			4	0
12	OGS	Rebez		@		@	17	0
Tot							283	54

9. Tabella finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituzione	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consum. servizi		Materiale durevole		Totale		
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	tot
1	INGV-MI	0	0	7	7	5	9	10	10	4	4	26	32	58
2	INGV-MI	0	0	4	4	2	4	8	8	6	6	20	22	42
3	INGV-MI	0	0	5,5	5	2,5	5	8	8	8	6	24	24	48
4	INGV-CT	0	0	5	3	1	2	2	2	3	2	11	9	20
5	INGV-RM1	0	0	1	1	1	1	3	3	3	0	8	5	13
6	INGV-OV	0	0	2,25	2,25	0,75	0,75	2	2	3	0	8	5	13
7	EUCENTRE	0	0	4	3	4	3	14	8	8	6	30	20	50
8	UNI-SI	28	28	3	3	2	2	4	4	3	3	40	40	80
9	UniBO	20	20	1	2	3	4	6	8	10	6	40	40	80
10	Uni-GE	0	0	0	2	5	0	12	0	3	3	20	5	25
11	CNR-MI	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	3	2	5
12	OGS	0	0	6	6	2	2	6	10	6	2	20	20	40
	Totale	48,0	48,0	39,75	41,25	30,25	33,75	75,0	63,0	57,0	38,0	250,0	224,0	474,0

Totale (Euro): 474.000

INGV: 194.000 (41%)

Altri enti: 280.000 (59%)

Progetto S2

Valutazione del potenziale sismogenetico e probabilità dei forti terremoti in Italia

coordinatori: Dario Slejko (OGS, Trieste) e Gianluca Valensise (INGV-RM1)

1. Obiettivo

La difesa dai terremoti in Italia è finora consistita pressoché esclusivamente nella prevenzione dei danni causati dai futuri terremoti stimati sulla base di mappe probabilistiche dello scuotimento atteso. Tali mappe usualmente rappresentano la *pericolosità sismica*, ovvero lo scuotimento medio che si stima non venga superato con 90% di probabilità in 50 anni. La definizione delle sorgenti sismiche è generalmente grossolana e, conseguentemente, le stime di pericolosità vanno intese come valori di riferimento in base ai quali definire azioni di difesa a scala comunale (zonazione sismica).

Normalmente si ritiene che l'unica alternativa allo scarso potere risolvete delle carte di pericolosità convenzionali sia la previsione sismica, ovvero una indicazione dell'istante e luogo di accadimento e della magnitudo di un futuro forte terremoto. Questo tema di ricerca, molto in voga negli anni '70 e '80, ha successivamente perso smalto a fronte di diversi insuccessi, di difficoltà di fondo nella comprensione dei meccanismi della sismogenesi, e della mancanza dei dati di base essenziali per una previsione sismica. Si dimentica spesso, infatti, che la previsione di un terremoto presuppone la conoscenza della distribuzione spaziale delle potenziali sorgenti sismogenetiche, così da poter avviare ricerche mutiparametriche mirate in aree geografiche circoscritte. Molti terremoti dell'ultimo ventennio, invece, tanto in Italia quanto nei paesi in cui la sismologia è più evoluta, sono stati generati da faglie la cui esistenza era ignota o solo parzialmente ipotizzata. Queste circostanze hanno progressivamente fatto perdere confidenza nella previsione deterministica dei forti terremoti, spostando l'attenzione di molti sul problema più generale di identificare in modo esauriente tutte le principali strutture sismogenetiche, di comprendere meglio le condizioni che presiedono alla sismogenesi e di indagare le caratteristiche del processo di accumulo di sforzo tettonico. Per l'Italia questo è particolarmente importante in quanto esistono molte aree il cui potenziale sismogenetico è sottovalutato perché ignoto (non si conoscono le faglie che esistono), e molte aree in cui, al contrario, il potenziale è sopravvalutato a causa di errori nell'identificazione di faglie o di sopravvalutazione del loro valore gerarchico e del loro *slip-rate*. L'identificazione di nuove faglie potenzialmente generatrici di forti terremoti e, viceversa, l'esclusione di pericolosità per alcune faglie conosciute risulta, pertanto, di rilevante impatto non solo sul piano scientifico ma soprattutto per una efficace pianificazione delle priorità d'intervento nella riduzione del rischio sismico.

Con queste premesse, lo scopo primario del presente progetto è l'individuazione delle sorgenti atte a produrre terremoti potenzialmente distruttivi, convenzionalmente identificati con tutti gli eventi di M superiore a 5.5, e, limitatamente alle strutture sufficientemente definite dal punto di vista sismico, la stima della probabilità che tali terremoti si verifichino nel futuro. Per le zone meno comprese l'analisi sarà centrata su sorgenti areali atte a raccogliere nel loro interno un sistema di faglie omogenee dal punto di vista sismogenetico (si veda nel seguito la definizione di "Seismogenic Areas" nel *database* DISS). A differenza di quanto avviene nelle analisi di pericolosità sismica convenzionali, dunque, questo progetto mira innanzi tutto alla individuazione spaziale delle sorgenti sismiche. Poiché le conoscenze sulla sismogenesi non sono della stessa qualità per tutta la penisola, un primo importante obiettivo del progetto consiste nell'indirizzare la ricerca verso le zone meno comprese. L'obiettivo immediatamente successivo è quello di inserire le conoscenze già disponibili e di nuova acquisizione in uno schema geodinamico unitario che, attraverso misure dirette di deformazione e ipotesi modellistiche, consenta di omogeneizzare ulteriormente il quadro delle conoscenze. Ogni sorgente (faglia quando possibile, altrimenti sorgente areale) verrà quindi caratterizzata in termini di terremoto massimo atteso e di sismicità minore associata, e, per le situazioni meglio documentate, verrà espressa la probabilità che tale terremoto massimo si verifichi nel prossimo trentennio.

I risultati del progetto S2 contribuiranno alle stime di pericolosità sismica del territorio nazionale, previste nel progetto S1. S2 rappresenta, quindi, una fase propedeutica alla realizzazione di carte di pericolosità sismica di nuova generazione. Anche per questo motivo, diverse attività sviluppate nell'ambito di S2 (per esempio: la stima della massima magnitudo possibile per le principali sorgenti sismiche) saranno coordinate congiuntamente a quelle sviluppate nell'ambito di S1.

2. Stato dell'arte

I *terremoti probabili in Italia* sono stati il tema di uno dei progetti GNDT sviluppati nel periodo 2001-2004. Il progetto, coordinato da Alessandro Amato, ha visto la partecipazione di ricercatori con competenze che spaziavano in un ampio spettro delle discipline geofisiche. I risultati di quell'iniziativa rappresentano un importante contributo di conoscenza nonché il punto di partenza per il presente progetto. Si osservi però che lo schema di lavoro qui presentato propone una lettura del tema *terremoti probabili* decisamente più mirata di quanto non facesse il progetto GNDT, pur ispirandosi parzialmente ad esso nel titolo.

La definizione *terremoti probabili* è stata introdotta alla fine degli anni '80 dal WGCEP (Working Group on California Earthquake Probabilities) e successivamente ripresa in vari altri contesti e in vari paesi, tra cui appunto il già citato progetto GNDT. È opportuno sottolineare che normalmente nel mondo per *terremoti probabili* si intende una stima della probabilità di accadimento di terremoti ben associati a specifiche sorgenti sismogenetiche, dei quali è quindi possibile ipotizzare non solo la localizzazione, ma anche la magnitudo attesa e le principali caratteristiche spaziali e cinematiche della sorgente. Valutazioni probabilistiche dello scuotimento atteso, basate su dati di ingresso diversi, formano invece l'oggetto del progetto S1. Mentre queste ultime possono essere poi utilizzate per scopi normativi e costituiscono quindi una forma di protezione globale del patrimonio edilizio nazionale, le stime sui *terremoti probabili* si sforzano di rispondere a domande molto più precise che emergono oggi dalla comunità sociale, dagli enti locali, da coloro che sono incaricati di pianificazione a medio termine, dal mondo assicurativo. Le informazioni raccolte e le ricerche svolte in questo progetto formano poi la base per molte delle elaborazioni caratteristiche dei progetti S3 e S4.

Con questa premessa, si deve ricordare che l'esperienza più rilevante su questo specifico tema rimane quella sviluppata in California (Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988, 1995 e seguenti), dove da anni la popolazione della Bay Area (California centrale) e della conurbazione che si estende tra Santa Barbara, Los Angeles e San Diego (California meridionale) è abituata a ragionare in termini di distanza della propria residenza da una delle faglie principali, nonché di probabilità che tale faglia generi un grande terremoto in un intervallo di tempo di immediata percepibilità (in genere le stime californiane assumono come finestra d'interesse quella dei prossimi 30 anni, pari alla durata standard di un mutuo per una residenza civile). È ben noto che le esperienze californiane sono state basate su uno spettro di conoscenze finora non disponibili in Italia, e quindi le poche esperienze-pilota già condotte nel nostro paese (ad esempio quelle di Peruzza et al., 1997, *Natural Hazards*, 14, 113-126, e di Pace et al., 2004, sottomesso a *Bull. Seism. Soc. Am.*) hanno dovuto limitarsi a trattare aree molto limitate, introdurre semplificazioni e, in tutti i casi, a fare a meno di uno degli ingredienti fondamentali delle analisi californiane, rappresentato dalla conoscenza degli *strain rates* istantanei ottenuti per via geodetica. D'altra parte, non si può non riscontrare che:

- 1) diversi recenti terremoti californiani, ad esempio quello di Northridge del 1994, escono dallo schema finora utilizzato per la valutazioni sui terremoti probabili e pongono nuove sfide relativamente all'identificazione delle sorgenti sismogenetiche più insidiose;
- 2) qualunque valutazione sui terremoti probabili rischia di rimanere un esercizio sterile se le conoscenze di base sulla sismogenesi non raggiungono un livello critico minimo, ovvero se esistono ancora molte sorgenti di cui si ignora completamente anche l'esistenza o aree il cui potenziale sismogenetico è largamente inesplorato;
- 3) le conoscenze sulla sismogenesi e sui ratei di deformazione della penisola italiana hanno un potenziale di crescita più elevato rispetto ad altri paesi ad elevata sismicità, nei confronti dei quali l'Italia può anche vantare un'ampia superiorità nel settore della sismologia storica.

Quindi, se da un lato è ovvio che l'approccio da utilizzare in Italia debba essere diverso da quello applicato in California, dall'altro non è opportuno sottovalutare alcune caratteristiche della sismicità

italiana e dei dati oggi disponibili - caratteristiche che per taluni aspetti possono addirittura porci in una posizione di vantaggio rispetto ai paesi in cui la ricerca sismologica è più avanzata.

3. Descrizione del progetto

Lo scopo del presente progetto può essere efficacemente riassunto nella individuazione delle sorgenti sismiche che possono essere sede di possibile forte attività futura e, per le situazioni sufficientemente documentate dal punto di vista sismico, nella quantificazione probabilistica di questa occorrenza. Ma, alla luce di quanto asserito in precedenza e in parziale controtendenza rispetto alle strategie adottate in altri paesi ad elevata sismicità, o anche rispetto a precedenti esperienze italiane, il progetto pone particolare enfasi nelle fasi di riconoscimento e caratterizzazione delle aree sismogenetiche. Preso atto dell'impossibilità di identificare come strutture tettoniche individuali tutte le potenziali sorgenti sismogenetiche italiane, il progetto propone una strategia mista che, attraverso opportuni vincoli di carattere geodinamico e statistico, consenta di descrivere la sismicità come dovuta alla somma di un *set* di *sorgenti individuali* e un *set* di *sorgenti areali*. La strategia prevede che ogni *set* venga caratterizzato in senso probabilistico nel rispetto della tipologia dei dati descrittivi di partenza e del comportamento sismogenetico desumibile dal *record* storico.

Poiché tratta un tema molto ampio e diversificato, questo progetto sarà certamente avvantaggiato dal poter contare su numerose attività già in corso e su sinergie realizzabili con relativa facilità. Allo stesso tempo, tuttavia, questo progetto non va visto come uno strumento per finanziare ricerca di base a carattere geodinamico o tettonico, né sviluppi metodologici ancora largamente *in itinere*. Al contrario, nella sua elaborazione sono stati sollecitati e accettati solo contributi che puntano direttamente ai risultati attesi, in diversi casi sviluppando sinergie e promuovendo elaborazioni innovative di informazioni già disponibili. Per le stesse ragioni, ogni attività è stata attentamente considerata in termini dei rapporti costi/benefici e durata/benefici, ricordando anche che la scala di questo progetto è nazionale e che è questa la scala spaziale di interesse precipuo del Dipartimento della Protezione Civile, che finanzia il progetto. Una parziale eccezione a questo modo di operare è rappresentata dai modelli di occorrenza e dalle stime di probabilità che formano il punto di arrivo di questo progetto. La natura sperimentale di queste valutazioni, non solo a scala italiana ma a livello mondiale, impedisce in questo caso di delineare un percorso dai risultati certi, ma suggerisce piuttosto di percorrere contemporaneamente diverse strade da mettere poi a confronto nelle fasi conclusive del progetto.

Con queste premesse, il progetto si articolerà nelle seguenti quattro fasi, o *task*, che hanno anche lo scopo di rendere il *management* più fluido e razionale:

- Task 1. Organizzazione di un sistema di riferimento unitario per la descrizione della sismogenesi
- Task 2. Definizione spaziale delle principali strutture sismogenetiche della penisola italiana
- Task 3. Caratterizzazione geofisica delle principali strutture sismogenetiche
- Task 4. Caratterizzazione delle principali strutture sismogenetiche e calcolo della probabilità di loro attivazione

Tutti i calcoli sviluppati nel Task 4 si baseranno sui risultati, anche parziali, acquisiti nelle precedenti fasi. Più precisamente, tutte le stime di probabilità di occorrenza di forti terremoti si riferiranno a sorgenti riconosciute ed inserite nel database DISS ed utilizzeranno un solo catalogo dei terremoti di riferimento.

Per ognuna delle quattro fasi i coordinatori hanno identificato un responsabile, secondo lo schema che segue:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| Task 1 – Roberto Basili | INGV-RM1 (responsabile UR 1.1) |
| Task 2 – Fabrizio Galadini | INGV-RM1 (responsabile UR 2.8) |

Task 3 – Alessandro Caporali Università di Padova (responsabile UR 3.2)
Task 4 – Laura Peruzza OGS, Trieste (responsabile UR 4.8)

Insieme ai coordinatori, questi ricercatori formeranno uno *steering committee* per tutta la durata del progetto, dalla fase di avvio alla sua conclusione, collaborando alla eventuale identificazione di problemi, alla corrispondente ricerca di soluzioni operative e alla gestione logistica delle attività.

Per la natura e la diversificazione delle attività che propone, il progetto si presenta molto ampio e articolato, coinvolgendo ben 40 Unità di Ricerca (UR), di cui 25 esterne all'INGV. Si consideri tuttavia che diverse UR sono state sdoppiate per motivi puramente amministrativi; queste coppie di UR rappresentano in effetti insiemi unitari ai fini delle attività scientifiche in senso stretto. Non tutte le UR parteciperanno a tutte le attività, ma anzi il lavoro si svolgerà coinvolgendo di volta in volta interi *task* o sottoinsiemi di essi a seconda delle necessità. E' prevedibile quindi un notevole sforzo di coordinamento, che potrà però giovare della conoscenza diretta tra i coordinatori e tutti i responsabili di UR, dei numerosi *link* scientifici già stabiliti in progetti precedenti e, naturalmente, dell'esistenza di un responsabile per ogni *task*.

Gli obiettivi essenzialmente nazionali e strettamente applicativi del progetto hanno suggerito di non aprirlo esplicitamente al contributo di unità di ricerca extra-nazionali. Questa scelta è quasi automatica per i Task 1 e 2, visto il carattere strettamente territoriale della maggioranza delle attività previste, mentre i Task 3 e 4 potrebbero beneficiare di un contributo da parte di ricercatori stranieri. A questo proposito si deve osservare che all'interno di diverse UR sono già previsti contributi di ricercatori non italiani, in alcuni casi esperti internazionali di chiara fama. Inoltre, nella seconda metà del progetto verrà considerata la possibilità di coinvolgere nelle elaborazioni, e in particolare nelle fasi di validazione dei risultati, altri esperti che hanno preso parte a esperienze simili negli Stati Uniti, in Giappone, in Nuova Zelanda.

Si rimarca infine che il progetto si pone come un catalizzatore di energie ampiamente presenti nella comunità scientifica nazionale, specialmente quella dedicata alle discipline geologiche, ma i cui risultati si ritrovano spesso dispersi nella letteratura o non vengono pubblicati affatto. In altri casi il progetto proporrà un reindirizzamento di alcune ricerche, o semplicemente diverse scelte operative (ad esempio, l'applicazione di un nuovo metodo geofisico in una zona di interesse del progetto piuttosto che in altra zona selezionata sulla base di criteri diversi). Per quanto riguarda infine il Task 4, il progetto si sforzerà di promuovere test e confronti attraverso un ampio spettro di approcci modellistici, promuovendo massicciamente l'interazione e il *feedback* tra chi produce i dati di ingresso del problema e chi li elabora. La comunità scientifica coinvolta nel progetto ha complessivamente apprezzato questo approccio, come dimostrano i quasi 100 anni/persona di attività di ricerca offerta come cofinanziamento da università, istituzioni di ricerca pubbliche e, naturalmente, dall'INGV stesso.

Task 1 - Organizzazione di un sistema di riferimento unitario per la descrizione della sismogenesi.

Questo *task* ha come obiettivo fondamentale l'organizzazione e la formalizzazione in un sistema di riferimento georeferenziato unitario e unico, accessibile via *web*, di tutte le informazioni necessarie per le attività svolte nell'ambito del progetto. Il *task* si baserà su esperienze già sviluppate dall'INGV a partire dalla fine degli anni '90 e accolte con favore da gran parte della comunità scientifica, riassumibili nello schema che segue:

- DISS 2.0 (2001): versione *standalone* (MapInfo) pubblicata su Annali di Geofisica, con CD-ROM (Valensise e Pantosti, 2001, *Annali di Geofisica* 44(4) Suppl.);
- Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Europe (2002): una versione su web di DISS 2.0 estesa a sorgenti di tutta l'area Euro-mediterranea grazie a un finanziamento della Comunità Europea;
- DISS 3.0 (2005): versione *web*, già disponibile in rete, e versione *standalone*, in preparazione.

Il sistema DISS (originariamente *Database of Italy's Seismogenic Sources*: oggi *Database of Individual Seismogenic Sources*, per sottolinearne il carattere sovranazionale) incorpora attivamente anche esperienze condotte in precedenza dal GNDT (sottoprogetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili") e in altri ambiti (es.: progetto Ithaca avviato dall'A.N.P.A., oggi A.P.A.T.), nessuna delle quali è peraltro giunta allo stesso livello di maturazione conseguito oggi da DISS. Sia la più recente versione di questo *database*, sia la sua estensione all'area Euro-mediterranea sono accessibili dalla pagina "Banche Dati" del sito dell'INGV (<http://www.ingv.it/banchedati/banche.html>).

La differenza principale tra DISS 2.0 (pubblicato nel 2001) e DISS 3.0 (disponibile su web a partire dalla fine del 2004), a parte un ovvio aumento dell'informazione globalmente fornita e aggiornamenti del *software*, risiede proprio nell'introduzione delle "Seismogenic Areas", sorgenti areali che si collocano a metà tra le sorgenti individuali (Seismogenic Sources di DISS 2.0, *geologico-geofisiche* o *storiche* a seconda dei dati utilizzati per definirle) e le ZS tradizionali. Le Seismogenic Areas contengono allineamenti di faglie di cui siano note la geometria (superficiale e profonda) e la cinematica attesa, ma di cui non siano conosciute la posizione esatta, lo stato di segmentazione e il comportamento sismogenetico, tanto in termini di distribuzione della sismicità per classi di magnitudo che in termini di rapporto tra deformazione sismica e asismica. Come si vedrà nel seguito, questa nuova categoria di sorgenti forma una importante base di sperimentazione per il Task 4.

Il sistema DISS verrà ulteriormente sviluppato principalmente dalla **UR Basili** e fungerà da piattaforma comune per la visione sinottica dei dati sulla sismogenesi che provengono da studi di tipo geologico e geofisico (Task 2), strumentale, con particolare riguardo ai meccanismi focali (**UR Gasperini**), e macrosismico (**UR Albini**). Tale piattaforma faciliterà il transito delle informazioni via via raccolte verso un sistema centrale, perché le novità possano essere visualizzate e utilizzate da tutte le UR del progetto in tempo reale. Inoltre, anche coloro che opereranno nell'ambito dei progetti S1, S3, S4 e S5 potranno beneficiare della disponibilità di dati di base nel più recente stato di aggiornamento per tutte le elaborazioni in cui essi si rendano necessari.

La **UR Basili** (sezione di Roma 1 dell'INGV) si occuperà in particolare di potenziare lo strumento informatico alla base di DISS 3.0 avvalendosi del supporto esterno di una società di informatica (IT&T, Bergamo) che ha già curato tutte le precedenti versioni di DISS, oltre alla sua estensione su *web* a scala europea. Per facilitare il flusso delle informazioni da e verso la banca dati la UR redigerà un protocollo operativo, già in corso di sperimentazione, e renderà disponibili appositi strumenti *software*. Laddove necessario predisporrà le basi per la visualizzazione dei risultati ottenuti da altre UR del progetto S2 mediante livelli informativi tematici.

La **UR Albini** (sezione di Milano dell'INGV) fornirà il necessario supporto per inserire in DISS 3.0 le sorgenti ottenute mediante dati di intensità per tutti i terremoti storici con magnitudo 5.5 e superiore, curando l'importazione dei dati di base dal catalogo CPTI04 ed eventuali aggiornamenti successivi. La stessa UR collaborerà inoltre alle sperimentazioni relative all'assegnazione dei terremoti storici alle nuove "Seismogenic Areas" di DISS.

La **UR Gasperini** si occuperà di completare la sperimentazione su una nuova versione del codice Boxer, che consente l'analisi automatica dei dati di intensità macrosismica, e aggiornerà la banca dati EMMA relativa ai meccanismi focali dei terremoti italiani.

Task 2 - Definizione spaziale delle principali strutture sismogenetiche della penisola italiana.

A partire dalla banca delle sorgenti sismogenetiche DISS, dall'esperienza condotta per la realizzazione della zonazione sismogenetica ZS9 utilizzata nella realizzazione della nuova carta di pericolosità sismica del territorio nazionale e dalle nuove conoscenze che il sistema scientifico produce non solo all'interno ma anche all'esterno del progetto, questo *task* punta a incidere fortemente sul grado di conoscenza delle sismogenesi in Italia. L'aumento delle conoscenze avverrà

secondo una ben chiara lista di priorità e sfruttando al massimo le possibili sinergie con le attività svolte nell'ambito di altri progetti e con altri finanziamenti, tanto nell'INGV che al di fuori di esso. Il *task* è stato configurato in maniera da fornire nuove informazioni e vincoli secondo quattro canali diversi, che verranno descritti individualmente con riferimento alle UR che concorreranno al loro sviluppo.

a) Arricchire le conoscenze di base su sorgenti sismogenetiche individuali la cui esistenza sia stata già almeno ipotizzata. Questa fase del lavoro prevede un ampio ricorso sia a dati geologici che a dati tettonici e sismologico-storici. Le aree di approfondimento sono numerose. Per quanto riguarda i settori tuttora sottoposti a regime compressivo tali aree spaziano dal margine meridionale delle Alpi (UR Galadini), alle Alpi orientali (UR Galadini), alla fascia dei “terremoti profondi” del settore medio-marchigiano e sua estensione verso l'Emilia-Romagna (UR Burrato).

Nel corrispondente settore interno alla catena appenninica, oggi sottoposto a un regime distensivo, verranno svolti approfondimenti sull'importante lineamento noto come Etrurian Fault System (EFS). In particolare, la **UR Scandone** approfondirà il settore settentrionale dello EFS, che include la Garfagnana e la Lunigiana, mentre la **UR Barchi** si concentrerà sul settore centrale e meridionale, compreso tra il Mugello e la Valle Umbra.

Spostandosi verso sud, la **UR Galadini** analizzerà la cinematica di sistemi di faglie ombre e abruzzesi mediante l'analisi di dati di livellazione geodetica. La **UR Burrato** e la **UR Zuppetta** approfondiranno le conoscenze sulle strutture responsabili dei grandi terremoti del Sannio e dell'Irpinia del 1688, 1702 e 1732, e della Val d'Agri del 1857, mentre la **UR Lavecchia** esplorerà il potenziale sismogenetico del settore più meridionale dell'Appennino campano-lucano fino al Massiccio del Pollino.

Un gruppo di ricercatori riunito in una UR mista (**UR Argnani-Brancolini**) affronterà uno dei nodi geodinamici più importanti di tutta l'Italia meridionale, proponendo di fornire nuovi dati sulla struttura e la dinamica del settore posto a sud dello Stretto di Messina e di fronte ai Monti Peloritani. L'aumento delle conoscenze avverrà attraverso l'esecuzione di profili sismici nel tratto di mare prospiciente la costa nordorientale della Sicilia, nonché attraverso un riesame di dati di sismica industriale già esistenti. Questa attività dovrebbe gettare nuova luce su un importante settore di incrocio di lineamenti di importanza regionale, e allo stesso tempo dovrebbe fornire dati conclusivi per confermare o confutare l'esistenza della cosiddetta Faglia di Taormina, intorno alla quale negli ultimi 10 anni si è sviluppato un vivace dibattito.

b) Sviluppare nuove ipotesi riguardanti la sismogenesi delle zone meno comprese. Si tratta dell'obiettivo più importante nel quadro della logica del “raffittimento” e omogeneizzazione dell'informazione oggi disponibile sulle strutture sismogenetiche italiane che caratterizza tutto il *task*. Per raggiungere questo obiettivo verranno utilizzate in modo opportuno tutte le informazioni e le tecniche di indagine correntemente disponibili (dati geologici e paleosismologici, dati geodetici, dati di deformazione, vincoli cinematici e geodinamici).

Un primo settore di approfondimento riguarda nuovamente la fascia dei “terremoti profondi” del settore medio-marchigiano e la sua estensione verso l'Emilia-Romagna, fascia nella quale si alternano settori certamente dotati di potenziale sismogenetico a settori il cui comportamento sismogenetico è ancora da comprendere (**UR Burrato**).

Nell'ambito dell'Appennino centrale, ritenuto una delle zone meglio comprese dal punto di vista della sismogenesi, il Massiccio della Majella si configura come un settore in cui ad un livello di sismicità certamente elevato (terremoti del 1456, 1706, 1933) fa riscontro una assoluta lacunosità delle conoscenze e delle ipotesi. In questo settore opereranno la **UR Pizzi** e la **UR Galadini**, con l'obiettivo massimo di trovare evidenze dirette delle strutture sismogenetiche e l'obiettivo minimo di far emergere conoscenze che possano indirizzare le ipotesi in una direzione piuttosto che in un'altra.

Un settore particolarmente importante nel contesto delle sorgenti sismogenetiche poco comprese è certamente quello corrispondente al cosiddetto Avampaese Apulo. Questo settore, ritenuto pressoché

asismico fino a non molti anni fa, è stato invece riconosciuto come potenziale sede di terremoti distruttivi, di cui non mancano esempi nella storia sismica. In questo contesto opererà la **UR Scandone**, che utilizzerà dati di sottosuolo (perforazioni e dati di sismica a riflessione) per elaborare nuove ipotesi riguardanti la sismogenesi della Capitanata e del Salento.

Passando all'Arco Calabro, in Calabria centrale la **UR Burrato** si avvarrà di dati di tettonica costiera per studiare la sorgente del terremoto del 1905 che ha colpito l'area del Golfo di Sant'Eufemia. In Sicilia verrà affrontata l'indagine di altri due settori in cui esiste un forte contrasto tra il livello della sismicità, molto elevato, e il livello delle conoscenze, limitato e frammentario. In particolare la **UR Doglioni** utilizzerà dati di sismica a riflessione, dati geologici convenzionali e modelli geodinamici per meglio vincolare la dinamica attuale del settore del Tirreno meridionale responsabile per la generazione dei forti terremoti che colpiscono la Sicilia settentrionale (1823, 1940, 2002), e per caratterizzarne le strutture sismogenetiche. La **UR Catalano** e la **UR Burrato** si concentreranno invece nell'area iblea, un settore in veloce deformazione con un notevole potenziale sismogenetico. Le ricerche spazieranno dalla geologia classica all'analisi strutturale all'integrazione dei dati di terreno con osservazioni geodetiche raccolte dalla sezione INGV di Catania. Nella stessa zona, ma con specifico riferimento all'individuazione di depositi da *tsunami*, opereranno anche la **UR Barbano** e la **UR De Martini**.

In alcune aree-chiave non di terraferma verranno utilizzate nuove tecniche di analisi di dati di sismicità di fondo per capire se e come questa possa essere ricondotta a strutture sismogenetiche relativamente semplici (lineari) e congruenti con i vincoli geologici. In particolare la **UR Favali** integrerà con dati provenienti da stazioni sismiche sperimentali sottomarine i dati già disponibili dalle stazioni in terraferma, con l'obiettivo di illuminare al meglio la sismicità del settore dello Jonio a est della Sicilia e del Tirreno meridionale. Analogamente, la **UR Mucciarelli** integrerà dati di superficie e dati di stazioni sottomarine per il Golfo di Taranto, con l'obiettivo di comprendere meglio l'estensione in mare delle strutture note in terraferma. Infine, la **UR Solarino** utilizzerà tecniche di tomografia sismica e di localizzazione di precisione, anche relativa, per indagare la sismicità di fondo associata alle strutture della Garfagnana e Lunigiana e del marginale ligure occidentale (linea Saorge-Taggia).

Sempre nell'ambito di questo *task*, la **UR Pettenati** utilizzerà una tecnica basata sulla funzione cinematica KF e su una tecnica di inversione automatica di dati di intensità per meglio vincolare la sorgente di alcuni forti terremoti storici, operando in stretto contatto con le UR che svolgono ricerca a carattere strettamente geologico e tettonico. I casi di studio previsti dovrebbero concentrarsi nell'Appennino centrale e meridionale (es. terremoti del 1706, 1694, 1857).

c) Sviluppare nuove ipotesi riguardanti potenziali sorgenti ancora del tutto o parzialmente ignote utilizzando tecniche innovative. Questo obiettivo ha un carattere largamente sperimentale in quanto punta ad esplorare il potenziale di tecniche provenienti da ambiti disciplinari anche molto diversi nell'identificazione di faglie attive e strutture sismogenetiche.

Un chiaro esempio dell'uso in campo sismotettonico di tecniche mutuare da altri campi disciplinari è quello rappresentato dalle attività proposte dalla **UR Italiano**. Attraverso indagini geochimiche multiparametriche (presenza di fluidi anomali, allineamenti di emissioni di CO₂) questa UR fornirà nuovi vincoli all'esistenza, complessità e grado di attività di strutture sismogenetiche la cui presenza e caratteristiche sono solo ipotizzate o comunque note con approssimazione. Queste tecniche verranno utilizzate in Sicilia nord-orientale, per capire meglio la configurazione del sistema di faglie noto come Tindari-Giardini-Letojanni, e al confine italo-sloveno, dove esiste un importante fascio di strutture collettivamente noto come sistema di Idria.

Indagini dettagliate di tettonica costiera consentiranno alla **UR Mastronuzzi** e alla **UR Burrato** di vincolare meglio l'esistenza stessa e la posizione di importanti corridoi tettonici attivi che interessano il Salento da costa a costa. Il recente ritrovamento in questo settore di depositi ascrivibili a *tsunami* fa ritenere che attraverso queste indagini sia possibile anche mettere in luce eventuali dislocazioni catastrofiche a carattere cosismico.

L'Avampaese apulo sarà l'oggetto di ricerche condotte dalla **UR Siniscalchi** tramite indagini elettromagnetiche ad alta risoluzione per l'identificazione e la caratterizzazione delle principali strutture attive. Queste indagini hanno un ruolo determinante soprattutto dove la *signature* geomorfologica delle faglie è estremamente debole e dove sia la caratterizzazione geoelettrica che quella magnetotellurica risultano insufficienti.

Integrando i dati di numerose stazioni locali nonché dati INGV, la **UR Neri** utilizzerà tecniche di analisi sismologica molto avanzate (inversione tomografica con tecniche SIMUL e TOMODD; codici di localizzazione che utilizzano le "doppie differenze"; il nuovo metodo di localizzazione probabilistica BAYLOC) per giungere a una migliore risoluzione delle strutture attive crostali, nonché all'eventuale segnalazione di strutture oggi non note, nel Tirreno meridionale, nello Jonio e nella Sicilia orientale.

Infine, la **UR Barbano** e la **UR De Martini** propongono di caratterizzare le principali sorgenti sismiche della Sicilia orientale (dallo Stretto di Messina agli Iblei) attraverso l'analisi di effetti sull'ambiente "indiretti" tra cui *tsunami* e liquefazioni (*off-fault paleoseismology*). Lo studio è finalizzato alla creazione di un inventario georeferenziato degli effetti geologici diretti e indiretti dei terremoti medio-forti che hanno colpito la Sicilia orientale, da validare anche mediante il ricorso a fonti storiche convenzionali.

d) Elaborazione di scenari speditivi di tsunami. Avvalendosi dei dati forniti da DISS 3.0 e da altre compilazioni per l'area mediterranea, con eventuali approfondimenti nei casi richiesti, la **UR Tinti** e la **UR Piatanesi** calcoleranno l'impatto sulle coste italiane dell'onda di *tsunami* che potrebbe essere prodotta da una sorgente sismogenetica italiana o da una delle importanti sorgenti che si trovano lungo le coste del Nord Africa e della Grecia, continentale e insulare. Le elaborazioni, espresse in mappe di altezza massima dell'onda, potranno essere poi trasformate in mappe di rischio attraverso la collaborazione con ricercatori della sede di Pisa dell'INGV (non configurati come una UR di questo *task* in quanto già finanziati con altri fondi per questa attività), che dispongono di dati di dettaglio sulla batimetria dei mari italiani e sulla conformazione delle linee di costa.

Per meglio coordinare il Task 2, in considerazione anche del notevole numero di UR coinvolte e del carattere strettamente regionale di alcune delle ricerche, i coordinatori propongono una ripartizione delle attività secondo quattro macro-regioni:

- 1) *Alpi e Pianura Padana*
- 2) *Appennino settentrionale e centrale*
- 3) *Appennino meridionale e blocco apulo*
- 4) *Arco Calabro-Sicilia*

Questa ripartizione non riflette solo un criterio geografico ma, implicitamente, anche un criterio di approccio scientifico e metodologico (ad esempio, le sorgenti sismogenetiche nelle macroregioni 1 e 3 tendono a essere in terraferma ma "cieche", e quindi da studiare ad esempio con tecniche geomorfologiche, mentre quelle della macroregione 4 sono spesso da ricercare tramite dati di sismica industriale nell'*offshore*). Questo schema aiuterà i coordinatori e i responsabili di *task* a focalizzare meglio le problematiche scientifiche e i risultati attesi e conseguiti da ogni UR, consentendo anche incontri più frequenti e agili con i diversi gruppi di ricercatori. Nelle fasi iniziali del progetto lo *steering committee* valuterà l'opportunità di identificare una UR di riferimento per ogni macro-regione.

Task 3 - Caratterizzazione geofisica delle principali strutture sismogenetiche.

Gli studi proposti in questo modulo hanno l'obiettivo generale di inquadrare i dati sulla sismogenesi, ottenuti con le indagini di cui ai due moduli precedenti, nel quadro più ampio delle conoscenze

geodinamiche disponibili per l'Italia. Sfortunatamente, esiste una cronica carenza di informazioni su a) velocità di accumulo di deformazione delle strutture tettoniche attive, e b) caratteristiche reologiche dei sistemi attivi, particolarmente nei settori a deformazione compressiva distribuita (es. margine padano meridionale, margine delle Prealpi Venete, offshore della Sicilia settentrionale) e nei settori in cui viene ipotizzata la riattivazione di importanti lineamenti antichi (avampaese apulo). A queste carenze è oggi possibile supplire ricorrendo a un'equilibrata combinazione di dati di deformazione attuale (GPS e VLBI) e modelli geodinamici, che insieme possano fornire vincoli sulle velocità di deformazione attese e su quale quota di tale deformazione sia spesa in processi sismogenetici piuttosto che consumata in *slip* asismico.

Dati da stazioni permanenti GPS di elevata precisione e affidabilità verranno utilizzati per il monitoraggio del tasso medio di accumulo di deformazione, zona per zona, per tutti i settori del territorio italiano per cui la risoluzione offerta dai dati disponibili lo consentirà (**UR Caporali** e **UR Barba**). La conoscenza dell'accumulo di deformazione (*strain rate tensor*) è un importante dato in ingresso nella definizione del livello globale della sismicità attesa, perché la velocità di accumulo di deformazione è strettamente legata al rilascio nel tempo del momento sismico.

Poiché l'attività di una faglia sismogenetica dipende dal valore di *strain-rate* crostale nell'area della faglia, e poiché questa relazione si osserva sia alla scala dei tempi geologici che, attraverso osservazioni strumentali, nel breve termine, nel Task 3 verrà anche studiata la distribuzione dello *strain-rate* nel tempo. Considerando che una mappa di *strain-rate* fornisce informazioni sulla disposizione e sull'attività delle faglie sismogenetiche, la variazione nel tempo dello *strain-rate* influenza la probabilità a breve termine che una faglia rilasci un forte terremoto. Verranno sviluppati, pertanto, uno o più modelli di velocità e deformazione crostale per aree selezionate della penisola, da confrontare con le informazioni sulle strutture sismogenetiche e con i dati geodetici disponibili (**UR Barba**).

L'analisi di dati GPS sarà particolarmente accurata in aree selezionate del territorio nazionale. In particolare verrà considerato area campione il margine settentrionale della placca Adria, con particolare attenzione al Friuli ed al Veneto pedemontano, dove oltre al GPS verranno utilizzate altre tecniche (osservazioni geodetiche di sottosuolo, clinometri, estensimetri, livellazione) al fine di determinare le velocità di deformazione nell'area (**UR Braitenberg**).

Una seconda area campione sarà il massiccio carbonatico del Matese, dove verrà ricostruito il campo di deformazioni statiche nelle sue componenti plano-altimetriche. Le tecniche GPS e livellazioni, utilizzate congiuntamente, consentiranno infatti una buona risoluzione del campo deformativo e dello *strain-rate* dell'area (**UR Sepe**).

Una terza area campione è stata individuata nella parte meridionale dell'Altopiano della Sila, l'estremità settentrionale delle Serre Calabre e l'interposto graben di Catanzaro. La scelta di quest'area per misure topografiche da utilizzare a complemento alle osservazioni sismometriche è dettata dal fatto che essa comprende l'area mesosismica dell'ultimo dei maggiori terremoti del 1783 e di quello del 1905. Si procederà alla ripetizione del rilevamento delle reti GPS esistenti nell'area, una delle quali istituita durante l'ultima tornata dei progetti GNDT, in modo da valutare le variazioni di posizione verificatesi rispetto alle misure degli anni Novanta (**UR Guerra**).

Task 4 - Caratterizzazione delle principali strutture sismogenetiche e calcolo della probabilità di loro attivazione.

Questo *task* rappresenta la parte computazionale di calcolo e la modellistica atte a caratterizzare la sismicità delle sorgenti e a stimarne la probabilità di attivazione. Poiché non esiste ancora una metodologia consolidata di calcolo probabilistico con memoria, questo *task* intende dare spazio a vari approcci anche antagonisti tra loro. Questo sia per garantire una serie di risultati anche nelle situazioni più problematiche dal punto di vista dei dati disponibili, sia per poter procedere in alcune regioni ad un confronto fra i risultati ottenuti con metodi diversi.

Il *task* si articola su tre filoni di ricerca, strettamente interconnessi fra loro. In particolare, il primo filone valuta la probabilità di accadimento di forti terremoti in regioni sufficientemente vaste da contenere sistemi di strutture tettonicamente omogenee fra loro. In attesa di eventuali, ulteriori sviluppi questo filone utilizzerà come dato di ingresso primario le “Seismogenic Areas” recentemente introdotte nella versione corrente (3.0) del *database* DISS.

Il secondo filone risulta propedeutico al terzo in quanto definisce le caratteristiche della sismicità delle strutture tettoniche riconosciute (singole faglie) da utilizzare nel calcolo della loro probabilità di attivazione.

Il terzo filone valuta la probabilità di attivazione delle strutture analizzate nel filone precedente. La dicotomia singola faglia/famiglia di faglie risulta necessaria per il raggiungimento del prodotto finale. Infatti, l'informazione necessaria per un calcolo della probabilità di attivazione in sintonia con quanto le metodologia utilizzata in California, che si ritiene la più completa finora proposta dalla comunità scientifica internazionale, sarà disponibile solo per aree selezionate della penisola. Si intende, pertanto, integrare con le stime su singola faglia i risultati più generali che verranno conseguiti sulle regioni estese.

Segue una descrizione più dettagliata delle attività previste per ognuno dei filoni individuati.

- a) Il primo filone di ricerca si propone di calcolare la probabilità di attivazione di una popolazione di strutture sismogenetiche tramite lo studio del loro comportamento sismico e integrando informazioni geologico/strutturali con una modellistica fisica e statistica. In sintesi, lo scopo è quello di verificare quanto la conoscenza approfondita dell'assetto tettonico di una zona permette l'effettivo miglioramento delle stime di probabilità finora proposte in letteratura. Lo studio verrà compiuto su un'area campione (scala regionale) ben caratterizzata dal punto di vista geologico/tettonico (**UR Cinti**). Verranno sviluppate, inoltre, modellazioni ulteriori basate sia sul *pattern* della sismicità sia sulle caratteristiche reologiche delle strutture studiate. Più precisamente, verranno condotti esperimenti di modellazione numerica in campo elasto-viscoso per valutare i possibili effetti sulle faglie italiane del rilassamento post-sismico indotto dall'attivazione di sorgenti sismiche nelle zone periadriatiche e appenniniche (**UR Mantovani**).
- b) Il secondo filone di ricerca procederà all'analisi di dettaglio della sismicità collegabile alle strutture definite nel Task 2 per la comprensione delle caratteristiche del rilascio (occorrenza degli eventi; eventuali interazioni con strutture adiacenti; se possibile, massima energia liberabile, ecc.). Questa fase del progetto mira a definire il modello di occorrenza nello spazio (terremoto caratteristico, distribuzione Gutenberg-Richter, attivazione di sorgenti adiacenti, propagazione della rottura lungo la faglia, ecc.) e nel tempo (poissoniano, con memoria, *cluster*, *time predictable*, *slip predictable*, a *trigger*, caratteristiche della sequenza sismica, ecc.) che possa essere utilizzato come base per le valutazioni di probabilità di attivazione delle singole sorgenti (**UR Garavaglia**, **UR Godano** e **UR Rotondi**). Ulteriori punti di indagine riguarderanno l'analisi della sensitività a singoli dati e la valutazione dell'incertezza nelle procedure di inferenza statistica (**UR Rotondi**). Particolare attenzione verrà prestata allo studio della propagazione di sforzo fra sorgenti vicine e alla previsione dell'evoluzione del processo sismogenetico a medio e a lungo termine come conseguenza dell'interazione fra eventi (**UR Murru**).
- c) L'obiettivo del terzo filone di ricerca è il calcolo della probabilità di attivazione delle principali strutture sismogenetiche, individuate nei moduli precedenti, e cioè la probabilità che queste strutture diano origine a un forte terremoto. Si procederà a questo calcolo secondo metodologie diverse (sia dipendenti che indipendenti dal tempo trascorso dall'ultimo terremoto) per quantificare, oltre alle stime più probabili, anche le incertezze insite non solo nei dati utilizzati ma anche derivanti dai diversi modelli utilizzabili. Fra le possibili metodologie di calcolo, verrà applicata quella seguita dal WGCEP e basata sull'utilizzo dei dati di deformazione su faglia ricavati nei Task 2 e 3 (**UR Akinci** e **UR Peruzza**). Verranno forniti i parametri del modello "Accelerating Moment Release" per tutti gli eventi di magnitudo $M > 5.5$ verificatisi dal 1985: tali parametri verranno associati ad aree tettonicamente omogenee, e saranno utilizzati per

evidenziare una accelerazione nel rilascio del momento sismico da introdurre nella stima della probabilità di attivazione delle sorgenti sismogenetiche (**UR Di Giovambattista**).

I risultati del secondo filone di ricerca confluiranno nella parametrizzazione delle sorgenti, mentre il confronto fra i risultati del primo e terzo filone offriranno materia di analisi per la valutazione delle incertezze associate alle stime prodotte. Il prodotto finale consisterà nella mappa delle sorgenti potenzialmente attivabili nel prossimo trentennio con associata, quando possibile, la magnitudo massima attesa e la relativa probabilità di accadimento. Tale mappa, ricavata sia dai risultati del secondo che del terzo filone, presenterà un dettaglio diverso da regione a regione, in funzione del livello delle conoscenze disponibili. Sono previste, dunque, sia regioni dove la probabilità di attivazione si riferirà a sistemi di faglie (filone 1), sia regioni dove le conoscenze permetteranno di arrivare al dettaglio sulla singola struttura sismogenetica (filone 3).

4. Deliverable attesi

I prodotti finali possono essere suddivisi in due gruppi: prodotti applicativi e prodotti di ricerca. Viene qui fornito un elenco dei prodotti applicativi fondamentali e dei principali tra i prodotti di ricerca. Dato il carattere sperimentale di molte attività, e di contro data la natura di *database* permanenti di alcune delle principali basi di dati utilizzate, non è possibile o significativo fornire uno schema cronologico dettagliato per la disponibilità di alcuni dei prodotti.

Prodotti applicativi

- 1) Database delle sorgenti sismogenetiche del territorio italiano (DISS 3.x), in versione *web* e *standalone*, contenente tutte le informazioni disponibili per le sorgenti sismogenetiche individuali e areali candidate a generare terremoti forti e considerate nell'ambito del progetto. *Questo prodotto esiste già e verrà progressivamente aggiornato nel corso del progetto.*
- 2) Mappa con l'individuazione spaziale delle sorgenti sismogenetiche individuate prima del progetto e nell'ambito del progetto stesso, corredate dalla magnitudo massima attesa, controllata su base geologica, e, nei casi sufficientemente documentati dal punto di vista sismico, da istogrammi mostranti la probabilità di attivazione di ciascuna delle sorgenti. *E' prevista una prima versione sperimentale di queste elaborazioni, ottenuta con diverse tecniche, per la fine del primo anno. I risultati finali saranno ovviamente disponibili alla fine del progetto.*
- 3) Mappe di altezza dell'onda di *tsunami* attesa lungo le coste italiane. *Una prima mappatura sarà disponibile alla fine del primo anno. Una mappatura definitiva, che tenga conto anche di tutte le nuove conoscenze accumulate nel corso del progetto, sarà resa disponibile alla fine del progetto.*

Principali prodotti di ricerca

- Monografie delle sorgenti sismogenetiche individuali e areali studiate nel progetto.
- Codice Boxer in versione 4.x (per analisi automatica di dati di intensità macrosismica).
- Database EMMA in versione aggiornata (meccanismi focali dell'area euro-mediterranea).
- Mappe di velocità e strain-rate derivate da dati GPS.
- Mappe di velocità e strain-rate derivate da modelli numerici tridimensionali.

5. Validazione dei risultati attesi

La validazione dei risultati dei Task 1 e 2 è in prima istanza affidata alla verifica sperimentale dei dati presenti in DISS a fronte di terremoti piccoli e grandi che possono verificarsi sul territorio nazionale o di nuove elaborazioni su dati strumentali o macrosismici per importanti terremoti del

passato. Alcuni terremoti accaduti nel 2004 e nei primi mesi del 2005 hanno dato un riscontro particolarmente buono sia in termini di localizzazione all'interno di *trend* già chiaramente delineati, sia in termini di geometria di faglia e cinematica attesa, sia in termini di rapporti spaziali con le sorgenti sismogenetiche principali (ad esempio, terremoti minori che avvengono ai margini di importanti sorgenti sismogenetiche già riconosciute e ben vincolate). A questo proposito la versione web di DISS aprirà una specifica sezione per facilitare il confronto tra la sismicità corrente e il contenuto del *database*.

Viceversa, la validazione delle previsioni sui futuri terremoti, e più in generale delle stime di pericolosità sismica, è notoriamente difficoltosa. Difficoltosa intanto perché bisognerebbe attendere i futuri terremoti, e poi perché bisogna considerare che si tratta comunque di stime probabilistiche lontane (o quasi) da modelli deterministici con risultati univoci.

Una prima indicazione sulla robustezza delle stime può essere offerta dalla maggiore o minore congruità dei risultati ottenuti con le diverse metodologie di calcolo. Più precisamente, mentre le analisi areali riguarderanno tutta la regione italiana ed evidenzieranno le zone a maggior probabilità di attivazione, le stime su strutture tettoniche individuali riguarderanno situazioni particolari, dove cioè i dati consentiranno l'applicazione di modelli "con memoria". Il confronto fra i risultati sarà possibile, dunque, solo per alcune aree a più alta pericolosità del territorio nazionale. Si conta, inoltre, di procedere ad una validazione della metodologia applicata nel calcolo dei terremoti probabili (unione dei risultati su aree e su faglie) tramite il calcolo di quella che sarebbe la previsione se fossimo nel 1950. Sarà possibile, in questo caso, verificare quanto i terremoti accaduti nei cinque decenni successivi si siano discostati dalla loro previsione.

6. Gestione e implementazione dei prodotti al completamento del progetto

Il progetto si pone in diretta continuità con le attività che l'INGV svolge per dettato istituzionale nel settore della pericolosità sismica, tanto da essere esplicitamente previsto nel Piano Triennale 2005-2007 dell'ente (Obiettivo 4.1a, pag. 15). Per questa ragione i ricercatori dell'INGV coinvolti nelle UR del progetto (e in particolare le UR 1.1 Basili, 1.3 Albini, 2.8 Galadini, 3.1 Barba, 4.1 Akinci,) sono gli ovvii candidati per gestire i prodotti del progetto anche dopo la sua conclusione, interagendo direttamente con il Dipartimento della Protezione Civile ove necessario. Questo vale in particolare per i "Prodotti Applicativi" 2 e 3 sopra menzionati, che nel corso del progetto diventeranno parti di *database* permanenti gestiti dall'INGV. L'accessibilità (totale o parziale) a tali *database* potrà essere consentita a diversi profili di utenza e verrà discussa con gli organi di Protezione Civile nella fasi conclusive del progetto.

7. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Questo progetto contiene un'importante sfida, riassumibile nel tentativo di stabilire un linguaggio comune tra chi svolge ricerca sulla sismogenesi da un lato (Task 1, 2 e 3), e chi cerca di rendere i risultati di tale ricerca direttamente utilizzabili in prodotti di utilità pratica per la società (Task 4). Quindi, la principale fonte di rischio per il conseguimento degli obiettivi globali del progetto non risiede tanto nel conseguimento degli obiettivi dei singoli *task*, ma nella capacità di vincere questa sfida. Ciò premesso, si può osservare quanto segue:

Task 1 – Le attività proposte sono già avviate da tempo e ben sperimentate. Il team di UR che opererà nel Task 1 è competente, ben affiatato e in possesso dei requisiti tecnici necessari. Vi è quindi la certezza che questo *task* svolgerà fino in fondo la sua funzione.

Task 2 – Questo *task* ha obiettivi decisamente ambiziosi perché punta a far emergere nuove conoscenze su aree sismogenetiche della penisola particolarmente "difficili" e poco comprese. Alcune UR opereranno con tecniche abbastanza tradizionali, quindi con una buona probabilità di conseguire risultati praticamente utilizzabili, mentre altre UR propongono approcci innovativi, quantomeno nel settore specifico dell'indagine sismotettonica (ad esempio, le campagne di sismica

offshore nel mar Ionio, l'analisi di dati di sismica industriale per il Tirreno meridionale, le indagini elettromagnetiche della struttura profonda dell'avampaese apulo, l'uso di fluidi anomali come traccianti di strutture tettoniche attive). Proprio in quanto innovativi, alcuni di questi approcci possono dar luogo a risultati inferiori alle aspettative, o possono costringere le UR che li hanno proposti a correzioni di rotta nel corso del progetto.

Task 3 – Questo *task* si fonda in maniera essenziale sull'aumento del numero di dati GPS che si dovrebbe registrare nei prossimi due anni, come risultato sia della progressiva estensione della rete GPS nazionale gestita dall'INGV, sia dell'aumento della capacità di recupero e analisi congiunta di dati relativi a reti locali e/o temporanee. Il livello di rischio della analisi proposte dipende essenzialmente dal verificarsi di queste condizioni. L'obiettivo ultimo del *task* è garantire che i modelli geodinamici che si ricavano dai dati GPS escano dalla scarsa significatività che li caratterizza oggi e, aumentando decisamente la stabilità delle misure e il grado di risoluzione offerti, contribuiscano fattivamente a quantificare lo *strain-rate* che caratterizza le sorgenti e le aree sismogenetiche italiane. Poiché questa strategia viene impiegata per la prima volta in Italia in analisi di pericolosità sismica, è lecito attendersi che vengano fissati nuovi vincoli sulla sismogenesi anche se il potere risolvete dei dati non dovesse aumentare come sperato.

Task 4 – Le UR che concorrono a questo *task* detengono certamente le conoscenze teoriche di base necessarie per proporre uno o più modelli di caratterizzazione della sismogenesi in senso probabilistico. Come si accennava all'inizio, il principale elemento di delicatezza nell'azione di questo *task* sarà l'incisività dell'azione di coordinamento delle diverse UR tra di loro e nei riguardi dei rimanenti partecipanti al progetto. Il raggiungimento di un risultato minimo in termini di assegnazione di probabilità di generare un forte terremoto a sorgenti sismogenetiche individuali e areali non è in discussione, in quanto il progetto è fondato su esperienze-pilota già maturate nei precedenti progetti GNDT. Il successo del *task* si misurerà invece sul grado di consenso che riceverà lo schema operativo prescelto, nonché sulla individuazione di un opportuno metodo di validazione delle probabilità stimate.

8. Tabella mesi/persona, suddivisi per task e UR

Task/ UR	Responsabile	Istituzione	Mesi/pers. (cofinanziati)	Mesi/pers. (richiesti)
1.1	Basili	INGV-RM1	36	---
1.2	Gasperini	UniBO	4	0
1.3	Albini	INGV-MI	12	---
2.1a	Brancolini	OGS	20	12
2.1b	Argnani	CNR	20	12
2.2a	Barbano	UniCT	24	48
2.2b	De Martini	INGV-RM1	22	---
2.3	Barchi	UniPG	16	24
2.4	Burrato	INGV-RM1	94	---
2.5	Catalano	UniCT	51	24
2.6	Dogliani	CNR-IGAG	38	24
2.7	Favali	INGV-RM2	18	---
2.8	Galadini	INGV-RM1	40	---
2.9	Italiano	INGV-PA	64	---
2.10	Lavecchia	UniCH	36	24
2.11	Mastronuzzi	UniBA	24	0
2.12	Mucciarelli	UniBas	26	12
2.13	Neri	UniME	20	12
2.14	Pizzi	UniCH	24	24
2.15	Scandone	UniPI	30	0
2.16	Siniscalchi	UniBa	46	12
2.17	Pettenati	OGS	24	0
2.18	Solarino	INGV-CNT	20	---
2.19a	Tinti	UniBO	1	0
2.19b	Piatanesi	INGV-RM1	2	---
2.20	Zuppetta	UniBN	42	12
3.1	Barba	INGV-RM1	16	---
3.2a	Caporali	UniPD	52	24
3.2b	Braitenberg	UniTS	54	12
3.3	Guerra	UniCAL	10	0
3.4	Sepe	INGV-OV	41	---
4.1	Akinci	INGV-RM1	32	---
4.2	Di Giovambattista	INGV-CNT	22	---
4.3	Cinti	INGV-RM1	16	---
4.4	Garavaglia	PolIMI	24	0
4.5	Godano	Uni2NA	22	36
4.6	Mantovani	UniSI	34	24
4.7	Murru	INGV-RM1	22	---
4.8	Peruzza	OGS	31	20
4.9	Rotondi	CNR	13	24
Totali			1143	380

9. Tabella UR e relativi finanziamenti richiesti (I anno, II anno, in Euro)

Task/ UR	Resp.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1.1	Basili	0	0	12000	12000	12000	8000	18000	16000	4000	0
1.2	Gasperini	0	0	3000	3000	0	0	3000	3000	0	0
1.3	Albini	0	0	2000	4000	4000	3000	1200	1200	3000	0
2.1a	Brancolini	9500	9500	12000	12000	0	0	12000	12000	0	0
2.1b	Argnani	9500	9500	3500	3500	0	0	1500	1500	0	0
2.2a	Barbano	30000	30000	3000	3000	0	0	5000	7000	0	0
2.2b	De Martini	0	0	5000	5000	3000	3000	7000	5000	0	0
2.3	Barchi	18100	18100	5500	3000	0	0	2200	2000	2000	0
2.4	Burrato	0	0	13000	13000	0	0	9300	5300	3000	0
2.5	Catalano	20000	20000	5000	5000	0	0	5500	7000	3500	0
2.6	Dogliani	9500	9500	6000	10000	0	0	5000	5000	3500	1500
2.7	Favali	0	0	8000	8500	0	0	6000	6500	4000	0
2.8	Galadini	0	0	7400	10400	0	0	4400	4800	0	0
2.9	Italiano	0	0	20000	20000	0	0	20000	20000	0	0
2.10	Lavecchia	19000	19000	3000	3000	0	0	8000	8000	0	0
2.11	Mastronuzzi	0	0	1000	1000	0	0	1000	5000	4000	0
2.12	Mucciarelli	8500	0	1500	1500	0	0	0	0	0	0
2.13	Neri	8000	8000	3600	3600	5000	5000	4000	3000	0	0
2.14	Pizzi	16000	16000	3000	3000	0	0	0	0	0	0
2.15	Scandone	0	0	6000	6000	0	0	14000	14000	0	0
2.16	Siniscalchi	10000	10000	20000	20000	0	0	8000	8000	0	0
2.17	Pettenati	0	9100	5000	1900	0	0	3000	1000	0	0
2.18	Solarino	0	0	8000	8000	0	0	2000	2000	5000	5000
2.19a	Tinti	0	0	1500	1500	0	0	1000	1000	0	0
2.19b	Piatanesi	0	0	1500	1500	0	0	1000	1000	3000	0
2.20	Zuppetta	8000	8000	2000	2000	2000	2000	4000	2000	0	0
3.1	Barba	0	0	2000	2500	5000	5000	0	0	2000	1000
3.2a	Caporali	15000	15000	2500	2500	0	0	1000	1000	0	0
3.2b	Braitenberg	10000	10000	1500	1500	0	0	2000	2000	0	0
3.3	Guerra	0	0	0	0	0	0	15000	0	0	0
3.4	Sepe	0	0	5000	8000	0	0	10000	13000	0	0
4.1	Akinci	0	0	1000	1000	3000	3000	7000	7000	5000	5000
4.2	Di Giovambattista	0	0	2000	2000	5000	5000	5000	6000	3000	2000
4.3	Cinti	0	0	1500	1500	5000	5000	2500	3500	3000	0
4.4	Garavaglia	0	0	4000	6000	4000	4000	4000	8500	5000	0
4.5	Godano	32000	16000	2000	2000	0	0	0	0	0	0
4.6	Mantovani	15000	15000	2000	2000	0	0	3500	3500	3500	3500
4.7	Murru	0	0	2800	2800	3000	3000	5000	7000	2000	0
4.8	Peruzza	10000	8000	12000	12000	4000	5000	7000	5000	0	2000
4.9	Rotondi	19000	19000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	0
		267100	249700	201800	211200	57000	53000	210100	199800	58500	20000

Dati complessivi (in migliaia di Euro)

Task/UR	Responsabile	I anno	II anno	Totale
1.1	Basili	46,0	36,0	82,0
1.2	Gasperini	6,0	6,0	12,0
1.3	Albini	10,2	8,2	18,4
2.1a	Brancolini	33,5	33,5	67,0
2.1b	Argnani	14,5	14,5	29,0
2.2a	Barbano	38,0	40,0	78,0
2.2b	De Martini	15,0	13,0	28,0
2.3	Barchi	27,8	23,1	50,9
2.4	Burrato	25,3	18,3	43,6
2.4	Catalano	34,0	32,0	66,0
2.5	Dogliani	24,0	26,0	50,0
2.6	Favali	18,0	15,0	33,0
2.7	Galadini	11,8	15,2	27,0
2.8	Italiano	40,0	40,0	80,0
2.9	Lavecchia	30,0	30,0	60,0
2.10	Mastronuzzi	6,0	6,0	12,0
2.11	Mucciarelli	10,0	1,5	11,5
2.12	Neri	20,6	19,6	40,2
2.13	Pizzi	19,0	19,0	38,0
2.14	Scandone	20,0	20,0	40,0
2.15	Siniscalchi	38,0	38,0	76,0
2.16	Pettenati	8,0	12,0	20,0
2.17	Solarino	15,0	15,0	30,0
2.19a	Tinti	2,5	2,5	5,0
2.19b	Piatanesi	5,5	2,5	8,0
2.20	Zuppetta	16,0	14,0	30,0
3.1	Barba	9,0	8,5	17,5
3.2a	Caporali	18,5	18,5	37,0
3.2b	Braitenberg	13,5	13,5	27,0
3.3	Guerra	15,0	0	15,0
3.4	Sepe	15,0	21,0	36,0
4.1	Akinci	16,0	16,0	32,0
4.2	Di Giovambattista	15,0	15,0	30,0
4.3	Cinti	12,0	10,0	22,0
4.4	Garavaglia	17,0	18,5	35,5
4.5	Godano	34,0	18,0	52,0
4.6	Mantovani	24,0	24,0	48,0
4.7	Murru	12,8	12,8	25,6
4.8	Peruzza	33,0	32,0	65,0
4.9	Rotondi	25,0	25,0	50,0
		794,5	733,7	1.528,2

Totale (Euro): 1.528.200

INGV: 513.000 (34%)

Altri enti: 1.015.200 (66%)

Progetto S3

Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico

coordinatori: Francesca Pacor (INGV-MI) e Marco Mucciarelli (UNIBas)

1. Obiettivo

Il Progetto S3 si pone come obiettivo generale il calcolo di scenari di scuotimento in alcune aree italiane nel caso di accadimento del terremoto massimo credibile (*Maximum Credible Earthquake*).

Gli scenari saranno valutati a scala comunale e/o intracomunale e saranno descritti attraverso mappe rappresentative dell'andamento nello spazio di vari parametri del moto sismico atteso (picchi di accelerazione, di velocità, ordinate spettrali etc.) e della loro variabilità. Particolare attenzione sarà dedicata alla valutazione della distribuzione dei valori predetti in funzione della variabilità dei parametri di ingresso dei modelli descriventi la sorgente sismica, il mezzo di propagazione e la geologia locale.

Gli scenari saranno calcolati a diverso livello di dettaglio sia attraverso metodologie semplificate, basate sulla combinazione di leggi d'attenuazione del moto e di zonazioni geologiche/geotecniche a scala urbana, sia attraverso tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici a faglia finita, in modo da riprodurre gli effetti dei terremoti nel campo vicino (direttività e generazione di impulsi a bassa frequenza). Il mezzo di propagazione sarà simulato attraverso diverse metodologie di calcolo (campo d'onda completo o in approssimazione ad alta frequenza in mezzi 1-D/3-D).

Nel Progetto si prevede inoltre di svolgere una serie di attività trasversali e/o propedeutiche al calcolo degli scenari, a carattere prevalentemente metodologico, finalizzate alla definizione e stesura di linee guida da seguire nella generazione di scenari di scuotimento a scala urbana.

Tali attività riguarderanno tre argomenti principali:

1. La definizione, su basi principalmente sismologiche, dei modelli di sorgente da utilizzare nel calcolo di scenari associati ad eventi sismici futuri, di cui cioè non si conoscono le modalità di accadimento;
2. La caratterizzazione e rappresentazione parametrica delle risposte sismiche associate a diverse condizioni di sito comunemente riscontrabili nel territorio italiano;
3. Lo sviluppo e l'applicazione di metodi di calcolo innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e/o regionale.

2. Stato dell'arte

Lo scuotimento sismico in una data area può essere valutato sia con approcci probabilistici che deterministici. In questo progetto si seguirà principalmente l'approccio deterministico al fine di realizzare, in alcune aree italiane, studi di scenario di scuotimento sismico.

Con il termine scenario, si intende la stima del moto del suolo atteso in occasione di un insieme di possibili eventi sismici, di cui uno potrebbe rappresentare un evento realmente verificatosi.

Gli scenari sono comunemente descritti attraverso mappe rappresentative dell'andamento spaziale di vari parametri del moto sismico (picchi di accelerazione, ordinate spettrali, etc.) per un dato terremoto nell'area considerata. Ad ogni mappa può essere associata un'informazione circa la sua variabilità derivante dalle diverse ipotesi sismologiche utilizzate per descrivere l'evento sismico. In generale lo studio di scenario intende affrontare il seguente problema "Nell'ipotesi che si rompa una data faglia, che cosa succederebbe nel suo intorno? quali sarebbero gli effetti sul territorio circostante?".

Lo studio di scenario necessita prima di tutto di una identificazione e descrizione delle strutture sismogenetiche di interesse per l'area in esame; successivamente si procede al calcolo del moto atteso da eventi sismici relativi alle possibili rotture delle strutture selezionate. Normalmente si selezionano e si analizzano gli eventi più severi per la regione e si ipotizzano diverse modalità di accadimento del terremoto lungo le varie faglie analizzate. Il calcolo del moto viene compiuto a vari livelli di complessità, sia attraverso modelli semplificati, quali leggi di attenuazione empiriche, sia attraverso modelli numerici che simulano la rottura di una faglia e la propagazione delle onde elastiche in mezzi stratificati.

Per quanto le varie ipotesi utilizzate nel rappresentare l'evento (ad esempio l'estensione della

rottura o la quantità di spostamento sulla faglia) siano scientificamente plausibili, lo scenario non potrà mai essere univocamente definito e dovrà essere corredato da una valutazione dell'incertezza associata.

Un altro aspetto importante per il calcolo degli scenari è la possibilità di disporre, nell'area considerata, di dati sismologici di base quali registrazioni di eventi sismici, anche di bassa intensità, e informazioni geologiche e geotecniche a varie scale, che permettono la calibrazione di alcuni parametri, quali le proprietà elastiche ed anelastiche del mezzo di propagazione e i fattori di amplificazioni dovuti alla geologia locale, necessari al calcolo del moto sismico. Infine, la possibilità di disporre di registrazioni sismiche di eventi di media e forte energia dovrebbe essere sfruttata per validare le grandezze predette attraverso i modelli utilizzati nel calcolo degli scenari.

In Italia, nell'ambito del Programma Quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale Difesa Terremoti, è stata svolto un progetto triennale dal titolo "Sviluppo e confronto di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in aree sismogenetiche: applicazione all'Appennino centrale e meridionale – Coordinatore M. Cocco", il cui scopo era quello di valutare scenari di scuotimento in alcune aree selezionate. In questo progetto sono state applicate diverse tecniche di simulazione di sismogrammi sintetici, quali tecniche stocastiche e ibride e deterministiche pure. Le tecniche sono state calibrate nell'area training di Colfiorito e successivamente applicate a Città di Castello e Val d'Agri.

Dagli studi di scenari condotti sono state tratte importanti conclusioni metodologiche che, in parte, sono state utilizzate per impostare e definire il presente progetto.

Alcuni dei principali risultati che vale la pena di sottolineare sono i seguenti:

- 1) Le analisi geofisiche multidisciplinari sono estremamente utili per vincolare le strutture sismogenetiche e i modelli crostali; ad esempio, la definizione della faglia dell'Alta Val Tiberina analizzata nello studio di scenario a Città di Castello ha giovato dell'acquisizione di registrazioni della sismicità di fondo effettuata durante il progetto;
- 2) Si è evidenziata l'importanza di effettuare analisi comparative dei risultati, quando si utilizzano diverse tecniche di simulazione, poiché ogni tecnica è in grado di riprodurre alcune caratteristiche del moto sismico che dipendono dalla descrizione numerica della sorgente e del mezzo di propagazione;
- 3) Anche nel caso di terremoti moderati, gli effetti di faglia finita devono essere considerati al fine di spiegare la variabilità del moto osservata nell'intorno della faglia. A brevi distanze, le predizioni del moto ottenute da sismogrammi sintetici generati da modelli a faglia estesa dovrebbero essere più accurate rispetto a quelle ottenute dai modelli di attenuazione empirici.
- 4) Le leggi di attenuazione sono importanti per validare le simulazioni, tuttavia possono esistere notevoli differenze fra i valori empirici e quelli predetti poiché la variabilità del moto associata alla faglia finita non è inclusa nelle leggi di attenuazione.
- 5) Gli effetti di sito sono fondamentali per ottenere scenari direttamente utilizzabili dagli enti preposti (DPC ed autorità locali); le funzioni di trasferimento 1D solo parzialmente possono tenere in conto le amplificazioni osservate e in alcune situazioni geomorfologiche è necessario stimare le funzioni di trasferimento 2D e 3D. Un altro aspetto da considerare deve essere la non linearità dei terreni, che può modificare notevolmente la risposta sismica di un dato sito.

Nel seguito è descritto il progetto, introducendo inizialmente le aree selezionate per il calcolo dello scenario; successivamente per ogni area, sarà dettagliata la procedura che si intende seguire per giungere allo studio di scenario.

3. Descrizione del progetto

Le aree

Il Progetto si concentrerà su quattro aree italiane, due scelte a scopo previsionale e due a scopo di validazione. A scopo previsionale si identificano l'area urbana di Potenza (PZ) e quella di Gubbio (PG), comprensiva del centro abitato e della piana sottostante; come aree di validazione si individuano quelle ricoperte dai comuni maggiormente danneggiati da due eventi recenti: il terremoto del basso Molise del 31 Ottobre 2002 e il terremoto del bresciano del 24 Novembre 2004. Queste quattro aree soddisfano più di uno dei criteri inizialmente posti come vincolo:

- 1) sono prossime ad aree indicate come oggetto di studio nel progetto GNDT 2001-2004 per l'occorrenza di prossimi eventi probabili;
- 2) sono state o sono oggetto di progetti relativi a studi di microzonazione e vulnerabilità che permetteranno la generazione di scenari ad alto livello di dettaglio in 2 anni;
- 3) esistono e sono disponibili molti dati di base, sia territoriali sia sismologici, in modo da limitare gli investimenti per la loro raccolta;
- 4) sono state colpite recentemente da eventi sismici e possono quindi essere utilizzate per valutare le capacità predittive delle tecniche e dei modelli applicati nel calcolo degli scenari di scuotimento;
- 5) sono distribuite sull'intero territorio nazionale.

Le aree di validazione. La prima zona scelta è quella tra Molise e Puglia danneggiata dalla sequenza sismica iniziata il 31 Ottobre del 2002 ($M = 5.6$). Per questi comuni esiste una notevole messe di dati sulla risposta sismica locale e sulla vulnerabilità degli edifici, ma non esiste una registrazione delle scosse principali in area epicentrale (escluso un dato all'interno di un edificio di Bonefro). Inoltre durante la sequenza sismica sono stati registrati molti eventi sismici che potranno essere utilizzati per calibrare leggi di attenuazione del moto e i parametri sismologici della regione, quali i termini di sorgente e di attenuazione geometrica ed anelastica. La disponibilità di accurati studi sul danneggiamento permetterà di confrontare gli scenari teorici con quanto realmente accaduto e di valutare la sensibilità degli scenari ai vari parametri di modello.

La seconda zona proposta è quella bresciana compresa fra i comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno, colpita dalla recente scossa di terremoto del 24 Novembre 2004 ($M = 5.2$). Per questi comuni sono disponibili dettagliati studi di microzonazione e di vulnerabilità condotti dalla regione Lombardia in data antecedente all'evento. Questa rara opportunità permetterà di utilizzarli per il calcolo e la validazione di scenari di scuotimento al sito.

Sarà possibile utilizzare gli scenari predetti per confronti con il danno realmente avvenuto, permettendo di valutare le potenzialità e i limiti dei metodi proposti per il calcolo di scenari a supporto della gestione dell'emergenza a seguito di un evento sismico in un'area densamente abitata.

Le aree di previsione. La prima area di previsione è il comune di Gubbio. L'abitato di Gubbio e i suoi dintorni sono rappresentativi di tipologie urbanistiche e/o geomorfologiche molto diffuse in Italia centrale, essendo un centro storico di valenza culturale ed artistica fondato su versante roccioso, con aree di espansione residenziale e produttiva insistenti su valle alluvionale.

La conca Eugubina è un'area sub-pianeggiante formatasi in seguito alla tettonica quaternaria distensiva e colmata da sedimenti lacustri e fluvio-lacustri con profondità stimata dai 150 ai 250 m. Studi recenti hanno indicato la presenza di effetti di sito nella parte meridionale del bacino, evidenziati dalla generazione di onde di superficie per diffrazione ai bordi della struttura sedimentaria.

L'area è stata da poco colpita dalla sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997-1998 e lo studio di scenario potrà beneficiare dei dati (in particolare registrazioni accelerometriche) e dei risultati ottenuti dagli studi condotti a seguito dell'evento. Inoltre in tale area la sismicità, moderata ma è

molto frequente favorendo attività di monitoraggio per la comprensione degli effetti di sito in strutture complesse, quali le conche intramontane.

Il comune di Potenza è un sito altamente sismico (classificato in zona sismica 1, danneggiato da 5 terremoti nel passato e prossimo alla faglia Pergola-Melandro studiata nel progetto “Terremoti probabili ...” coordinato da A. Amato) dove sono stati svolti progetti che hanno prodotto dati di vulnerabilità e di amplificazione sismica a vario livello di dettaglio (Dolce et al., 2003, Bull. Earthq. Eng, 1, 115-140).

Sfruttando la possibilità di sinergie con questi e altri progetti di protezione civile a livello locale, gli studi di scenario potranno essere elaborati con maggiore accuratezza e fornire utili indicazioni anche per la valutazione del danno atteso.

Articolazione del progetto

Il progetto è articolato in sette Task, che ne definiscono gli obiettivi generali come da convenzione:

Task	Argomento
1	Scenari di scuotimento
2	Effetti di sito
3	Scenari area 1: Molise
4	Scenari area 2: Garda
5	Scenari area 3: Gubbio
6	Scenari area 4: Potenza
7	Interfacciamento con l'ingegneria ed il DPC

I primi due Task sono a carattere prevalentemente metodologico e comprendono le attività propedeutiche e conoscitive per la generazione di scenari di scuotimento a scala urbana; l'ultimo è relativo al trasferimento dei risultati degli studi di scenario di scuotimento atteso alla comunità ingegneristica per valutazioni relative al danno e al DPC per la gestione del territorio; infine gli altri quattro Task corrispondono ciascuno ad una delle aree proposte e forniranno risultati prevalentemente applicativi specifici per l'area oggetto di studio.

Nelle due aree di validazione saranno generati scenari di scuotimento corrispondenti agli eventi sismici occorsi; viceversa nelle due aree di previsione saranno generati più scenari di scuotimento, corrispondenti alle diverse ipotesi d'accadimento del terremoto massimo credibile (MCE).

In tutte le quattro aree investigate, gli scenari saranno calcolati applicando lo stesso schema: inizialmente saranno elaborati gli scenari al bedrock a diversi livelli di dettaglio dipendenti dalla complessità introdotta nel descrivere la sorgente sismica ed il mezzo di propagazione; successivamente saranno calcolati gli scenari al sito, attraverso l'introduzione degli effetti locali che saranno descritti e valutati con un grado di dettaglio variabile, dipendente dalla disponibilità e qualità dei dati geologici, geotecnici, geofisici e sismologici.

Per ogni zona di studio potranno essere adottati metodi di calcolo differenti, che saranno selezionati sia in funzione della loro applicabilità al singolo caso analizzato sia anche in relazione ai risultati dei Task metodologici 1 e 2.

Task 1 - Scenari di scuotimento

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR10 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: 1) Linee guida per la definizione degli scenari di scuotimento al bedrock; 2)

Sviluppo di metodi innovativi per la valutazione del moto sismico a scala locale e regionale.

In questo Task si prevedono tre attività di ricerca, finalizzate alla calibrazione delle tecniche di simulazione da utilizzare per il calcolo di scenari di scuotimento nelle aree prescelte e per la valutazione della variabilità delle predizioni al variare dei parametri del modello.

Per il raggiungimento degli obiettivi 1 e 2, i risultati derivanti dalle Attività svolte in questo Task e descritte nel seguito, saranno integrati con i risultati riguardanti la definizione degli scenari nelle quattro aree oggetto di studio del Progetto (Molise, Garda, Potenza Gubbio); sempre con lo stesso fine si prevede inoltre di collaborare con il Progetto S5 della stessa convenzione ProtCiv-INGV.

Attività 1 - Tecniche di simulazione. In questa attività si prevede di simulare un terremoto del passato ben conosciuto e per cui è disponibile un data-set di dati accelerometrici, applicando le diverse tecniche di generazione di sismogrammi sintetici proposte nel Progetto. Lo scopo è valutare quale grandezza osservata (valore di picco, contenuto in frequenza, durata) e con quale livello di accuratezza ciascuna tecnica è in grado di riprodurre. Le tecniche sono di tre categorie:

- 1) Tecniche semplificate basate su approcci stocastici a sorgente puntuale (PSSM) e estesa (DSM);
- 2) Tecniche a faglia estesa sia asintotiche che complete;
- 3) Tecniche ibride in cui la componente in bassa frequenza dei sismogrammi sintetici è calcolata in modo deterministico e l'alta frequenza è calcolata con approcci stocastici.

Alla luce dei risultati ottenuti sarà possibile valutare il metodo di calcolo più idoneo per la valutazione del moto atteso nelle varie aree selezionate in dipendenza di vari fattori quali: le caratteristiche del mezzo di propagazione, la vicinanza alla struttura sismogenetica, il parametro *strong-motion* di interesse per la valutazione dei danni e la qualità dei dati utilizzati per la definizione del modello.

Attività 2 - Caratterizzazione della variabilità del moto e valutazione dell'incertezza. In questa attività si intende valutare l'origine della variabilità del moto sismico durante un terremoto in modo da raggiungere una migliore caratterizzazione dell'incertezza nelle stime a fini applicativi.

A questo scopo si analizzeranno data set di forme d'onda osservate e si ricercheranno strumenti di analisi per evidenziare le cause delle variabilità del moto osservato rispetto ad andamenti medi (effetti di sorgente o effetti locali).

Inoltre attraverso l'applicazione delle tecniche di simulazione utilizzate nel progetto saranno condotti studi parametrici per la valutare la variabilità che i singoli parametri del modello (velocità di rottura, momento sismico etc.) introducono nel calcolo del moto atteso.

Attività 3 - Metodi innovativi per la valutazione della pericolosità sismica. In questa attività saranno raccolte tutte le ricerche finalizzate allo sviluppo e alla validazione di metodi innovativi per il calcolo di scenari di scuotimento.

La prima linea di sviluppo consisterà nell'integrazione delle tecniche di simulazione stocastiche con quelle deterministiche al fine di ottenere simulazioni realistiche del moto del suolo sia in campo vicino sia lontano su ampia banda di frequenza. Un'altra linea di sviluppo si baserà sull'introduzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni deterministiche a faglia finita del moto del suolo nel classico approccio probabilistico (PSHA, Probabilistic Seismic Hazard Analysis) utilizzato per le stime di pericolosità a scala regionale.

Inoltre si valuterà l'efficacia degli scenari calcolati in termini di intensità risentita, ottenuti sia da semplici leggi di attenuazione/conversione che derivati da tecniche di modellazione.

Task 2 - Effetti di sito

Partecipanti: UR2, UR3, UR4, UR5, UR6, UR7, UR8, UR11 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Linee-guida per l'introduzione degli effetti di sito nel calcolo degli scenari a scala urbana

Per la realizzazione di scenari speditivi è fondamentale validare la possibilità di fornire stime semplificate ma attendibili dell'amplificazione sismica; pertanto in questo Task si prevedono due attività di ricerca. La prima attività è finalizzata alla validazione della capacità predittiva di V_{s30} (velocità delle onde S nei primi trenta metri del terreno per stimare la risposta sismica di un sito) per stimare la risposta di sito; la seconda è mirata alla caratterizzazione della risposta sismica di situazioni geo-morfologiche diffuse sul territorio italiano, ma poco studiate, quali siti con profili di velocità in cui sono presenti inversioni. I risultati derivanti dalle Attività 1 e Attività 2 e descritte nel seguito, saranno integrate con i risultati relativi alla definizione delle risposte locali nelle quattro aree in cui saranno calcolati gli scenari di scuotimento (Molise, Garda, Potenza Gubbio).

Attività 1 - V_{s30} . L'Ordinanza PCM 3274-3316, in linea con le tendenze dell'Eurocodice 8, ha introdotto questo parametro, per la determinazione del quale non sono disponibili procedure standard. Si propone un *cross-check* di tecniche geofisiche speditive da superficie (NASW, Rifrazione S, F-tan, SASW, inversione HVSR, ecc.) per la determinazione del profilo di velocità, di V_{s30} e dell'amplificazione, incluse stime speditive degli effetti non lineari (Bazzurro e Cornell, 2004). I siti dove effettuare misure di confronto saranno da tre a cinque postazioni dotate di strumenti in foro ed in superficie. Al momento i possibili siti individuati allo scopo sono: Casaglia (FE), Tito Scalo (PZ), Senigallia (AN), Tomba di Buia (UD), Roma. La prova si configura come un *semi-blind test*. Alle UR operative partecipanti sarà chiesto di fornire i risultati dapprima senza alcuna informazione supplementare, quindi avendo a disposizione informazioni sulla stratigrafia del foro. Solo alla fine si confronteranno i risultati delle tecniche di superficie con quelli delle misure in foro e con l'amplificazione realmente misurata (UR2, UR3, UR4, UR6).

Attività 2 - Caratterizzazione di alcune tipologie di sito. Esistono molte tipologie diffuse sul territorio nazionale per cui la semplice caratterizzazione V_{s30} o altri modelli semplici non forniscono risultati soddisfacenti. Si propone di studiarne quattro:

1. Inversioni di velocità – questa è una tipologia molto diffusa sul territorio. Basti pensare alle vulcaniti laziali sovrapposte ad argille, alla presenza di travertini all'interno di sedimenti fluvio-lacustri, conglomerati ben cementati in successioni sedimentarie. Quando lo strato più rigido è quello affiorante, molto spesso in passato è stato scelto per le sue caratteristiche dalla popolazioni che vi hanno edificato centri urbani (UR7).
2. Carsismo – questa tipologia è molto diffusa in Friuli, Puglia e Sicilia orientale (UR8).
3. Fratturazione ammassi rocciosi – Molti siti costituiti da materiali lapidei hanno evidenziato risposte di sito che non li inquadrano come suoli di tipo A. La presenza di faglie e intensa fratturazione ne è la causa (UR11).
4. Aree in frana – La nuova normativa sismica prevede la inedificabilità delle aree in frana, ma non fornisce suggerimenti su come comportarsi nel caso, moto diffuso, che le aree in frana (magari stabilizzate) siano già oggetto di insediamento abitativo (UR5).

Queste tipologie verranno studiate sia mediante registrazioni sismiche al sito che modellazioni mono e bi-dimensionali.

Task 3 - Scenari, area 1: Molise

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR7, UR9, UR10 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nei comuni di Bonefro, S Giuliano di Puglia, Colletorto, S.Croce di Magliano e Ripabottoni

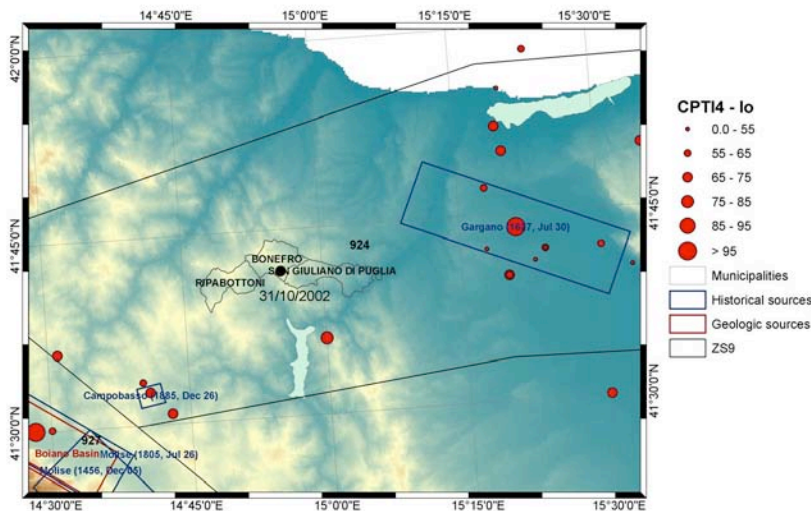


FIGURA 1 – ZONA 1

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione della sorgente sismogenetica del terremoto del 31 ottobre 2002 e definizione mezzo di propagazione 1D
2. Raccolta dei dati sismometrici registrati durante la sequenza sismica dai vari enti (Università di Genova, INOGS, INGV). Loro utilizzo insieme ai dati accelerometrici registrati dalla rete mobile del DPC-SSN nel periodo Novembre 2002-Dicembre 2003 per la stima dei parametri sismologici dell'area (UR1, UR9).
3. Definizione modelli spettrali che forniranno le caratteristiche dell'attenuazione, le proprietà delle sorgenti e le funzioni di trasferimento empiriche (UR1, UR9).
4. Stima di leggi di attenuazione empiriche e sintetiche dei parametri strong motion (PGA, PGV etc.) da utilizzare per ottenere le prime stime degli scenari di scuotimento (Scenari livello 0) (UR1, UR9).
5. Simulazione a faglia estesa dell'evento principale con tecniche semplificate (Scenari livello 1) e complesse (Scenari livello 2), calibrazione dei modelli attraverso il confronto con le registrazioni accelerometriche in campo lontano e le leggi empiriche stimate al punto precedente.
6. Calcolo dello scenario al bedrock nei 5 comuni oggetto di studio.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto ai siti sono di seguito elencate:

1. Tomografie geoleitriche profonde 2,5 D a S.Giuliano di Puglia per la ricostruzione del substrato (UR4).
2. Raccolta e utilizzo dati geotecnici e geologici per definire i modelli mono-, bi-, e tridimensionali per valutare la risposta sismica locale nei comuni oggetto di studio (UR2, UR7).
3. Ricostruzione di un modello geologico 3-D a S.Giuliano di Puglia e studio della propagazione lineare delle onde sismiche (UR2, UR3, UR7).

4. Studio dell'interazione tra suolo-edificato (comune di Bonefro) (UR3, UR4, UR6).
5. Definizione delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare per la stima del moto al sito (UR2, UR4, UR6, UR7).
6. Calcolo degli scenari al sito e confronti con il danno verificatosi durante l'evento principale nei 5 comuni.
7. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari a vario livello di dettaglio.

Task 4 - Scenari, area 2: Garda

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR10. Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno.

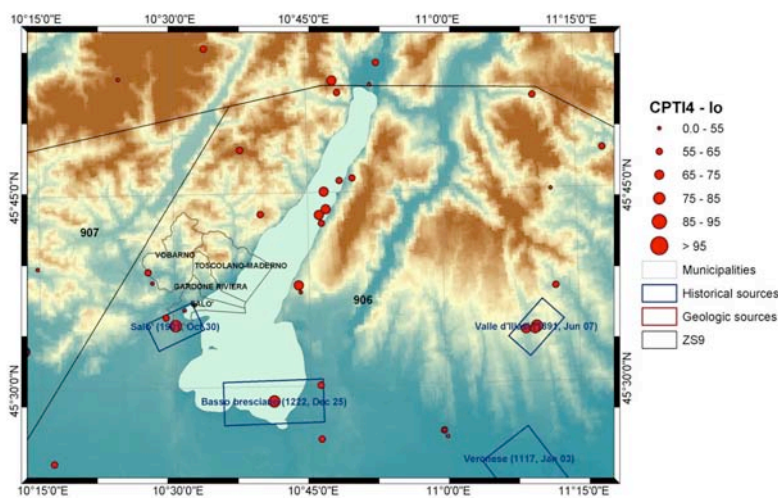


FIGURA 2 – AREA 2

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione sorgente sismogenetica del terremoto del 24 Novembre 2004 e definizione del mezzo di propagazione 1D.
2. Raccolta dei dati sismometrici registrati dalla rete temporanea installata dall'INGV durante la sequenza sismica che ha interessato l'area. Loro utilizzo insieme a altri dati sismici disponibili per la stima dell'attenuazione nell'area di interesse (UR1).
3. Calcolo di leggi di attenuazione empiriche dei parametri di picco del moto del suolo (Scenari livello 0) (UR1).
4. Simulazione a faglia estesa dell'evento principale con tecniche semplificate (scenari livello 1) e complesse (Scenari livello 2); calibrazione dei modelli con le registrazioni effettuate durante la sequenza.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Raccolta dei dati di microzonazione e di vulnerabilità esistenti presso la Regione Lombardia (UR4).
2. Calcolo dello scenario al bedrock nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno.
3. Campagne di misura di rumore nei comuni di Vobarno, Salò, Gardone Riviera, Toscolano-Maderno (UR1, UR4).

4. Campagne di misura di rumore in alcuni edifici nei comuni oggetto di studio (UR4).
5. Confronto fra gli studi di microzonazione e i risultati ottenuti dall'elaborazione delle misure di rumore; confronto fra studi di vulnerabilità e i risultati ottenuti dall'elaborazione misure di rumore in edifici (UR4, UR6).
6. Definizione delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare per la stima del moto del suolo al sito.
7. Calcolo di scenari al sito e confronti con i danni osservati.
8. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi dei scenari nei 4 comuni.

Task 5 – Scenari, area 3: Potenza

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR10 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nel comune di Potenza.

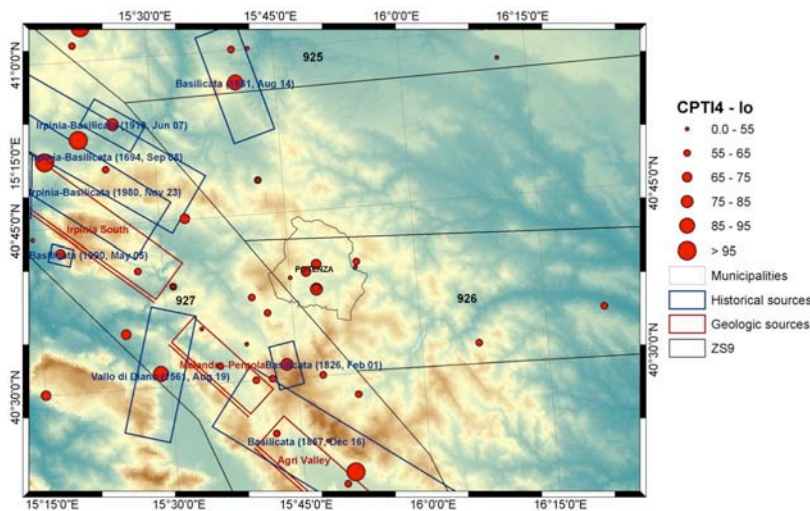


FIGURA 3 – AREA 3

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche per la stima del terremoto massimo credibile e definizione del modello di propagazione 1D (UR6).
2. Raccolta dei dati sismometrici ed accelerometrici registrati in Italia meridionale (Università della Basilicata, CNR-IMAA, UniBA, UniCal). Loro utilizzo per stima dei parametri sismologici dell'area (UR6).
3. Definizione modelli spettrali che forniranno: caratteristiche dell'attenuazione, proprietà delle sorgenti e le funzioni di trasferimento empiriche (UR6).
4. Leggi di attenuazione empiriche e sintetiche (Scenari livello 0).
5. Simulazione a faglia estesa delle strutture sismogenetiche con tecniche semplificate (scenari livello 1) e complesse (scenari livello 2).
6. Calcolo dello scenario al bedrock nel comune di Potenza.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Recupero studi di microzonazione e studi di amplificazione sismica nel comune di Potenza. Recupero dati di vulnerabilità (UR4, UR6).

2. Campagna di misura di rumore in edifici significativi (UR4).
3. Stima delle funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare con gli scenari al bedrock per la stima del moto al sito (UR4, UR6).
4. Calcolo degli scenari al sito.
5. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari a Potenza.

Task 6– Scenari, area 4: Gubbio

Partecipanti: UR1, UR2, UR3, UR4, UR6, UR9, UR10, UR11 - Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: Scenari di scuotimento al bedrock e al sito nell'abita e nella piana di Gubbio (PG).

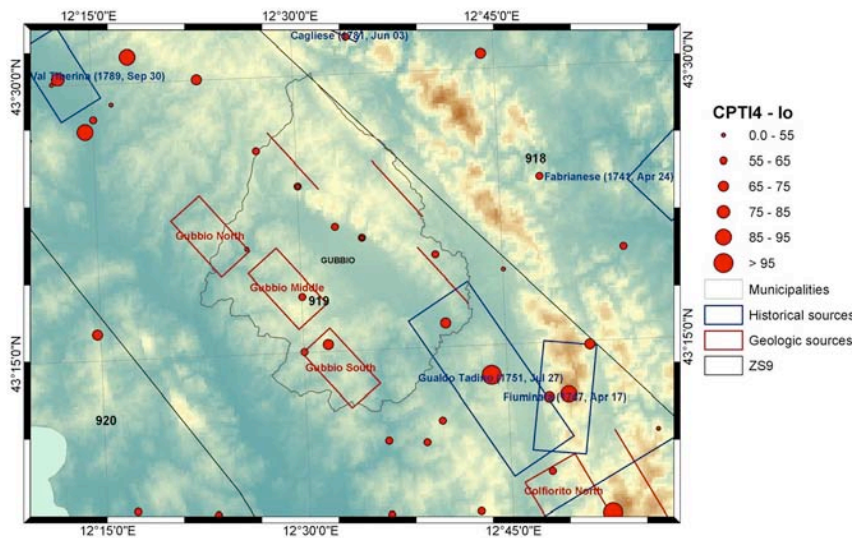


FIGURA 4 – AREA 4

Attività 1 - Scenari al bedrock. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche per stima del terremoto massimo credibile (MCE) e definizione del modello di propagazione 1D.
2. Recupero studi esistenti per la definizione delle leggi di attenuazione empiriche e sintetiche (scenari livello 0); aggiornamento delle leggi di attenuazione con i dati registrati durante il progetto.
3. Calibrazione dei modelli attraverso la simulazione del terremoto di Gubbio (1984) e simulazione a faglia estesa dell'evento MCE con tecniche semplificate e complesse (scenari livello 1);
4. Calcolo e definizione dello scenario al bedrock nell'abitato e nella piana di Gubbio.

Attività 2 - Scenari al sito. Le attività che saranno svolte per la stima del moto su roccia sono di seguito elencate:

1. Campagna di misura con installazione di circa 24 stazioni sismiche lungo vari transetti e array 2D disposti nel bacino (UR1, UR2, UR6).
2. Installazione di una rete mobile composta di 13 stazioni per monitoraggio sismico (UR9).
3. Esecuzione di un pozzo profondo; installazione di sensori in un pozzo e misure di down-hole (UR11).
4. Tomografia sismiche 3D a riflessione ad alta risoluzione per caratterizzazione sottosuolo (geometria e litologia) (UR3).

5. Campagna di misure di rumore nella piana e nell'abitato (anche in edifici) (circa 160 punti di misura) (UR4).
6. Simulazioni 1D e 2D per definire la risposta sismica della valle.
7. Funzioni di trasferimento e/o fattori di amplificazione da utilizzare con gli scenari al bedrock per calcolare gli scenari al sito.
8. Creazione di un sistema informativo territoriale con dati di ingresso, risultati intermedi e elaborati finali descrittivi gli scenari nell'abitato di Gubbio e nella piana.

Task 7 – Interfacciamento con l'ingegneria ed il DPC

Partecipanti: UR1, UR6 – Le UR partecipano a tutte le attività, tranne dove diversamente specificato

Obiettivi: 1) Definizione e previsione delle variabili di interesse ingegneristico. 2) Creazione di un GIS contenente i risultati degli studi di scenari.

Attività 1 - Definizione parametri del moto a scopi ingegneristici. I risultati di pericolosità andranno espressi in modo di poter essere interfacciati con studi di vulnerabilità altrimenti esperiti allo scopo di creare scenari di danno. Considerate le tecniche sia già a disposizione degli ingegneri sia quelle che sono attualmente oggetto di sviluppo, si forniranno specifici prodotti relazionati come illustrato nella tabella seguente:

Stima di Pericolosità	Stima di Danno
Intensità Macrosismica	Matrici di Danno
Accelerogrammi sintetici	Fragility Curves
Ordinate spettrali	Interstory Displacement Index

Inoltre si effettueranno due attività di ricerca finalizzate allo scopo di migliorare la interfaccia presente e futura tra ingegneria e sismologia.

Si effettueranno studi di sensibilità per valutare gli effetti della convoluzione della distribuzione di probabilità dei parametri stimati dagli scenari con metodologie che impiegano curve di fragilità (es. Hazus) caratterizzazione della frequenza fondamentale di edifici campione per identificare possibili fenomeni di risonanza tra edifici e suoli di fondazione (si veda per il terremoto del Molise Gallipoli et al, 2004, Earthq. Spectra, 20, S81-S94).

Attività 2 - Informatizzazione degli studi di scenario. In questo Task si prevede di predisporre degli strumenti informatici per rendere fruibili gli studi di scenario attraverso la creazione di un GIS che permetterà, per l'area selezionata, di ripercorrere le varie fasi che hanno portato alla generazione delle mappe di pericolosità. Con questo strumento sarà possibile esplorare i dati di ingresso, le elaborazioni intermedie e il prodotto finale.

Il primo obiettivo di questa attività sarà quindi quello di fornire le mappe descrittive gli scenari e i relativi metadati in formato leggibile dai software più comunemente utilizzati dalla DPC; quando disponibili si aggiungeranno anche le informazioni territoriali quali topografia, geologia confini comunali, viabilità etc. I dati saranno inoltre forniti su supporto digitale, in formati importabili nel sistema AUGUSTUS del DPC per consentirne una agevole consultazione da parte degli operatori sia a livello nazionale che locale. Inoltre, per un'area campione, si prevede la realizzazione di un

prototipo di “scenario navigabile”, basato un’interfaccia *user friendly* che permetterà la navigazione del data-set e l’interrogazione delle mappe.

Task	Attività	2005						2006						2007													
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		
1	1																										
1	2																										
1	3																										
2	1																										
2	2																										
3	1																										
3	2																										
4	1																										
4	2																										
5	1																										
5	2																										
6	1																										
6	2																										
7	1																										
7	2																										

4. Deliverable attesi

Nel Progetto sono previste principalmente due tipi di attività: il primo a carattere sperimentale, che raggruppa tutte le attività di campagna e raccolta dati, il secondo a carattere numerico, che raggruppa le attività di modellazione. Il primo anno di Progetto sarà quasi interamente dedicato alla fase di misura, raccolta ed elaborazione dati, mentre il secondo anno sarà utilizzato per la ricostruzione dei modelli, le simulazioni e l’implementazione dei risultati delle attività sperimentali nel calcolo degli scenari. Nel seguito è descritto in dettaglio lo svolgimento temporale delle varie attività e i *deliverable* attesi, specificati attraverso il codice D#

Task 1

Attività 1

- 12 mesi: Conclusione confronto tecniche di simulazione

Attività 2

- 18 mesi: Conclusione attività di ricerca per la caratterizzazione della variabilità del moto
- 24 mesi: D1 - Linee guida per la definizione degli scenari

Attività 3

- 24 mesi: D2 - Implementazione codici di calcolo ibridi e validazione tecniche innovative

Task 2

- 24 mesi: D3 - Linee guida per l’introduzione degli effetti di sito negli studi di scenari

Attività 1

- 24 mesi: D4 - Valutazione sull’affidabilità dei metodi di superficie per la stima di V_{s30}

Attività 2

- 24 mesi: D5 - Considerazioni sull’applicabilità di V_{s30} in situazioni geomorfologiche particolari

Task 3

Scenari al bedrock

- 12 mesi: D6 - CD rom contenente registrazioni della sequenza sismica del Molise, registrate dalle reti temporanee di Genova, Udine e INGV.

- 18 mesi: Modello spettrale, funzioni di trasferimento ai siti di registrazione e leggi di attenuazione empiriche e teoriche
 - 18 mesi: Simulazione dell'evento principale
 - 18 mesi: D7 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità
- Scenari al sito
- 12 mesi: D8 - Modelli geotecnici 1D e 2D nei siti prescelti
 - 18 mesi: D9 - Modello 3D a S. Giuliano
 - 18 mesi: D10 - Funzioni di trasferimento teoriche
 - 20 mesi: Validazione del modello per il terremoto principale
 - 24 mesi: D11 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 4

Scenari al bedrock

- 12 mesi D12 - CD – rom contenente registrazioni della sequenza sismica nella zona del Garda, registrate dalle rete INGV
- 18 mesi Modello spettrale, funzioni di trasferimento ai siti di registrazione e leggi di attenuazione empiriche e teoriche
- 18 mesi: D13 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità

-

Scenari al sito

- 12 mesi: Conclusione attività di recupero dati di micrizonazione e vulnerabilità nei comuni del Garda
- 18 mesi Conclusione campagna di misura di rumore nei 4 comuni
- 18 mesi: Conclusione campagna di misura negli edifici
- 20 mesi: D14 - Funzioni di trasferimento empiriche e risposte in frequenza degli edifici
- 20 mesi Validazione dei modelli per il terremoto del Garda
- 24 mesi D15 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 5

Scenari al bedrock

- 12 mesi D16 - CD – rom contenente i dati delle registrazioni dell'Italia Meridionale utilizzate nel Progetto per il calcolo dell'attenuazione nell'area di Potenza.
- 18 mesi Modello spettrale, funzioni di trasferimento ai siti di registrazione e leggi di attenuazione empiriche e teoriche
- 18 mesi: D17 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità

Scenari al sito

- 12 mesi: Conclusione attività di recupero dati di micrizonazione e vulnerabilità nei comune di Potenza
- 12 mesi: Conclusione campagna di misura negli edifici
- 18 mesi: D18 - Funzioni di trasferimento e risposte in frequenze degli edifici
- 24 mesi D19 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 6

Scenari al bedrock

- 18 mesi Calibrazione dei modelli attraverso la simulazione dell'evento del 1984
- 20 mesi: D20 - Scenari al bedrock a vari livelli di complessità

Scenari al sito

- 12 mesi: Conclusione attività di monitoraggio della piana di Gubbio
- 12 mesi: Conclusione campagna di misura negli edifici
- 18 mesi Conclusione attività di tomografia 3D

- 20 mesi: D21 - Definizione del modello 3D del sottosuolo
- 20 mesi: D22 - Funzioni di trasferimento empiriche e risposte in frequenza degli edifici
- 24 mesi D23 - Sistema informativo territoriale degli scenari al sito

Task 7

- 12 mesi D24 - Specifiche dei parametri sismici necessari per la generazione di scenari di danno nel presente e immediato futuro
- 20 mesi D25 – Sviluppo di un'interfaccia user-friendly per navigare all'interno di uno scenario di scuotimento

5. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Le attività previste sono generalmente a basso rischio di non completamento. Si tratta in gran parte di porre in atto metodologie sia sperimentali che numeriche ben consolidate e note ai partecipanti. L'elemento di novità del progetto S3 risiede nella integrazione di varie tecniche e nel loro mutuo confronto e validazione incrociata piuttosto che nella sperimentazione. Una parte del progetto è comunque riservata ad attività innovative di modellazione, ma è evidente che in questo caso vi è un fattore di rischio accettabile legato all'innovazione. Oltretutto le risorse dedicate alla sperimentazione sono limitate e marginali nell'economia del progetto S3. Gli elementi di rischio maggiori sono rappresentati dalle attività di campagna. Bisogna dividere le attività *in situ* in due categorie distinte, con diverso livello di rischio e diverso impatto sui risultati in caso di fallimento. Per quanto riguarda le tecniche mirate alla validazione di Vs30 ed allo studio di tipologie particolari di sito, l'insuccesso di una tecnica sarebbe paradossalmente utile, in quanto servirebbe a chiarire le effettive potenzialità dei metodi proposti a seconda delle diverse situazioni geo-morfologiche in esame. Diverso è il discorso per quanto concerne le aree dove si calcoleranno gli scenari. In questo caso è necessario disporre di dati che saranno in parte forniti da attività di campagna, e due sono in particolare le prove più critiche: il sondaggio geognostico profondo nella Piana di Gubbio e le tomografie geoelettriche profonde a San Giuliano di Puglia. Precedenti esperienze e le capacità dei gruppi coinvolti autorizzano comunque ad essere fiduciosi circa una positiva conclusione delle campagne in oggetto. Infine, l'elevato tasso di sismicità dell'Appennino Centrale costituisce un elemento di certezza circa la possibilità di poter disporre di registrazioni sismometriche nella Piana di Gubbio.

6. Tabella mesi/persona per task e UR

UR	Enti	Resp.	Task1 Scen.	Task2 Sito	Task3 Molise	Task4 Garda	Task5 Potenza	Task6 Gubbio	Task 7 INGV/ DPC	Mesi/ pers. cofin.	Mesi/ pers. rich.
1	INGV-MI	Franceschina	@		@	@	@	@	@	84	
2	INGV-RM	Cultrera	@	@	@	@	@	@		62	
3	INOGS	Boehm	@	@	@	@	@	@		71	60
4	CNR – IMAA	Piscitelli		@	IMAA	UniBol DPA	IMAA	UniSI		29	30
5	UniBA	Del Gaudio		@						18	12
6	UniBas	Mucciarelli		@	@	@	@	@	@	33	24
7	UniCal	Silvestri		@	UniCal					164	48
8	UniCT	Maugeri		@						27	36
9	UniGE	Eva			@			@		37	36
10	UniNA1	Emolo	@		@	@	@	@		28	24
11	UniRM3	Scarascia		@				@		24	12
		Totale								577	306

7. Tabella finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Miss. estero		Consumi servizi		Inventar		Totale		tot.
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-MI	0	0	7,5	4,0	2,5	6,0	12,0	14,0	13,0	10,0	35,0	34,0	69,0
2	INGV-RM	0	0	12,0	7,0	12,0	13,0	41,0	15,0	39,0	11,0	104,0	46,0	150,0
3	INOGS	25,75	34,85	14,5	34,0	0	0	13,5	12,5	6,4	2,5	60,15	83,85	144,0
4	CNR-IMAA	7,5	7,5	13,5	9,5	3,5	3,5	3,8	3,8	20,4	7,0	48,7	31,3	80,0
5	UniBA	0	0	2,6	1,5	1,4	1,0	3,0	1,5	20,0	0	27,0	4,0	31,0
6	UniBas	19,0	19,0	6,0	6,0	0	0	18,0	17,0	0	0	43,0	42,0	85,0
7	UniCal	57,0	19,0	2,5	2,0	0	0	3,5	1,0	4,5	0	67,5	22,0	89,5
8	UniCT	22,0	36,0	5,0	3,0	2,0	3,0	12,0	3,0	0	0	41,0	45,0	86,0
9	UniGE	18,5	18,5	10,0	10,0	0	0	6,0	10,0	4,0	0	38,5	38,5	77,0
10	UniNA1	18,0	18,0	2,0	2,0	4,0	4,0	16,0	16,0	5,0	5,0	45,0	45,0	90,0
11	UniRM3	6,0	4,0	6,0	4,0	0	0	9,0	4,5	0	0	21,0	12,5	33,5
		173,75	156,85	81,6	83,0	25,4	30,5	137,8	98,3	112,3	35,5	530,85	404,15	935,0

Totale (Euro): 935.000

INGV: 219.000 (23%)

Altri enti: 716.000 (77%)

Progetto S4

Stima dello scuotimento in tempo reale e quasi-reale per terremoti significativi in territorio nazionale

coordinatori: Luca Malagnini (INGV-RM1) e Daniele Spallarossa (UNIGe)

1. Obiettivo

La rapida caratterizzazione del moto del suolo intorno alla faglia che lo ha generato è un passo essenziale per la rapida determinazione dell'impatto del terremoto sul territorio, sulla popolazione, e sull'economia della regione colpita. Il programma di calcolo *ShakeMap* (Wald et al., 1999a) è stato sviluppato per essere uno strumento di lavoro in questo ambito. Il principale obiettivo del presente progetto è l'implementazione e la validazione di *ShakeMap* per i terremoti che si verificano sul territorio nazionale e nelle zone ad esso limitrofe. Per raggiungere questo obiettivo, verranno sviluppate e predisposte tutte le procedure per consentire uno scambio dati in tempo reale tra network operanti a livello regionale e nazionale, al fine di giungere ad una rapida determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica e per stimare, nel più breve tempo possibile, previa la disponibilità di un insieme di dati sufficienti, uno scenario realistico dello scuotimento sismico. Particolare attenzione verrà dedicata alle attività indirizzate a garantire la sicurezza e l'affidabilità del sistema di procedure che si vuole predisporre: verrà favorita la ridondanza dei risultati delle elaborazioni (sia in termini di parametri di sorgente che di mappe di scuotimento) in modo da mantenere operativo il sistema, una volta a regime, anche in caso di scuotimenti sismici tali da produrre danni severi ai sistemi di trasmissione dati..

Gli obiettivi che vengono proposti in questo progetto riguardano la sperimentazione e la validazione di tutte le procedure necessarie alla produzione delle mappe di scuotimento in tempo quasi reale, in occasione di un evento sismico. È chiara la estrema complessità delle attività necessarie alla totale automazione di tutte le procedure per l'ottenimento routinario di risultati attendibili. In questo progetto ci proponiamo di ottenere risultati preliminari circa la produzione di *ShakeMap* in tempo reale, e non necessariamente uno strumento di calcolo pronto per essere consegnato alla Protezione Civile. Per quanto riguarda la disseminazione dei risultati, modulando opportunamente il contenuto informativo delle mappe di scuotimento sismico, questi potranno essere resi disponibili per la consultazione su un portale WEB dedicato. In tale ambito verranno predisposti specifici protocolli al fine di coordinare ed armonizzare le informazioni relative allo stesso evento avvenuto sul territorio nazionale, ovvero nelle regioni limitrofe. La mappa di scuotimento, o *ShakeMap*, assumerà una doppia valenza: principalmente essa rappresenterà uno strumento di riferimento ad uso delle unità operative di protezione civile, per intervenire tempestivamente ed efficacemente sul territorio, ma potrà anche fornire un rapido ed efficace contributo alla comprensione del terremoto, ad uso dei mezzi di informazione e della comunità scientifica.

2. Stato dell'arte

2.1 Aspetti generali

Recenti esperienze (Dreger et al., 2004) hanno ampiamente dimostrato che, utilizzando moderne tecnologie di acquisizione/trasmissione dati e robuste procedure di elaborazione del dato sismico, è possibile giungere in tempo quasi reale alla caratterizzazione della sorgente sismica ed alla definizione del moto del suolo intorno alla faglia che lo ha generato. Il programma di calcolo *ShakeMap* (Wald et al., 1999a) è stato sviluppato per essere uno strumento di lavoro in questo ambito. *ShakeMap* consente di produrre scenari di scuotimento sismico in tempo quasi reale utilizzando una serie di procedure iterative multi-stadio, a partire dai dati di scuotimento del terreno registrati intorno alla faglia. Dal punto di vista concettuale, quindi, la generazione di uno scenario di scuotimento si attua attraverso due operazioni:

1. Caratterizzazione della sorgente;
2. Generazione dello scenario di scuotimento regionale.

Dal punto di vista operativo, le mappe di scuotimento del suolo vengono raffinate in momenti

successivi in funzione di disponibilità e qualità delle informazioni relative alla sorgente sismica.

In dettaglio, in ordine di importanza e di rapidità di ottenimento, le informazioni necessarie alla definizione di scenari di scuotimento attesi sono:

- Localizzazione ipocentrale;
- Magnitudo momento M_w e posizione del centroide;
- Meccanismo focale.

Per gli eventi di magnitudo più elevata:

- Dimensioni della faglia;
- Distribuzione 2-D dello slip sul piano di faglia.

È chiaro che un approccio tipo *ShakeMap* è più efficace in zone ad elevata densità di strumentazione sismica. Se la copertura è molto densa, infatti, è ovviamente il moto del suolo realmente osservato (i dati di scuotimento) a dominare i risultati ottenuti attraverso *ShakeMap*. In alcuni casi, tuttavia, si dispone di un numero esiguo di dati di scuotimento osservato, anche in presenza di una configurazione di rete ottimale. Ad esempio, situazioni meno che ottimali si verificano quando:

- i forti scuotimenti del terreno rendono impossibile la comunicazione dei dati sismologici relativi al moto del suolo. Un tale scenario è tanto più probabile quanto più ci avviciniamo alla zona epicentrale;
- non è disponibile una adeguata copertura strumentale. Ciò si verifica ancora, in alcune regioni del territorio nazionale.

In entrambi i casi appena citati, la modellazione dello scuotimento sismico, in termini di parametri *strong-motion*, può avvenire solo attraverso la modellazione numerica della sorgente sismica o attraverso l'utilizzo di opportune leggi di attenuazione regionale.

In California, la rete denominata *California Integrated Seismic Network* (www.cisn.org), che risulta dall'integrazione delle reti sismiche esistenti, produce automaticamente mappe di scuotimento *ShakeMap* entro pochi minuti dalla occorrenza di eventi sismici di moderata e di forte entità.

Negli Stati Uniti, *ShakeMap* ha già dato prova di essere uno strumento di grande efficacia ed utilità per la comunità scientifica, per i gruppi chiamati a dare una risposta rapida in caso di emergenza e per gli organi di informazione.

2.2 Caratterizzazione della sorgente sismica

Localizzazione e determinazione della magnitudo. La maggior parte dei sistemi automatici di detenzione ed analisi del segnale sismico in tempo reale impiegano alcune decine di secondi per giungere ad una prima stima della posizione ipocentrale. Per quanto riguarda la magnitudo, il discorso è assai più complesso. Una via per ottenere una stima della magnitudo momento attendibile, M_w , è quella di stimare direttamente la magnitudo locale M_L e/o di durata M_d , e poi utilizzare specifiche leggi di regressione per ottenere il valore di M_w . Al riguardo, per alcune regioni italiane, sono già disponibili regressioni M_L - M_w . Alternativamente, è possibile ottenere direttamente una stima di M_w attraverso tecniche quali quella messa a punto da Mayeda e Walter, (1996), e successivamente raffinata da Mayeda et al. (2003), ed applicata anche a dati del territorio italiano da Malagnini et al. (2004) e da Morasca et al. (2005). Una ulteriore tecnica è stata sviluppata da Malagnini et al. (2004), e consente il calcolo automatico della M_w per terremoti con $M_w < 6.0 - 6.5$. Altre stime rapide di M_w possono essere quelle che utilizzano l'ampiezza della prima onda in spostamento. In ogni caso, una rapida stima automatica di M_L sembra essenziale per garantire un alto grado di efficienza delle procedure per la generazione della *ShakeMap*.

Determinazione del meccanismo di fagliazione. La determinazione del meccanismo di fagliazione deve poter essere ottenuta a partire, in generale, da dati (forme d'onda digitali a larga banda) provenienti da una rete sismica sparsa. A tal riguardo, il codice di calcolo attivo presso la *University of California, Berkeley* (Dreger, 2003) (lo stesso codice viene anche implementato in Giappone dalla *F-net broadband network*) è stato progettato in modo da poter essere utilizzato anche avendo a disposizione un numero esiguo di registrazioni a distanza regionale, ed è quindi la scelta ottimale anche per il territorio italiano, e per il *network broadband* nazionale. Tale codice di calcolo fornisce due piani focali coniugati ed indistinguibili tra loro, uno dei quali è il piano di faglia. La soluzione del problema è ottenuta per una sorgente puntiforme nello spazio (il centroide), avente una distribuzione di slip di lunghezza temporale finita. Le onde che vengono utilizzate a questo scopo sono, tipicamente, nel range di periodo tra i 20 e i 100 secondi. Le funzioni di Green necessarie al buon funzionamento del codice di inversione devono tenere conto della struttura crostale entro cui la propagazione delle onde sismiche avviene, relativamente al range di frequenze utilizzato.

In una regione come quella italiana, che è caratterizzata da rilevanti variazioni laterali dello spessore crostale, diversi insiemi di funzioni di Green dovranno essere calcolati: uno per ogni sub-regione in cui la crosta possa essere descritta come "lateralmente omogenea". In particolari situazioni, le funzioni di Green dovranno essere calcolate tenendo in considerazione variazioni degli spessori crostali in funzione dell'azimut. È opportuno ricordare che la disponibilità di funzioni di Green accurate rende possibile l'utilizzo di dati sismometrici caratterizzati da una maggiore ampiezza di banda, e quindi da un maggiore potere risolutivo rispetto ai dettagli del processo di rottura che avviene sul piano di faglia. Dal punto di vista computazionale, in una situazione normale (a regime), la fase di determinazione del meccanismo di fagliazione può richiedere un tempo totale di circa 10 minuti. Attualmente, in California, codici di calcolo che utilizzano funzioni di Green complete a distanza regionale possono essere utilizzati, disponendo di accurati modelli di velocità, oltre la soglia di M_w 3.5, anche in maniera completamente automatica.

Faglia di dimensioni finite. In occasione di un evento sismico importante, è importante essere in grado di riconoscere l'effettivo piano di faglia, e di determinare su quest'ultimo le dimensioni laterali della rottura e le sue principali caratteristiche cinematiche. Un esempio di implementazione automatica di questo tipo di inversione è descritta da Dreger e Kaverina (2000).

In generale la fase della determinazione automatica delle caratteristiche del terremoto avviene attraverso un processo multi stadio:

- Inizialmente, a partire dalla determinazione del momento sismico ($M_0 = \mu A \langle d \rangle$), si può determinare la lunghezza di faglia, utilizzando le relazioni di Wells e Coppersmith (1994). A questo punto, dividendo l'area per la lunghezza, viene ottenuta la larghezza della faglia. Raddoppiando sia la lunghezza di faglia che la sua larghezza, si può simulare una rottura unilaterale in tutte le direzioni, a partire dalla posizione ipocentrale (vedi Dreger e Kaverina, 2000).
- Il momento scalare viene anche utilizzato per definire un rise time medio per la faglia, utilizzando le relazioni di Somerville et al. (1999). Il rise time così ottenuto può essere mantenuto costante durante tutte le inversioni.
- Per ciascuno dei due piani coniugati ottenuti dall'inversione del tensore momento, sono necessari due diversi insiemi di inversioni relative alla sorgente estesa: uno per una sorgente lineare, l'altro per una sorgente planare. Per motivi di velocità di calcolo e di non unicità di soluzione, soltanto un'unica faglia estesa planare viene considerata nella inversione automatica, caratterizzata da "rake" e "rise time" costanti. In questo modo lo spazio dei modelli viene mantenuto ridotto, tale da consentire una elevata velocità di esecuzione dei programmi. L'attenzione viene in questa fase focalizzata sull'orientazione della faglia estesa, sulle dimensioni della rottura, e sulle sue caratteristiche cinematiche più importanti.

L'insieme di procedure descritto in questo paragrafo è stato sviluppato ed utilizzato per la modellazione dei terremoti di Landers (M_w 7.2, 1992), di Northridge (M_w 6.7, 1994), e di Hector

Mine (M_w 7.1, Dreger e Kaverine, 2000). In sostanza, un approccio al problema che consideri la minimizzazione del *misfit* tra i dati osservati e le forme d'onda sintetiche (problema inverso, ovvero *grid-search* e risoluzione del problema diretto) sembra essere sufficiente per riconoscere il piano di faglia tra i due piani coniugati, risolvendo l'intero problema della distribuzione dello slip su entrambi i piani. L'utilizzo di dati *broadband* osservati a distanza regionale permette di ottenere livelli di *performance* simili tra loro in caso di buona o di cattiva copertura strumentale delle immediate vicinanze della faglia. Nel caso italiano, è chiaro che le potenzialità di applicazione dei metodi appena descritti cresceranno seguendo in modo diretto lo sviluppo tecnologico delle reti sismiche *broadband* operanti. Nelle applicazioni che correntemente vengono fatte in N. California, generalmente, i parametri relativi ad una faglia estesa possono essere disponibili dopo circa 30 minuti dall'occorrenza del terremoto.

2.3 ShakeMap

Generazione della ShakeMap. Il codice *ShakeMap* produce scenari di scuotimento sismico in termini di contour maps di parametri strong motion a partire dai dati di scuotimento del terreno registrati intorno alla faglia. Questi possono essere di vario tipo: valori di picco (accelerazione, velocità), ampiezze spettrali (accelerazione, velocità, spostamento), ma anche intensità strumentali (Wald et al., 1999b). Sulla base di un data base che raccoglie i dati di sintesi relativi alla geologia locale, i dati acquisiti vengono corretti e quindi riferiti ad un generico sito su roccia. In base alle informazioni disponibili sulle caratteristiche della sorgente sismica, ed utilizzando opportuni modelli di attenuazione regionale, i dati di scuotimento vengono successivamente propagati/interpolati/estrapolati entro la regione colpita dal terremoto, tenendo conto dell'anisotropia della radiazione sismica dovuta al meccanismo focale e di eventuali fenomeni di direttività. I dati interpolati sono quindi "riportati" di nuovo in superficie attraverso un processo inverso di correzione relativo alla geologia superficiale dei siti in cui lo scuotimento è interpolato/estrapolato. A questo punto, si possono ottenere contour maps dello scuotimento del terreno in tutta la regione colpita dal terremoto. Le mappe di scuotimento del suolo vengono aggiornate e raffinate in momenti successivi (si veda ad esempio Dreger et al., 2004), passando dall'utilizzo di una sorgente puntiforme isotropa, a quello di una sorgente puntiforme di doppia coppia, e quindi, se la magnitudo del terremoto lo richiede, ad una sorgente estesa con una distribuzione complessa di slip sulla superficie di faglia.

In particolare nel caso di eventi sismici significativi, per la determinazione dello scuotimento sismico vengono utilizzati i risultati delle inversioni 2-D sulla faglia estesa. A questo livello sono disponibili diverse opzioni. Ecco alcune delle scelte possibili:

- Orientazione e lunghezza della faglia estesa possono essere utilizzate per correggere opportunamente la *ShakeMap*, introducendo la distanza faglia-sito (invece che ipocentro-sito, ovvero epicentro-sito) per il calcolo del *ground motion*.
- Orientazione, lunghezza della faglia e direttività della sorgente sismica devono servire per adattare al caso specifico le relazioni predittive del moto del suolo (PGA, PGV, SA, etc.). Come accennato in precedenza, un approccio possibile è quello di Sommerville et al. (1997).
- Il modello cinematico ottenuto per la sorgente sismica può essere spazialmente e temporalmente integrato con funzioni di Green *near-fault*, per simulare correttamente il *ground motion* nel campo vicino. Benché sia chiaro che (a causa del comportamento caotico della radiazione di alta frequenza) modelli cinematici semplificati ed approcci puramente deterministici precludono la corretta simulazione di PGA e PGV, le mappe prodotte con i metodi descritti hanno dimostrato notevole accuratezza (Dreger e Kaverina, 2000; Kaverina et al., 2003).

Inoltre, altre informazioni utili alla determinazione di un modello di sorgente più complesso e realistico (dati geodetici GPS e dati radar telerilevati relativi allo spostamento permanente cosismico del terreno di accuratezza centimetrica, dati relativi alla fagliazione superficiale indotta

dal terremoto) possono essere introdotte nel data base utilizzato per produrre la *ShakeMap*, sia in tempo reale che in tempi successivi.

Revisione della ShakeMap. Nelle attuali applicazioni presso il *California Integrated Seismic Network* è prevista una procedura di revisione da parte di un analista sismologo. In questa fase l'operatore agisce in vari ambiti della procedura di generazione della *ShakeMap*:

- Utilizza modelli di rottura più complessi nella procedura di inversione (esempio: superfici di faglia multiple invece che singolo piano di rottura, *multiple time windows* invece che singola finestra temporale, variabilità nella direzione di *slip* invece che direzione di *slip* costante);
- Aggiunge ulteriori informazioni, mano a mano che queste si rendono disponibili (esempio: dati circa la fagliazione superficiale, dati geodetici, etc.).
- Corregge eventuali errori di localizzazione automatica, ovvero errori di altra natura.

Sempre in questo ambito, sono allo studio interfacce di tipo Web tali da permettere all'analista di apportare, velocemente e semplicemente, le opportune variazioni ai parametri di input iniziali di *ShakeMap*, e che permettano anche di variare le caratteristiche delle inversioni. In altre parole, alcuni parametri chiave devono poter essere facilmente modificati in tutti i diversi stadi previsti dalla procedura di *ShakeMap* (stazioni utilizzate per la determinazione della soluzione focale, funzioni di Green, orientazione della faglia, localizzazione ipocentrale, tempo origine, rise time, velocità di rottura, etc.). L'interfaccia Web ha la funzione di impacchettare i parametri di input secondo le necessità dell'analista, e mantenere traccia di tutti i *run* precedenti. I tempi previsti per la revisione sono quelli tipici del turnista sismologo nelle attuali procedure di localizzazione e comunicazione degli eventi sismici importanti. Nel caso di soluzioni focali più complesse (es, piani di faglia multipli) necessariamente si deve ricorrere ad analisi totalmente off-line; in alcuni casi è possibile ottenere mappe di scuotimento sismico affidabili solo dopo alcuni giorni

3. Descrizione del progetto

Lo scopo del presente progetto è l'implementazione di un insieme di procedure che consentano la rapida caratterizzazione del moto del suolo per terremoti che si verificano nel territorio nazionale. Si conta, in primo luogo, di verificare la reale applicabilità del programma di calcolo *ShakeMap* in relazione alla attuale disponibilità in tempo reale (o quasi reale) di dati Strong Motion e/o Broad-Band per il territorio nazionale. In tale ambito, questo progetto sarà certamente avvantaggiato dal poter contare sulle numerose attività già in corso, indirizzate al miglioramento del sistema di sorveglianza sismica del territorio Italiano. Sia la Rete Sismometrica Nazionale Digitale dell'INGV, sia le reti di monitoraggio regionale, si stanno rapidamente evolvendo verso sistemi di acquisizione e trasmissione in tempo reale del segnale sismico. In diretta continuità con le attività che l'INGV svolge nel settore della sorveglianza sismica, il progetto si propone di sviluppare principalmente le attività di trasmissione, elaborazione (identificazione della sorgente sismica) del dato sismologico oltre all'implementazione di *ShakeMap*.

Ricordando che si tratta di un progetto a scala nazionale di interesse precipuo della Protezione Civile, l'obiettivo è rappresentato dall'implementazione, calibrazione e validazione di un prodotto applicativo in grado di produrre in tempi rapidi uno scenario di scuotimento sismico: in tale ottica sono stati sollecitati ed accettati principalmente contributi strettamente applicativi e indispensabili a garantire l'operatività delle procedure per il calcolo delle *ShakeMaps*.

La realizzazione delle attività del progetto passerà attraverso l'istituzione di un organismo che avrà il compito di raccogliere e distribuire i dati sismologici prodotti da tutti o da alcuni dei soggetti (enti di ricerca ed università) partecipanti al progetto. Si propone pertanto la creazione dell' "Integrated

Italian Seismic Network” (portale web: <http://www.iisn.org>), nel cui ambito le *ShakeMaps* potranno essere presentate al mondo esterno. Dall’interno dell’*Integrated Italian Seismic Network* si potrà realizzare l’interfaccia tra il flusso dei dati in tempo reale ed i programmi di calcolo *ShakeMap*. Sempre attraverso IISN, si potrà anche organizzare la distribuzione dei dati sismologici raccolti per S4 verso il mondo esterno. La distribuzione dei dati avrà luogo con modalità da definirsi, ma simili a quelle che vengono utilizzate da altre analoghe istituzioni internazionali. La realizzazione dell’IISN, pur non essendo strettamente necessaria al raggiungimento del principale obiettivo del progetto, potrebbe rappresentare un efficace tentativo per lo sviluppo della ricerca sismologia italiana: in tale ottica il presente progetto potrebbe stimolare tutti gli enti e organizzazioni che svolgono attività di monitoraggio sismico alla cooperazione finalizzata ad una effettiva integrazione delle reti sismiche ovvero alla condivisione del dato sismologico.

L’intero progetto S4 si gioverà della diretta collaborazione di sismologi di chiara fama della comunità internazionale (Dreger, Mayeda, Herrmann, Walter, etc.), e avrà allocate due unità di personale ricercatore presso INGV (risorse esterne al progetto S4) che verranno reclutate con una *call for applications* internazionale. Tali ricercatori verranno impegnati nelle attività del Task 3, con particolare riferimento a quelle di modellazione di forme d’onda sismometriche.

Il progetto si articolerà nelle seguenti cinque task:

- 1) Organizzazione, integrazione e scambio dati
- 2) Definizione di modelli crostali
- 3) Stima rapida delle caratteristiche della sorgente sismica, implementazione di *ShakeMap* e verifica del suo funzionamento, apertura del portale www.iisn.org.
- 4) *Ground motion scaling* regionale
- 5) Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazione ed utilizzo di GIS esistente (classificazione del territorio nazionale tipo Eurocode)

Task 1 - Organizzazione, integrazione e scambio dati. (Responsabili: S. Mazza e F. Mele)

Scopo di questo Task è quello di formare il database sismologico/geodetico necessario per il funzionamento automatico dei programmi di calcolo: dovranno essere definite le principali caratteristiche dei dati e tutte le procedure necessarie per una loro omogeneizzazione e trasmissione presso il centro dati del Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell’INGV. La generazione di una *ShakeMap* si realizza attraverso una procedura multi-stadio che prevede, in primo luogo, la raccolta di dati di reale scuotimento e, in un momento successivo, la determinazione delle principali caratteristiche geometriche/cinematiche della sorgente sismica, ottenute utilizzando dati sismologici di tipo parametrico, inversione di forme d’onda e, nel caso di eventi particolarmente energetici, geodetici. Da quanto esposto, appare chiaro che la realizzazione di un sistema robusto per il calcolo di una *ShakeMap* su qualsiasi regione del territorio nazionale può essere ottenuta soltanto attraverso l’integrazione delle reti regionali (broadband, a corto periodo ed accelerometriche) con la rete nazionale. Le UR coinvolte nel Task, in base alle caratteristiche delle reti operanti sul territorio nazionale, provvederanno alla definizione delle procedure necessarie per il trasferimento dei dati utili alla compilazione di una *ShakeMap* presso il centro elaborazione dati dell’INGV. In particolare, si prevede il trasferimento rapido dei seguenti dati:

- Quelli di scuotimento reale registrati nell’area epicentrale (esempi possibili: PGA, PGV, $S_{aT=1}$, etc.);
- Quelli sismologici necessari alla determinazione della sorgente sismica (tempi di arrivo, forme d’onda, localizzazione dell’evento, stima della magnitudo, etc.).

Altre attività previste nel Task riguarderanno l'utilizzo dei dati provenienti dalle stazioni geodetiche al momento in funzione in Italia. In particolare, saranno interfacciati i dati geodetici e/o interferometrici con le procedure dedicate alla determinazione della sorgente sismica. Fanno capo a questo Task anche le attività indirizzate all'utilizzo ed alla interpretazione dei dati telerilevati, sia ottici che radar. I dati saranno forniti (a prescindere dai formati) corredati di tutte le informazioni necessarie alla correzione strumentale. Tutti i dati in tempo reale saranno condivisi tra tutti i partecipanti al progetto. Il data set sarà aperto anche verso il mondo esterno, con modalità e tempi di accesso simili a quelli richiesti dalle principali istituzioni internazionali che si occupano della gestione di banche dati sismologici. Le più importanti sorgenti di dati che alimenteranno in tempo reale il database delle forme d'onda digitali saranno le seguenti:

- Rete Accelerometrica Nazionale del SSN;
- Rete Sismometrica Nazionale Digitale dell'INGV;
- Rete Geodetica dell'INGV;
- Rete MedNet dell'INGV;
- Rete delle Alpi Occidentali e della Garfagnana-Lunigiana della UniGe;

Nel database verranno anche riversati i dati accelerometrici prodotti dalle stazioni a basso costo che saranno messe a punto presso il CRS-OGS.

Obiettivi

- i) Implementazione presso i centri elaborazione dati delle reti regionali di procedure per la raccolta dei valori di scuotimento reali (forme d'onda, PGA, PGV, Sa, etc.);
- ii) Implementazione di un insieme di procedure robuste per far confluire tutti i dati "sensibili" relativi alle reti regionali (forme d'onda, valori di scuotimento massimo misurati, tempi di arrivo, localizzazioni preliminari, stime di magnitudo, etc.) presso il centro elaborazione dati INGV della rete nazionale;
- iii) Valutazione delle potenzialità di utilizzo (in occasione di grandi terremoti che dovessero colpire il territorio nazionale) dei dati:
 - provenienti dalle stazioni geodetiche;
 - telerilevati per la determinazione di scenari di danno speditivi;
 - di interferometria InSAR;
- iv) Implementazione/installazione software per interfacciare i dati con i programmi di elaborazione necessari per il calcolo delle *ShakeMap*.

Task 2 - Definizione di modelli crostali (Responsabile: C. Chiarabba).

Il principale obiettivo di questo Task consiste nella definizione di modelli di velocità del territorio italiano, da utilizzare nella procedura di determinazione delle caratteristiche della sorgente sismica. Le attività previste per questo Task dovranno portare alla stima degli insiemi di funzioni di Green necessari per il funzionamento dei programmi di calcolo del tensore momento: le variazioni dei modelli crostali entro l'area italiana dovranno essere tenute in considerazione attraverso studi mirati alla definizione della topografia della Moho, ed alla stima di modelli 1-D regionali, validi in opportuni intervalli di frequenza.

Limitatamente ad alcune aree, verranno condotti studi specifici indirizzati alla stima di modelli di

propagazione 3D derivati da inversioni tomografiche. Faranno capo a questo Task anche le attività indirizzate alla valutazione della qualità e dell'attendibilità delle localizzazioni degli eventi sismici in tempo reale, in relazione ai modelli di velocità utilizzati ed alla tipologia di dati disponibili (qualità dell'informazione, geometria di rete disponibile, etc etc).

Obiettivi

- i) Suddivisione del territorio nazionale in un set di regioni "omogenee". La suddivisione potrà essere fatta, ad esempio, sulla base di un modello della topografia della Moho. Per ogni regione:
 - determinazione di un modello di velocità 1-D;
 - calcolo delle funzioni di Green per i vari meccanismi di dislocazione fondamentali.
- ii) Per alcune aree: generazione di modelli di velocità 3-D attraverso l'applicazione di procedure tomografiche.

Task 3 - Stima rapida delle caratteristiche della sorgente sismica, implementazione di ShakeMap e verifica del suo funzionamento, apertura del portale www.iisn.org (Responsabile: A. Michelini)

Le reti regionali broadband accelerometriche e velocimetriche sono generalmente sparse (stazioni di monitoraggio costose ed installazioni complesse). È chiaro che la progettazione di nuovo software, ovvero la scelta di software esistente per la determinazione delle caratteristiche di sorgente, deve partire dal presupposto che, nei casi reali, la distribuzione dei dati è meno che ottimale. In occasione di forti scuotimenti del terreno, è possibile che alcune delle stazioni della zona epicentrale rimangano isolate (caduta delle linee di trasmissione dati, interruzioni dell'energia elettrica, danneggiamento dei siti di osservazione, etc.), per cui la distribuzione delle stazioni attive potrebbe (ulteriormente) deteriorarsi.

Nelle attività in cui si articola questo Task si prevede di utilizzare/sviluppare un insieme di procedure multi-stadio che, in funzione delle caratteristiche dell'evento sismico e della tipologia dei dati sismologici disponibili, consentano differenti determinazioni delle caratteristiche della sorgente sismica: in una prima fase si provvederà a calcolare la magnitudo ed il tensore momento sismico. Nel caso di eventi di particolare rilevanza, verrà calcolata anche la distribuzione dello slip sulla superficie di faglia allo scopo di quantificare eventuali fenomeni di direttività.

Saranno implementate procedure per l'analisi delle sequenze di aftershocks in tempo reale.

Faranno capo a questo Task anche le attività per l'implementazione e la verifica del programma di calcolo *ShakeMap*, e per predisporre il sito *web* denominato "*Integrated Italian Seismic Network*".

Obiettivi

- i) Implementazione/installazione *software* per la determinazione delle localizzazioni mediante approcci di ricerca globale della soluzione;
- ii) Implementazione/installazione *software* per la localizzazione relativa ad alta risoluzione degli eventi di una sequenza sismica;
- iii) Implementazione/installazione *software* per il calcolo automatico rapido della magnitudo momento, per applicazioni tipo *early warning*;
- iv) Implementazione/installazione *software* per il calcolo accurato della magnitudo momento per terremoti, possibilmente anche al di sotto della soglia minima utile per la modellazione del meccanismo focale;
- v) Implementazione/installazione *software* per l'inversione rapida del tensore momento;
- vi) Implementazione/installazione *software* per il riconoscimento rapido del piano di faglia e la modellazione del campo di *slip*;
- vii) Implementazione *software* per lo studio statistico delle variazioni spazio-temporali

- dell'attività sismica (sequenze di aftershocks);
- viii) Implementazione e verifica del funzionamento del programma *ShakeMap*;
- ix) Sviluppo ed apertura di un sito web denominato: "Integrated Italian Seismic Network" (www.iisn.org), in collaborazione con il Task 1.

Task 4 - Ground motion scaling regionale (Responsabile: A. Akinci).

Il contributo delle leggi di attenuazione regionale a *ShakeMap* è molto importante in quanto sia i dati osservati, che quelli prodotti sinteticamente vengono attenuati alle varie distanze ipocentrali attraverso leggi di attenuazione date. È chiaro anche che, per applicazioni in tempo quasi reale, l'unica distanza che ha senso utilizzare è la distanza ipocentrale (per misure di altro tipo della distanza dall'evento, infatti, occorrono informazioni che possono essere ottenute soltanto in tempi successivi alla determinazione della posizione del piano di faglia, appunto, e della distribuzione di slip su di esso).

Compatibilmente con l'esistenza di data set digitali di qualità sufficiente, in questo Task si provvederà alla quantificazione del *ground motion scaling* a scala regionale, con particolare riferimento all'Appennino Centrale e Meridionale, all'Arco Calabro, ed alla Sicilia Settentrionale. Verranno ottenuti gli andamenti con la distanza ipocentrale, ed eventualmente con la frequenza, dei valori di picco del moto del suolo (PGA, PGV), delle ampiezze di Fourier, delle accelerazioni e delle velocità spettrali.

Dovranno essere prodotte stime della durata dello scuotimento del terreno in funzione della distanza dall'evento (ipocentro) e della frequenza. Saranno coordinate specifiche attività di ricerca dedicate alla determinazione della magnitudo momento per terremoti di magnitudo medio-bassa (Mw 3.0 e inferiore), e studi specifici volti alla quantificazione dell'energia radiata in funzione della magnitudo dell'evento sismico.

Obiettivi

- i) Dopo opportuni studi di fattibilità: caratterizzazione di eccitazione ed attenuazione del *ground motion* nelle seguenti regioni: Arco Calabro, Sicilia Settentrionale, Appennino Centrale e Meridionale;
- ii) Calibrazione tecnica di Mayeda et al. (2003) su siti selezionati della rete nazionale *broadband* in varie regioni d'Italia;
- iii) Sviluppo/implementazione di procedure per la stima della magnitudo momento per terremoti di magnitudo medio-bassa;
- iv) Definizione dello *scaling* dell'energia sismica.

Task 5 - Stima degli effetti di sito alle stazioni di registrazioni ed utilizzo di GIS esistente (classificazione del territorio nazionale tipo Eurocode) (Responsabile: G. Milana)

I dati di scuotimento osservato, per essere effettivamente utilizzabili per la realizzazione di una *ShakeMap*, devono essere opportunamente corretti per tenere conto delle caratteristiche geologiche dei siti di registrazione, e riportati al livello atteso al bedrock. Una volta che i valori di scuotimento del terreno vengono riferiti al substrato roccioso, questi vanno "propagati" nella regione, ed interpolati ai vertici di una griglia che ne ricopre il territorio, e quindi "riportati" in superficie, tenendo conto delle caratteristiche locali della geologia. Appare dunque chiaro come l'attendibilità di una *ShakeMap* sia fortemente determinata dalla possibilità di produrre stime di scuotimento sismico comprensive di effetti di amplificazione locale. Per i motivi ora enunciati, è necessario disporre di una stima accurata della risposta sismica locale di tutti i siti accelerometrici/velocimetrici utilizzati e di un database di informazioni a scala nazionale sulla geologia di superficie.

In primo luogo, si provvederà alla caratterizzazione geologica delle stazioni disponibili, utilizzando

sia le informazioni disponibili (cartografia, etc.), sia attraverso specifiche campagne di rilevamento. Si prevede anche la caratterizzazione di alcuni siti attraverso la determinazione dei profili di velocità delle onde di taglio utilizzando tecniche geofisiche di superficie (NASW, profili a rifrazione SH, SASW, etc.). Sulla base delle informazioni disponibili si provvederà alla classificazione dei siti (EUROCODE) ed alla redazione di una scheda informativa per stazione.

Per quanto riguarda la valutazione della risposta sismica locale ai siti di registrazione, potranno essere utilizzate sia modellazioni numeriche 1D, sia tecniche sismologiche passive. Utilizzando il data base delle registrazioni relative alle stazioni sismiche, verranno condotte analisi standard (metodo "Nakamura", calcolo ed interpretazione dei rapporti H/V, etc.) ma anche studi specifici per lo sviluppo e la implementazione di tecniche innovative per la determinazione della risposta sismica locale in termini assoluti (vedi, ad esempio, la tecnica descritta da Malagnini et al., 2004a).

Per quanto riguarda la generazione di mappe di scuotimento comprensive di effetti di amplificazione locale, si prevede di utilizzare inizialmente la classificazione georeferenziata tipo Eurocode del territorio nazionale prodotta nell'ambito del progetto GNDT 2001-2004 coordinato dal Dr. Amato.

Obiettivi

- i) Raccolta informazioni disponibili ai siti e caratterizzazione geologica (litotecnica);
- ii) Caratterizzazione geofisica dei siti di registrazione;
- iii) Realizzazione di tabelle e classificazione dei siti di registrazione (*NEHRP*);
- iv) Analisi rapporti H/V e Nakamura ai siti di registrazione;
- v) Modellazione numerica della risposta di sito ai siti di registrazione;
- vi) Valutazione della risposta sismica assoluta dei siti di registrazione;
- vii) Verifica e raffinamento della classificazione tipo Eurocode a scala nazionale e sua integrazione in *ShakeMap*.

Le attività descritte ai punti ii), iv), v), e vi) saranno realizzate solo per un sottoinsieme di siti di registrazione, individuato sulla base delle informazioni attualmente disponibili. L'attività vii) sarà svolta soltanto in alcune regioni campione.

4. Deliverable attesi

I prodotti finali possono essere suddivisi in due gruppi: prodotti applicativi e prodotti di ricerca. Viene qui fornito un elenco dei prodotti applicativi fondamentali e dei principali tra i prodotti di ricerca.

Prodotti applicativi

- Prototipo di sistema integrato per la generazione di mappe di scuotimento sismico basato sul software *ShakeMap* (identificazione della sorgente sismica e generazione delle mappe di scuotimento).
- Prototipo del sito web denominato "Integrated Italian Seismic Network"
- Monografie relativi ai siti di installazione delle stazioni accelerometriche/velocimetriche comprensive di caratterizzazione geologico tecnica e/o geofisica e classificazione EUROCODE.

Principali prodotti di ricerca

- Previa raccolta adeguati databases: leggi di attenuazione del *ground motion* nelle seguenti regioni: Arco Calabro, Sicilia Orientale, Appennino Centrale e Meridionale.

- Data Set “regionalizzato” delle funzioni di Green per vari meccanismi di dislocazione fondamentali.
- *Scaling* dell’energia sismica.

5. Validazione dei risultati

Il presente progetto ha una durata troppo breve per garantire il funzionamento a regime di procedure di *ShakeMap* automatiche e affidabili. Una effettiva validazione delle mappe di scuotimento sismico prodotte da *ShakeMap* sarà evidentemente possibile solo quando si renderanno disponibili dati Broad-Band e Strong Motion relativi ad eventi di medie e grandi dimensioni. Nel presente progetto le attività di validazione avranno lo scopo di testare i programmi di calcolo automatico e le varie fasi relative al flusso dei dati nel database di IISN: si propone di produrre una *ShakeMap* con dati sintetici e di valutare in questo modo il livello di performance degli algoritmi utilizzati. Un altro test di validazione verrà condotto utilizzando i dati relativi a terremoti importanti avvenuti negli anni passati, per confrontare le *ShakeMap* calcolate con gli effettivi livelli di scuotimento osservato. I due metodi appena descritti, per il test e la validazione delle procedure automatiche di raccolta dati e di calcolo e modellazione numerica, sono tra loro totalmente complementari.

6. Fattori di rischio di mancato completamento attività

La principale fonte di rischio per il conseguimento dei principali obiettivi del progetto, cioè la implementazione e la validazione di *ShakeMap*, risiede nella effettiva disponibilità, qualità e quantità dei dati sismologici, con particolare riferimento alle forme d’onda ed ai parametri di scuotimento strong-motion. Tuttavia, il raggiungimento di un risultato minimo in termini di produzione di mappe di scuotimento in tempo quasi reale non è in discussione, il progetto essendo fortemente basato su attività già in atto e su procedure già parzialmente implementate e validate.

Le applicazioni tipo *ShakeMap* non sono altro che mappe di scuotimento frutto della interpolazione dei dati strong-motion registrati: è chiaro che un flusso insufficiente di dati accelerometrici in tempo reale o quasi-reale entro il database cui attingeranno i programmi di calcolo rappresenta la principale sorgente di rischio per la buona riuscita del progetto stesso.

Gli strumenti utilizzati per l’interpolazione dei dati relativi al moto del suolo devono tenere conto delle anisotropie della radiazione sismica dovute alla geometria ed alla orientazione del piano di faglia, delle corrette distanze dal luogo in cui l’energia sismica viene radiata, dei fenomeni di direttività connessi con l’attività di sorgenti estese, e delle modalità di attenuazione che le onde sismiche subiscono durante il loro percorso crostale.

Circa la corretta implementazione ed il corretto uso di programmi di calcolo complessi per il calcolo del tensore momento e della distribuzione dello slip su una eventuale faglia estesa, i rischi connessi con questo genere di attività appaiono molto scarsi. Infatti: a) il codice scelto per il calcolo automatico del tensore momento è già operativo da tempo, in modalità completamente automatica, presso CNT di INGV; b) l’estensione al caso in cui si voglia modellare una faglia di dimensioni finite verrà eseguita utilizzando il codice che, presso UC Berkeley, è abbinato allo stesso programma di calcolo scelto per la soluzione focale. La difficoltà consisterà nell’ottenere funzioni di Green affidabili a frequenze relativamente alte, per ottenere soluzioni focali corrette per i piccoli terremoti. Per i forti terremoti (per segnali di bassa frequenza, quindi) funzioni di Green meno raffinate, già disponibili al momento, potranno comunque dare risultati soddisfacenti. Altri metodi di inversione del tensore momento (Regional CMT solution, ad esempio), potranno anche essere utilizzati in modalità automatica, garantendo la ridondanza dei sistemi di calcolo e fornendo più soluzioni che potranno essere comparate tra loro.

Ciò premesso, osserviamo quanto segue:

Task 1. Le attività proposte nell’ambito dell’ acquisizione e trasmissione in tempo reale dei dati

sismologici parametrici (Localizzazione, Magnitudo, etc.) e di informazioni aggiuntive (scuotimento osservato, forme d'onda) sono già avviate da tempo e parzialmente sperimentate. Il team di UR che opererà nel Task 1 è competente e in possesso dei requisiti necessari. Ad oggi sono disponibili in tempo reale le informazioni "minime" necessarie per la generazione di una ShakeMap. Tuttavia, in base alle attività già in atto nell'ambito dello sviluppo del sistema di monitoraggio sismico del territorio nazionale, questa è la situazione attuale per quanto concerne la rete BB italiana: oltre alle 15+ stazioni della rete MedNet, negli ultimi 3-4 anni, soltanto INGV ha installato 30+ stazioni Nanometrics con sensori Trillium a 40 s ed a 120 s. La sola rete INGV a corto periodo consta di oltre 120 stazioni, mentre la rete BB Nanometrics di INGV a trasmissione satellitare consisterà, una volta completata la sua installazione, di altre 80 stazioni BB, in Italia e nei paesi a noi adiacenti (ad esempio, Croazia). A questo imponente network si devono aggiungere le stazioni delle reti regionali delle Alpi Occidentali e della Lunigiana –Garfagnana, gestita dall'Università di Genova, e la Rete Accelerometrica Nazionale di SSN.

Una validazione dei risultati in termini di mappe di scuotimento è certamente difficoltosa: i dati necessari per effettiva validazione delle ShakeMaps, si renderanno evidentemente disponibili al completamento delle reti BB e strong-motion (SM) italiana e con l'accadere di eventi di medie e grandi dimensioni. Rispetto al Task 1, la partecipazione di SSN al progetto potrebbe essere determinante per quanto riguarda il flusso di dati accelerometrici verso il database comune.

Alcune parti del territorio nazionale non saranno sufficientemente "coperte" dai dati SM e BB che confluiranno nel database di S4. Nelle regioni del Nord-Est, ad esempio, (Friuli-Venezia Giulia e Veneto, sostanzialmente), pur esistendo reti di monitoraggio weak-motion e strong-motion di buona qualità finanziate dalla Protezione Civile regionale del Friuli-Venezia Giulia, non sembra sussistere la possibilità di un flusso di dati in tempo reale verso il futuro database di S4. Affinchè la copertura strumentale del territorio nazionale diventi omogenea, INGV dovrà necessariamente espandere le sue reti di monitoraggio nel Nord-Est del Paese. È chiaro che, fino a quando la copertura di dati utili alla determinazione di ShakeMap in tempo reale non sarà sufficiente su tutto il territorio nazionale (dati direttamente disponibili in tempo reale nel database condiviso), non sarà possibile ottenere mappe di scuotimento in tempo reale sulle regioni con la strumentazione più carente. Si ribadisce che la partecipazione di SSN alla creazione del database condiviso dei dati accelerometrici in tempo reale è di importanza sostanziale.

Task 2. Anche se le attività proposte sono già avviate, alcuni degli obiettivi sono decisamente ambiziosi. In particolare se si vuole effettivamente portare la soglia minima di magnitudo per la determinazione del tensore momento ad un valore di M_w 3.5-4.0 è necessario disporre di modelli di velocità particolarmente dettagliati. Tuttavia, risultati inferiori alle aspettative non andranno ad alterare in maniera determinante la possibilità di conseguimento degli obiettivi principali del progetto. È chiaro inoltre che le performances dei codici di calcolo automatici saranno senza dubbio all'altezza delle più ambiziose aspettative in alcune regioni d'Italia, mentre per altre regioni le soglie minime di magnitudo per cui le valutazioni automatiche saranno affidabili dovranno essere più elevate.

Task 3. Questo task ha obiettivi particolarmente importanti in relazione agli obiettivi generali del progetto, in quanto punta ad integrare tutte le procedure (caratterizzazione della sorgente sismica, implementazione e validazione di ShakeMap) necessarie alla produzione delle mappe di scuotimento sismico. In particolare, risultati inferiori alle aspettative nell'ambito delle attività di implementazione e validazione di ShakeMap, rappresentano la principale fonte di rischio per il conseguimento degli obiettivi del progetto. La creazione dell'interfaccia con il mondo esterno dell'Integrated Italian Seismic Network, pur rappresentando un aspetto particolarmente innovativo del progetto e un obiettivo particolarmente importante per tutte le attività sismologiche di ricerca in Italia, non è essenziale ai fini dell'implementazione di ShakeMap.

Task 4. L'obiettivo ultimo del task è la quantificazione del ground motion scaling a scala regionale. Il livello di rischio delle analisi proposte dipende essenzialmente dall'esistenza e dalla disponibilità di dati digitali di qualità adeguata. Vengono inoltre proposti approcci innovativi per lo studio dello scaling dell'energia e del momento sismico che potrebbero dar luogo a risultati inferiori alle aspettative. Anche ipotizzando lo scenario minimo di raggiungimento dei risultati proposti, il rischio per gli obiettivi generali del progetto derivante da questo Task è minimo.

Task 5. Le attività proposte nell'ambito della valutazione della risposta sismica locale ai siti di registrazione sono già avviate da tempo e sperimentate. Il team di UR che opererà nel Task 1 è competente e in possesso dei requisiti necessari. Per quanto riguarda l'obiettivo relativo alla produzione di una nuova classificazione a scala nazionale tipo Eurocode, il livello di rischio dipende essenzialmente dalla disponibilità di informazioni geologiche (Cartografia Tematica Informatizzata) adeguate. Tuttavia il raggiungimento di un risultato minimo è garantito dall'esistenza di classificazioni tipo Eurocode prodotte nell'ambito dei precedenti progetti GNDT.

7. Riferimenti bibliografici

- Dreger, D.R., and A. Kraverina (2000). Seismic remote sensing for the earthquake source process and near-source strong shaking: a case study of the October, 16, 1999 Hector Mine earthquake, *Geophys. Res. Lett.*
- Dreger, D.R. (2003). TDMT_INV: Time Domain Seismic Moment Tensor INVersion, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Volume 81B, p. 1627.
- Dreger, D.R., L. Gee, P. Lombard, M.H. Murray, and B. Romanowicz (2004). Rapid Finite-Source Analysis and Near-Fault Strong Ground Motions – Application to the 2003 Mw6.5 San Simeon and 2004 Mw6.0 Parkfield Earthquakes, *Geophys. Res. Lett.* (submitted).
- Kraverina, A., D.R. Dreger, and E. Price (2003). The combined inversion of seismic and geodetic data for the source process of the October 16 1999 M_w 7.1 Hector Mine, California earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 1266-1280.
- Malagnini, L., K. Mayeda and A. Akinci (2004). Estimate absolute site effects, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1343-1352.
- Mayeda, K., A. Hofstetter, J.L., O'Boyle, W.R. Walter (2003), Stable and transportable regional magnitudes based on coda-derived moment-rate spectra. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93, 224-239.
- Mayeda, K. and W.R. Walter (1996), Moment, energy, stress drop, and source spectra of western United States earthquakes from regional coda envelopes. *J. Geophys. Res.* 101, 11, 195-11,208.
- Morasca, P., K. Mayeda, L. Malagnini, and W.R. Walter (2005), Coda-derived source spectra, moment magnitudes, and energy-moment scaling in the western Alps, *Geophys. J. Int.* 160, 263-275.
- Sommerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N.A. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada (1999). Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, 70, 59-80.
- Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, C.W. Scrivner, and C.B. Worden (1999a). TriNet Shakemaps: rapid generation of instrumental ground motion and intensity maps for earthquake in Southern California, *Earthquake Spectra*, 15, 537-555.
- Wald, D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori (1999b). Relationships between peak ground acceleration, peak ground velocity and modified Mercalli intensity in California, *Earthquake Spectra*, 15, 557-564.
- Wells, D.L. and K.J. Coppersmith (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.

8. Tabella mesi/persona, suddivisi per task e UR

UR	Enti	Resp.	Task1 Database	Task2Mod. velocità	Task3 Impl. software	Task4 Leggi attenuaz	Task5 Effetti di sito	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	INGV -CNT	Michelini,	@	@	@		@	316	0
UR-2	INGV-RM1	Akinci		@		@	@	96	0
UR-3	OGS	Priolo	@	@	@		@	54	0
UR-4	UniGE	Spallarossa	@	@	@		@	42	60
UR-5	UniTs	Costa		@	@		@	28	6
UR-6	UniRM2	Pierdicca			@			26	24
UR-7	Uni-RM1	Cardarelli					@	20	60
	Totale							582	252

9. Tabella complessiva finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-CNT	---	---	20,80	18,25	58,50	63,00	95,50	46,60	5,00	---	179,80	127,85	307,65
2	INGV-RM1	---	---	7,65	6,60	18,10	16,20	24,70	35,50	10,00	5,00	60,45	63,30	123,75
3	OGS-CRS	49,70	49,70	13,00	13,00	---	---	---	---	22,30	22,30	85,00	85,00	170,00
4	UniGe	38,00	38,00	20,00	16,00	3,40	3,80	6,30	18,00	27,00	27,00	94,70	102,8	197,50
5	UniTs	27,50	27,30	2,50	1,90	5,50	2,50	6,28	7,20	8,00	6,00	49,78	44,90	94,68
6	UniRm2	19,00	19,00	0,50	0,45	---	---	---	1,80	---	---	19,50	21,25	40,75
7	UniRm1	4,75	4,75	9,00	---	---	3,60	---	2,70	27,00	---	40,75	11,05	51,80
	Tot	138,95	138,75	73,45	56,20	85,50	89,10	132,78	111,80	99,30	60,30	529,98	456,15	986,13

Totale (Euro): 986.130

INGV: 431.400 (44 %)

Altri enti: 554.730 (56 %)

Progetto S5

Definizione dell'input sismico sulla base degli spostamenti attesi

Coordinatori: Ezio Faccioli (Politecnico di Milano) e Antonio Rovelli (INGV-RM1)

1. Obiettivo

1. Definizione di un modello dell'azione sismica come spettro di risposta elastico di spostamento (SRS), adatto per normativa sismica, con valore arbitrario del fattore di smorzamento, includendo l'influenza delle caratteristiche locali del suolo e – laddove necessario - gli effetti di campo vicino.
2. Creazione di mappe di pericolosità del territorio nazionale che rappresentino l'azione sismica (corrispondente a periodi di ritorno prefissati) mediante ordinate dello SRS o, in forma equivalente, mediante parametri di moto del suolo atti a determinare univocamente lo spettro stesso secondo il modello del punto 1.

2. Basi e quadro di riferimento

2.1 Cenni sul metodo di progettazione agli spostamenti, e requisiti conseguenti sullo spettro di risposta. Nell'approccio tradizionale alla progettazione antisismica delle strutture, basato sulle forze, si assume che uno spettro di risposta di accelerazione fornisca (per uno smorzamento assegnato) una misura affidabile delle forze elastiche di progetto agenti sulla struttura, e che pertanto esso rappresenti un indicatore adeguato della "domanda" sismica. Pur essendo note le limitazioni della progettazione basata sulle forze, essa rappresenta ancora l'approccio di gran lunga più diffuso, a causa della sua convenienza pratica.

Tuttavia, in anni recenti, la progettazione agli spostamenti ha suscitato interesse crescente tra gli ingegneri perché, in presenza di azioni sismiche, gli spostamenti descrivono in maniera più esplicita delle forze la risposta strutturale, e quindi il danno. La filosofia della progettazione agli spostamenti è coerente con l'impostazione delle normative sismiche più recenti: le strutture vanno progettate per subire deformazioni in campo plastico durante terremoti violenti e per soddisfare criteri di stato limite di servizio in terremoti moderati. Nella progettazione agli spostamenti, si prefissa uno spostamento-obiettivo piuttosto che uno spostamento limite; ciò consente di affrontare tanto stati limite di servizio che ultimi usando lo stesso procedimento.

Approcci alla progettazione agli spostamenti sono stati sviluppati per strutture in calcestruzzo armato (CA), basati sul concetto di struttura equivalente che modella un sistema inelastico come sistema elastico equivalente. Grazie all'introduzione di quest'ultima, diviene possibile progettare e analizzare un sistema strutturale non lineare usando spettri di risposta elastici. La Fig. 1 rappresenta un'approssimazione alla risposta forza-spostamento di una struttura; la rigidezza efficace, K_{eff} , è la rigidezza secante rispetto allo spostamento limite di progetto, D_u , lo smorzamento efficace è collegato all'energia (di tipo isteretico) dissipata, ciò che conduce a livelli di smorzamento elevati. Dato lo spostamento-obiettivo e lo smorzamento efficace, si determina il periodo proprio di vibrazione della struttura equivalente usando lo spettro di spostamento elastico. Si può dunque calcolare la rigidezza efficace e progettare la struttura.

A livello di normativa, solamente l'Eurocodice 8 [CEN (2004), Part 1, Annex A] fornisce uno SRS di progetto definito analiticamente sino a periodi di vibrazione $T > 6$ s, che risente però di limitazioni derivanti dai dati disponibili al momento dell'elaborazione (1998-99). A parte tale ragguardevole eccezione, non sono ancora disponibili né SRS adatti al metodo di progettazione agli spostamenti (estesi cioè fino a valori sufficientemente elevati del periodo di vibrazione e per differenti valori – anche elevati - di smorzamento), né tanto meno mappe di pericolosità che rappresentino l'azione sismica tramite SRS.

Quantunque esistano diversi approcci di dettaglio nel metodo di progettazione agli spostamenti, la loro applicazione richiede che l'azione (o *domanda*) sismica di progetto, anziché da uno spettro di risposta elastico di accelerazione, sia descritta da uno SRS. Una struttura relativamente comune come un edificio di 10-15 piani, sollecitata per effetto del terremoto in campo di comportamento plastico, può subire un aumento molto rilevante del proprio periodo dominante di risposta rispetto

al periodo proprio di vibrazione elastico iniziale (in assenza di danni, compreso indicativamente tra 1.0 e 1.5 s); ne discende l'esigenza di definire lo SRS su un intervallo sufficientemente ampio di valori del periodo proprio di vibrazione (3-4 s); se si considerano, come è d'obbligo, anche strutture lunghe e flessibili come i ponti, tale limite deve essere ulteriormente esteso.

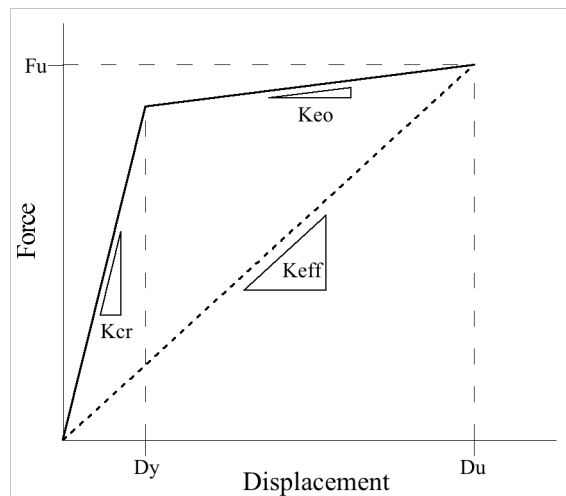


Fig. 1. Struttura elastica equivalente (rigidezza K_{eff}) nel metodo di progettazione agli spostamenti.

Ad esempio, il citato Eurocodice 8 descrive lo spettro di spostamento nell'intervallo di periodi di vibrazione compreso tra 4 e 10s, separatamente da quello di accelerazione che è definito nell'intervallo di periodi di vibrazione $0 \leq T \leq 4s$; entro quest'ultimo si può ricavare lo SRS moltiplicando lo spettro di accelerazione per il fattore $(T/2\pi)^2$. Lo stesso Eurocodice 8, peraltro, non include esplicitamente il metodo agli spostamenti come strumento di progettazione e verifica, pur fornendo la descrizione compatibile dell'azione sismica richiesta.

Rappresentare l'azione sismica con uno spettro di risposta elastico presuppone che la risposta della struttura, assimilata ad un oscillatore dinamico smorzato ad 1 GdL, sia di tipo viscoelastico lineare. Tuttavia la verifica progettuale di una struttura reale viene condotta avendo come obiettivo la sicurezza riguardo a determinati stati limiti di danno, ovvero in campo di comportamento plastico (giacché danno strutturale è sinonimo di deformazioni permanenti). Per rendere la risposta dell'oscillatore non lineare, ad esempio elasto-perfettamente plastico, assimilabile a quella di un sistema linearizzato, lo si sostituisce con un oscillatore viscoelastico equivalente con rigidezza K_{eff} [ovvero periodo proprio: $T_0 = 2\pi(K_{eff}/m)^{-1/2}$] e smorzamento ζ_{eff} tali da dar luogo allo stesso spostamento di progetto e alla stessa energia dissipata per ciclo isteretico dell'oscillatore non lineare. Ciò conduce alla necessità di calcolare SRS *sovrasmorzati*, ovvero corrispondenti a valori del fattore di smorzamento anche molto superiori agli ordinari valori di riferimento (tipicamente 0.02 – 0.05) per gli spettri di progetto elastici.

Infine, nell'approccio (oggi dominante) alla progettazione antisismica basato sulle forze si quantifica l'azione sismica mediante uno spettro di risposta di accelerazione la cui forma dipende dalle condizioni locali del suolo e avente come fattore di scala un unico parametro di pericolosità (a_g = accelerazione orizzontale di picco su suolo rigido per una probabilità prefissata di eccedenza). Nell'ottica di una introduzione a breve-medio termine della progettazione basata sugli spostamenti nelle norme sismiche, un'impostazione analoga appare auspicabile, ovvero uno SRS normalizzato (dipendente dalla magnitudo) su suolo rigido, che usi per la normalizzazione un numero molto ristretto di parametri di scala (al limite, uno solo), da rappresentare in una o più mappe di zonazione sismica del territorio.

2.2 *Aspetti relativi alle strutture monumentali.* La definizione dell'azione sismica in termini di SRS

appare di notevole importanza per una corretta valutazione, anche a livello normativo, della risposta sismica di strutture storiche e monumentali. Queste infatti sono spesso caratterizzate da grandi aule senza pareti o solai di irrigidimento intermedi, volte sottili di notevole luce, elementi verticali molto snelli. I periodi propri di vibrazione di tali strutture sono quindi, già nella fase elastica iniziale, piuttosto elevati (specie per torri campanarie, alcuni tipi di chiese, obelischi) e tendono ad aumentare notevolmente a seguito della fessurazione delle strutture murarie, pressoché non resistenti a trazione.

Inoltre, le costruzioni storiche in muratura sono spesso affette da meccanismi di collasso locale, che interessano singole porzioni (macroelementi), in genere costituite da parti riconoscibili architettonicamente nella costruzione, ad es. una facciata, un arco trionfale, una loggia. Dal punto di vista meccanico, ciò dà luogo a comportamenti di tipo elastico non lineare, ovvero con una limitatissima dissipazione isteretica. Ne consegue che il problema di definire il sistema elastico equivalente difficilmente può essere risolto assumendo una rigidità secante rispetto allo spostamento limite di progetto, in quanto appare arbitrario agire sullo smorzamento efficace.

La definizione di una rigidità secante intermedia tra la rigidità elastica e quella allo spostamento limite, associata ad uno smorzamento mantenuto al 5%, proposta in precedenti lavori, merita una validazione più ampia, attraverso il confronto con analisi dinamiche non-lineari.

Per le strutture storiche in muratura, in molti casi non è banale definire un sistema non lineare equivalente a 1 gdl (curva di capacità). Recenti approcci basati sul teorema cinematico dell'analisi limite dell'equilibrio, richiede sistematiche verifiche numeriche.

2.3 Modello iniziale di riferimento. Le menzionate applicazioni alle norme sismiche rendono fortemente desiderabile assumere un modello di riferimento per la rappresentazione dello SRS, *per moto sismico sia orizzontale che verticale*, che ne descriva la sua dipendenza da (o relazione con):

- l'energia della sorgente sismica (magnitudo, ovvero momento sismico)
- i parametri di scuotimento di picco del suolo, in particolare lo spostamento massimo,
- le condizioni di suolo locale (secondo lo EC8, e quindi l'ordinanza PCM 3274)
- il valore del fattore di smorzamento.

Per garantire che il progetto raggiunga, entro i limitati tempi previsti, gli obiettivi enunciati in 2. e fornisca i prodotti scientifici conseguenti, in particolare la rappresentazione in termini di SRS della pericolosità sismica del territorio italiano, verrà assunto come modello *iniziale* di riferimento per lo SRS quello formulato da Faccioli et al. (2004), d'ora innanzi indicato come FPR04, per lo spettro a smorzamento standard (0.05 e anche 0.0). Infatti, tale modello:

- discende dallo studio probabilmente più aggiornato e completo di cui si dispone ad oggi (usando in particolare soltanto registrazioni accelerometriche digitali rigorosamente selezionate) sullo SRS per un intervallo di periodi di vibrazione molto esteso ($T \leq 10$ s), che copre praticamente tutte le esigenze dell'ingegneria strutturale;
- traccia un quadro sufficientemente chiaro sulle relazioni intercorrenti tra la forma e l'ampiezza dello SRS, un parametro chiave del moto rappresentato dallo spostamento massimo del suolo, la magnitudo momento, la distanza sorgente-sito, e le condizioni di suolo locali;
- propone un formato analitico della domanda sismica in termini di SRS ragionevolmente adattabile a esigenze di carattere normativo.

Essenziale nel modello di riferimento è il fatto che, con il conforto di una robusta base di osservazioni strumentali, l'ordinata dello SRS a periodo $T = 10$ s, con smorzamento 0.00 – 0.05, viene assunta uguale allo spostamento di picco del suolo (d_{max}) almeno sino a M_w pari a circa 7.5. Questa circostanza rende naturale la scelta di d_{max} come parametro di ancoraggio dello spettro ai lunghi periodi di vibrazione, e quindi anche come parametro di riferimento per la mappatura della

pericolosità in termini di SRS, analogamente a come l'accelerazione orizzontale di picco (a_{max}) è il naturale parametro di normalizzazione e di riferimento quando l'azione sismica è descritta in termini di spettro di risposta di accelerazione

Non rientra nel modello sviluppato in FPR04 la descrizione dello SRS per la componente verticale del moto, mentre vi rientrano in modo solo preliminare le modifiche da introdurre per tener conto di alcuni effetti di campo vicino (andamento a rampa della funzione temporale di spostamento causa dislocazione su faglia, ma non direttività della frattura sismica).

Ci si attende naturalmente che, con l'evolversi delle attività di ricerca del progetto, il modello proposto di riferimento iniziale venga integrato e perfezionato, così da arrivare a soddisfare tutti i requisiti sopra discussi.

3. Descrizione del progetto

In base alle premesse ed al quadro di riferimento testé tracciato, il progetto si articolerà nelle attività di ricerca (sottoprogetti o *task*) descritte a continuazione.

Task 1 - Perfezionamento ed integrazioni del modello iniziale di riferimento per lo SRS

Le attività contemplate in questo sottoprogetto comprendono essenzialmente:

- Reperimento su scala mondiale di registrazioni *strong motion* ottenute da accelerografi digitali, successive al 2001, e loro inclusione nella base dati di calibrazione del modello di riferimento. L'inclusione/esclusione avverrà mediante criteri ben definiti di analogia di contesto tettonico, onde poter procedere a successive applicazioni del modello al territorio italiano. Dovrà essere controllato se, con la base dati accresciuta, risultano variazioni significative rispetto alle curve spettrali medie osservate di FPR04.
- Introduzione della componente verticale, seguendo lo stesso procedimento indicato in FPR04 per le componenti orizzontali, verificando in particolare se esista dipendenza significativa dalle condizioni di suolo locali, definite orientativamente a partire dalle "ground classes" dell'Eurocodice 8 (con semplificazioni). Parimenti, dovrà essere messa in evidenza la dipendenza degli spettri medi osservati rispetto agli intervalli di magnitudo e distanza già individuati.

Task 2 - Valutazione dell'influenza di diverse forme di dissipazione sullo SRS; definizione di spettri di verifica per costruzioni monumentali

Ricadono in questo task due temi, riguardanti rispettivamente la rappresentazione semplificata della dissipazione di energia nel sistema equivalente a 1 gdl in funzione del comportamento isteretico assunto e, problema di rilievo per il patrimonio edilizio italiano, la formulazione di SRS di verifica per gli edifici monumentali.

Influenza delle forme di dissipazione sullo SRS. Nel progettare agli spostamenti, la dissipazione dell'energia sismica tramite meccanismi di risposta anelastici (di tipo isteretico) e/o dovuta alla presenza di appositi elementi dissipativi, può rappresentarsi tramite una adeguata diminuzione delle ordinate dello SRS. I fattori che quantificano tale riduzione dovranno tenere conto di: (i) tipo di risposta anelastica della struttura, (ii) periodo di vibrazione di quest'ultima, (iii) domanda in spostamento e (iv) caratteristiche della azione sismica (Lin e Chang, 2003; Bommer e Mendis, 2005). Le attività da svolgere in questa parte di sottoprogetto comprendono:

- (a) revisioni delle formulazioni attualmente disponibili per il calcolo dei fattori di riduzione dello SRS, e individuazioni dei loro limiti e necessità di sviluppo;

- (b) analisi dinamiche non lineari su sistemi ad 1 gdl, variando il periodo di vibrazione (cioè, rigidità a snervamento), le capacità di deformazione (cioè, duttilità) e il tipo di risposta (cioè, legge isteretica). In particolare i modelli isteretici di maggiore interesse sono: elasto-plastico, bilineare, Takeda modificato, Ramberg-Osgood e “flag-shaped”.
- (c) derivazione, tramite analisi statistica dei risultati di (b), dei fattori di riduzione dello SRS, rapportati allo spettro standard (smorzamento 5%), in funzione di duttilità e periodo proprio;
- (d) introduzione di coefficienti correttivi nei fattori di riduzione derivati in (c) per tenere conto del degrado di resistenza (softening) e di rigidità dovuta all'azione ciclica, non considerati in (b).
- (e) studio approfondito di eventuali modifiche delle equazioni ottenute in (d) per passare dal modello ad 1 gdl (necessario per l'esteso studio parametrico descritto) ad una struttura con più gradi di libertà (tipica delle applicazioni reali).

Definizione di SRS di verifica per costruzioni monumentali. Stante la difficoltà (o impossibilità *tout court*) già commentata di formulare per le costruzioni monumentali uno SRS di verifica con rigidità secante allo spostamento limite di progetto e smorzamento efficace, il compito sarà quello di analizzare alcune situazioni emblematiche, sotto forma di modelli di configurazioni caratteristiche (ad es. facciate e navate principali di chiese). Su questi saranno eseguite analisi dinamiche non-lineari con accelerogrammi di eccitazione accuratamente selezionati, allo scopo di definire precise ed affidabili regole di tipo pre-normativo per la verifica degli edifici monumentali tramite lo spettro di risposta elastico in spostamento.

Task 3 - Introduzione di effetti di campo vicino (near-field) nel modello di riferimento

Mentre in FPR04 si illustra, anche analiticamente, l'effetto sullo SRS di un segnale di spostamento a rampa (*fling step*), causato da dislocazione di faglia a breve distanza, non è stata invece trattata l'influenza della direttività della frattura sismica sugli SRS in campo vicino. La valutazione di tale influenza vicino alla faglia è abbastanza complessa perché il “directivity pulse” può subire variazioni spazio-temporali e spettrali importanti nel campo vicino, che si ripercuotono sullo spettro di risposta in spostamento (SRS). Alcuni degli studi più aggiornati (Somerville, 2003) indicano inoltre che l'intervallo di periodi principalmente interessato dipende fortemente dalla magnitudo.

Altro tema non trattato in FPR04 è l'effetto del meccanismo di faglia (*style-of-faulting*), che ha un'influenza importante sulla radiazione sismica. In più, a bassa frequenza, la rottura di faglia fino in superficie crea un comportamento fortemente asimmetrico soprattutto per le faglie inverse, a seconda che i ricevitori giacciono sul tetto o sul letto della faglia stessa.

Nell'ipotesi, da verificare in relazione ai Progetti S1 ed S3, che nel prossimo modello di zone sismogenetiche del territorio italiano saranno effettivamente introdotte singole faglie, e che si dovrà quindi calcolare la pericolosità nel campo vicino di tali faglie, appare approfondire ed integrare FPR04 come segue, principalmente (ma non esclusivamente) sulla base di analisi numeriche :

- Completamento di modelli osservazionali ed analitici semplificati per includere l'effetto di uno spostamento a rampa sullo SRS. Appare in particolare critico stimare come il “periodo d'angolo” dello SRS dipenda dal tempo caratteristico di rampa nello spostamento del suolo.
- Inclusione degli effetti di direttività e del meccanismo di faglia mediante trattazione semplificata e cautelativa, e individuazione dei rispettivi campi di applicabilità rispetto alla distanza dalla sorgente e della magnitudo.

Task 4 - Attenuazione dello spostamento del suolo a scala nazionale e regionale su basi osservazionali.

Sarà sviluppato in questo task un filone principale di ricerca, che sfrutta essenzialmente dati strumentali, ed uno più circoscritto che sfrutta correlazioni semiempiriche a partire dall'intensità

macrosismica.

Modelli di attenuazione su base strumentale. In base a FPR04, la zonazione della pericolosità del territorio italiano in termini di SRS richiede di rappresentare l'attenuazione di d_{max} (spostamento massimo del suolo) in funzione di distanza e magnitudo M_w mediante opportune relazioni eventualmente regionalizzate.

Il presente sottoprogetto avrà come compito principale il raccogliere e selezionare le osservazioni sismologiche strumentali digitali, anche di piccoli terremoti, nell'intervallo indicativo di periodi da circa 1s fino a circa 5 s (in quanto rappresentativo dei periodi a cui è associato lo spostamento di picco del suolo, orizzontale e verticale), e formulare relazioni di attenuazione per d_{max} , ordinate spettrali (e durata del moto) su base nazionale e, in alcuni casi, regionale. In questo ambito, per la prima volta si mirerà tra l'altro a definire il ruolo delle onde di superficie di medio periodo in ampie zone del territorio nazionale dove affiorano unità sedimentarie non calcaree.

Sono già disponibili presso INGV-Roma1 delle basi di dati strumentali digitali (*weak e strong motion*, ad es. Friuli, Abruzzo, Alpi Occidentali, Sicilia). Usando tutti i dati registrati per $M > 4.5$ (indicativamente) verrà effettuato uno studio dettagliato per determinare tutti i fattori che influenzano il moto del suolo in un intervallo di periodi da 2s a 5s. Regressioni di tipo classico saranno stimate usando i valori di picco e le ordinate spettrali in spostamento in funzione della distanza e della magnitudo. Le nuove relazioni di attenuazione che ne deriveranno sono peculiari di questo progetto e si differenziano da quelle degli altri progetti sismologici per il particolare intervallo di frequenze ($f < 1$ Hz) in cui vengono calcolate.

Entro questo tema principale si svilupperanno anche le seguenti attività su base regionale, ovvero:

Relazioni di attenuazione di spettri di risposta in spostamento per terremoti Etnai. Le registrazioni a lungo periodo di terremoti Etnai disponibili da alcuni anni presso INGV-Catania mostrano, già a partire da M_L 2.0, un contenuto spettrale con picchi a frequenze < 1 Hz. Questa anomalia ha generato forte impatto in termini di danni durante il terremoto M 4.4 del 27/10/ 2002 i cui dati mostrano, a un periodo di 3 s, ordinate spettrali di risposta più ampie di quelle predette per M 6 dalla regressione Sabetta-Pugliese (1996). Sfruttando i dati accelerometrici registrati nel 2002 e quelli raccolti successivamente dalla rete locale INGV, saranno sviluppate regressioni specifiche per questi terremoti, indispensabili per qualsivoglia stima di pericolosità nella zona Etna.

Relazioni di attenuazione regionali in zona alpina (provincia di Trento). Inizia, in concomitanza con l'avvio di S5, l'installazione di una rete regionale di accelerometri digitali nell'ambito della provincia di Trento, prevedendosi circa 15 stazioni già nel 2005 e probabilmente altrettante nel 2006, mirata anche a registrare dati da eventi con $M >$ circa 3. La disposizione della rete verrà ottimizzata al fine di: a) produrre una base di dati mirata anche alla formulazione di relazioni di attenuazione in spostamento rappresentative di una regione alpina a sismicità medio-bassa, b) attraverso 1-2 microreti locali, fornire indicazioni quantitative sulla risposta sismica ai medi e lunghi periodi delle valli alpine profondamente incise e con riempimenti alluvionali molto potenti (fino a 600 m, p. es. valle dell'Adige).

Correlazioni a base semiempirica. Verrà sviluppata un'attività indipendente dalla precedente, volta a formulare correlazioni a base semiempirica su scala regionale fra distanza dalla sorgente e picco di spostamento orizzontale, derivate da simulazioni condotte con il metodo della "funzione cinematica" KF (e. g. Pettenati e Sirovich, 2003). L'approccio si basa su: impiego di correlazioni tra intensità e spostamento di picco del suolo, validazione di mappe di scuotimento generate con il metodo KF su alcuni terremoti ben registrati anche spostamento, e infine calcolo di scenari parametrici comprendenti tutti i possibili meccanismi di rottura all'interno di una zona sismogenetica predefinita. Scelti in ogni punto i valori corrispondenti ad un certo percentile, tutte le

coppie di valori (distanza, spostamento massimo) verranno regrediti per ottenere una correlazione da impiegare in calcoli di pericolosità in termini di massimo spostamento del suolo.

Task 5 - Attenuazione dello spostamento del suolo sul territorio nazionale – modellazioni numeriche

Parallelamente al Task 4, data l'assenza di registrazioni accelerometriche da terremoti forti in molte zone chiave (ad es. la pianura padana), si ravvisa la necessità di ricorrere a modelli numerici sorgente-crosta-siti per simulare, su scala regionale (entro circa 200 km), la propagazione delle onde sismiche che governano lo SRS a periodi indicativamente > 2 s. Inoltre, sarà specificamente indagata con strumenti numerici anche la generazione di onde di lungo periodo lungo i bordi di importanti bacini sedimentari.

Modellazione della propagazione di onde a lungo periodo (1-10 s) in regioni estese. Atteso che la modellazione numerica dovrà rispettare i requisiti di: (a) definizione adeguata della struttura crostale quanto a contrasti di impedenza in superficie e in profondità (inclusa la profondità della Moho), (b) descrizione del campo d'onda completo in mezzi verticalmente eterogenei e con modelli di sorgente a dimensione finita con distribuzione eterogenea dei parametri, (c) dati di ingresso per la sorgente vincolati in modo statisticamente e fisicamente corretto, sarà sviluppato il calcolo di scenari di scuotimento per distanze sorgente-sito comprese tra 50 km e 200 km e magnitudo attese $M \geq 6$, in zone italiane da definire, usando come base di partenza la zonazione sismica ZS9 e modelli strutturali caratteristici della penisola italiana. La Pianura Padana rappresenta, in particolare, una delle aree più interessanti, per quanto attiene agli spostamenti a lungo periodo, in quanto caratterizzata da una spessa coltre sedimentaria e da scarsa attenuazione. Le modellazioni saranno effettuate con approcci che simulano gli effetti di sorgente finita in modo semplificato (rispettivamente modello di sorgente puntuale e correzione spettrale per la direttività, o somma stocastica di sub-eventi). I risultati delle simulazioni serviranno per calibrazione/confronto con le relazioni di attenuazione derivate su base osservazionale nel Task 4, ponendo particolare attenzione alla completezza degli insiemi di dati di partenza. Le simulazioni potranno anche fornire insiemi autonomi di dati di valore predittivo, particolarmente in zone dove mancano dati strong motion significativi.

Analisi parametriche di onde di lungo periodo generate localmente nei bacini sedimentari. Nei terremoti di San Fernando (1972) e Northridge (1994) si è riscontrata una forte discrepanza tra osservazioni e valori predetti dalle leggi di attenuazione per gli spettri di risposta a lungo periodo; è stato dimostrato che la causa è la diffrazione al bordo dei bacini sedimentari, che genera localmente onde superficiali la cui eccitazione/attenuazione dipende dalla geometria e dal profilo di velocità del bacino. Il bordo diventa così una potente sorgente locale di onde di lungo periodo che poi si attenuano con meccanismi mai parametrizzati finora in modo specifico. Si studieranno pertanto, con un approccio semplificato, le caratteristiche degli SRS a periodi $> 1-2$ s rappresentando in modo semplice geometria e profilo di velocità, in bacini sia di piccole (ordine di alcuni km) che di grandi dimensioni (centinaia di km), e usando modellazioni numeriche 2D, con dati di ingresso variati entro intervalli realistici. La validazione dei risultati delle modellazioni potrà essere effettuata grazie ai dati strong motion registrati in terremoti recenti su bacini sedimentari (ad es. Osaka, nel terremoto del 1995, e forse altri ancora). I risultati indicheranno le correzioni eventualmente da apportare in sede di pericolosità in presenza di bacini sedimentari.

Task 6 - Rappresentazione in mappa della pericolosità sismica del territorio italiano sulla base degli spostamenti spettrali attesi (SRS).

Questa attività costituirà il coronamento di tutto il progetto e consisterà nella costruzione di mappe

probabilistiche di pericolosità che rappresentino la domanda sismica in termini di SRS, presumibilmente attraverso d_{max} , a cui vengono direttamente associati gli spettri, come nell'esempio di Fig. 2. In particolare, la domanda sismica sarà quantificata in mappe corrispondenti a periodi di ritorno diversi, ad esempio, 100, 475 e 2000 anni, tali da consentire l'uso in un ambito (anche normativo) che prevede diversi livelli di prestazione delle costruzioni.

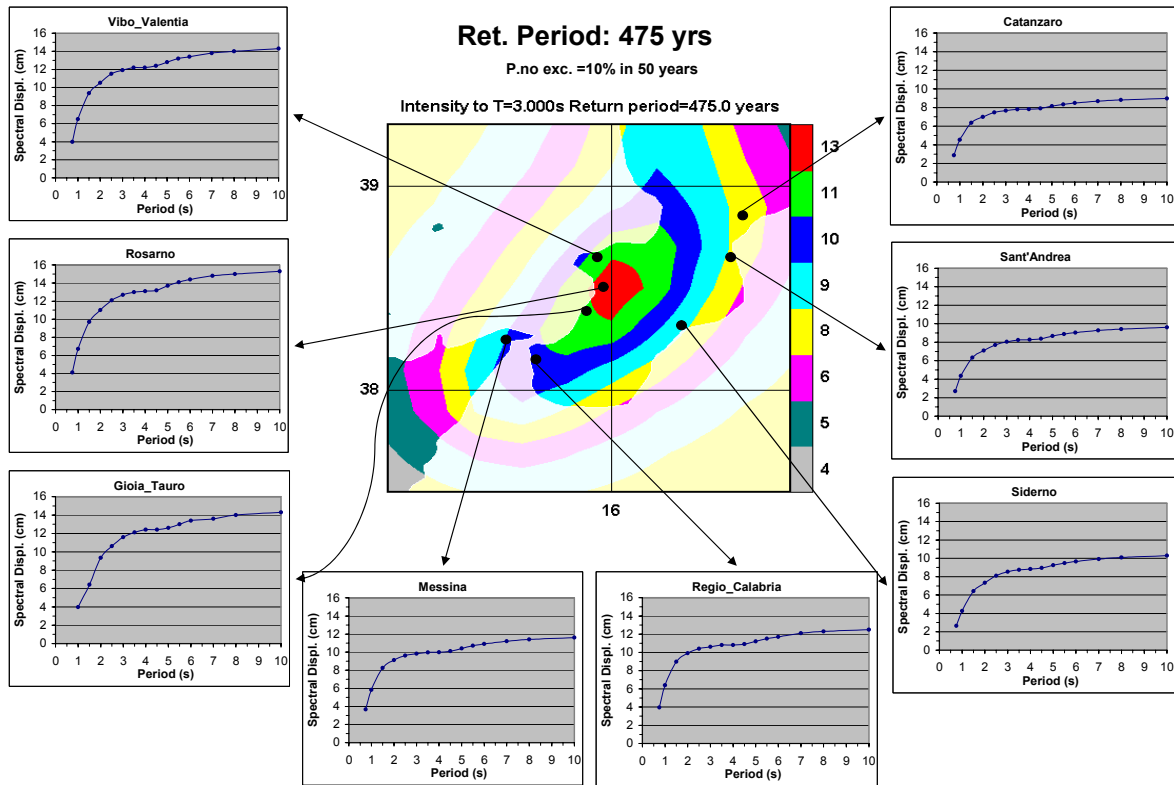


Fig. 2 - Esempio di mappatura di SRS nella regione dell'arco calabro, con smorzamento 0.05, per probabilità di eccedenza 0.10 in 50 anni (con zonazione sismogenetica ZS4)

Per la costruzione delle mappe, che inizierà in modo sistematico nel 2° anno del progetto, saranno utilizzate appieno le risorse già disponibili nel progetto S1. In particolare saranno:

- usati come dati di ingresso (zonazione sismogenetica, catalogo e derivati, criteri di completezza) quelli finali, o quasi, a cui sarà pervenuto il progetto S1 al termine del primo anno, nonché – per quanto riguarda in particolare sorgenti sismogenetiche identificate come singole faglie – quelli del progetto S2 alla stessa epoca;
- raccolti tutti i risultati rilevanti degli altri Task, parametrizzandoli ove necessario in modo da poterne fare uso nell'ambito di un calcolo probabilistico di pericolosità;
- adottato un metodo di calcolo analogo a quello usato per redigere la carta di pericolosità 2004 in termini di a_{max} , partendo dalla stessa struttura di albero logico (con le necessarie modifiche derivanti dalle diverse relazioni di attenuazione impiegate, e dalla eventuale introduzione di singole sorgenti sismogenetiche).

4. Fattori di rischio di mancato completamento attività

Il progetto ha per scopo la produzione di carte di pericolosità in termini di spettro di risposta di

spostamento. Esso è articolato in modo tale che, anche ove l'elevato grado di innovazione previsto nei singoli Task non fosse pienamente raggiunto, l'obiettivo sarà comunque essere realizzato con la costruzione del prodotto previsto. Per quanto riguarda i fattori di rischio derivanti dalla acquisizione di risultati da altri progetti sismologici, si può far riferimento all'introduzione – in alcune regioni - di singole faglie nel modello delle zone sismogenetiche (previste da S2), e ad alcuni approfondimenti previsti in S1 (vedasi *deliverable* 19 dello stesso). Un trasferimento in misura inferiore al previsto dei precedenti elementi potrà influire solo sul grado di innovazione, ma non sulla fattibilità del progetto stesso che è comunque garantita in termini di spettri in spostamento dalla zonazione ZS9 (con gli altri dati di ingresso a questa associati) e dalla base di dati DISS 3 per le sorgenti sismogenetiche.

5. Validazione dei prodotti applicativi

I prodotti applicativi finali del progetto sono le carte di pericolosità in spettro di spostamento (SRS) e si basano sull'assunzione di un modello dello stesso SRS ancorato al valore di picco dello spostamento del suolo. La fase finale di validazione verterà soprattutto sulla verifica di questa assunzione innovativa introdotta nella rappresentazione della pericolosità: l'ampio spazio dedicato nel progetto alla raccolta dei dati osservazionali e al confronto con risultati delle simulazioni numeriche offrirà strumenti sufficienti per valutare la validità (e le incertezze) del modello utilizzato. In particolare, si valuterà la fattibilità di validare l'assunzione relativa alla parametrizzazione dello SRS con il solo spostamento di picco mediante relazioni di attenuazione per ordinate spettrali a diversi periodi di vibrazione (da sviluppare).

6. Deliverable attesi e diagramma temporale delle attività

Task 1

- 6 mesi: D1 - Completamento base dati mondiale di registrazioni strong motion digitali, acquisizione della componente verticale per tutta la base dati, correzione, e processamento degli spettri.
- 12 mesi: D2 - Conferma/modifica modello di rif. iniziale FPR04; se necessarie modifiche, formulazione di ipotesi di modello aggiornato.
- 18 mesi: D3 - Modello finale di riferimento SRS campo lontano per zonazione
- 20 mesi: D4 - Modello finale SRS comprendente effetti campo vicino.

Task 2

Tema 1:

- 6 mesi: D5 - Completamento attività (a), (b) pag. 55
- 12 mesi: D6 - Quantificazione fattori di riduzione dello SRS, rapportati a spettro standard (smorzamento 5%), in funzione di duttilità e T .
- 18 mesi: D7 - Formulazione fattori di riduzione corretti per degrado di resistenza (softening) e di rigidità; procedura per passaggio da 1 a molti gdl. Relazione scientifica su metodo con esempi applicativi

Tema 2:

- 6 mesi: D8 - Completamento analisi preliminari per scelta di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali ai fini analisi SRS.
- 12 mesi: D9 - Esecuzione e completamento analisi dinamiche non lineari di modelli di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali.
- 18 mesi: D10- Formulazione completa metodo SRS per verifica strutture monumentali. Relazione scientifica su metodo con esempi applicativi.

Task 3

- 6 mesi: D11 - Formulazione quantitativa preliminare (di limite superiore), applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS per direttività in funzione di T e M ;
- 12 mesi: D12 - Formulazione quantitativa (di limite superiore), applicabile a relazioni di attenuazione, di modifiche a SRS per meccanismo di faglia.
- 18 mesi: D13 - Completamento confronti tra formulazioni semplificate (D11 e D12) e modellazioni avanzate per SRS in campo vicino. Relazione scientifica finale.

Task 4

- 6 mesi: D14 - (a) Italia: formazione base dati per eventi con $M > 4$ e verifica se regionalizzare o meno attenuazione spostamento di picco (d_{max}); (b) Zona etnea: selezione base dati e prime formulazioni rel. di atten.; (c) Trentino: layout configurazione finale rete accelerometrica e analisi primi dati.
- 12 mesi: D15 - (a) Italia e zona etnea: relazioni di attenuazione finali per spostamento di picco del suolo - prima uscita; (b) Trentino: quadro attività rete accelerometrica fine 1° anno, e ipotesi su modelli di attenuazione weak motion.
- 18 mesi: D16 - (a) Italia e zona etnea: relazioni di attenuazione finali d_{max} a seguito di confronti con modellazioni numeriche - uscita definitiva; relazione scientifica finale. (b) Trentino: relazione regionale (su roccia) per attenuazione d_{max} , v_{max} , a_{max} da dati weak motion. Relazione scientifica.

Task 5

- 6 mesi: D17 - (a) Definizione configurazioni geologiche e sorgenti (scala decine a centinaia km) da modellare numericamente e uscita primi risultati; (b) impostazione e risultati prime analisi 2D per effetti di bordo bacini sedimentari.
- 12 mesi: D18 - (a) Modelli attenuazione numerica grandi strutture geologiche, tipo Pianura Padana; (b) Formulazione (eventuali) modifiche ad attenuazione d_{max} per effetti di bordo bacini sedimentari - prima uscita.
- 18 mesi: D19 - Modifiche definitive a relazioni di attenuazione d_{max} per presenza bacini sedimentari e per effetti di bordo - uscita definitiva. Relazione scientifica finale.

Task 6

- 6 mesi: D20 - Indagini preliminari su strumenti di calcolo per creazione mappe probabilistiche di pericolosità in termini di SRS.
- 12 mesi: D21 - Integrazioni prime uscite da altri task per verificare effetti loro inclusione su mappe pericolosità, in particolare per campo vicino e importanti bacini sedimentari.
- 18 mesi: D22 - Integrazione uscite da progetti S2 ed S5 per scelta modello zone sismogenetiche da usare per carta di pericolosità in d_{max} o ordinate spettrali SRS; risultati di tests su alcune regioni.
- 24 mesi: D23 - Uscita di:
 - Mappa(e) di pericolosità del territorio nazionale in termini di SRS (o di quantità che lo parametrizzi direttamente) per diversi periodi di ritorno;
 - Relazione scientifica di accompagnamento.

	Primo Anno										Secondo Anno									
	Primo Semestre					Secondo Semestre					Primo Semestre					Secondo Semestre				
Task 1:																				
D1	█	█	█	█	█															
D2	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D3	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
D4	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Task 2:																				
D5	█	█	█	█	█															
D6	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D7	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
D8	█	█	█	█	█															
D9	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D10	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 3:																				
D11	█	█	█	█	█															
D12	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D13	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 4:																				
D14	█	█	█	█	█															
D15	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D16	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 5:																				
D17	█	█	█	█	█															
D18	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D19	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
Task 6:																				
D20	█	█	█	█	█															
D21	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█										
D22	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█					
D23	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

7. Riferimenti bibliografici essenziali

- Bommer J. e Mendis R.(2005) “Scaling of spectral displacement ordinates with damping ratios”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* **34**, in press.
- CEN (2004) “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings”, Bruxelles, May 2004
- Faccioli E., Paolucci R. e Rey J. (2004) “Displacement spectra for long periods”, *Earthquake Spectra* **20**, 347-376.
- Lin Y. e Chang K. (2003) “Study on damping reduction factor for buildings under earthquake ground motion”, *J. Structural Engineering ASCE* **129** (2), 206-214.
- Pettenati F. e Sirovich L., 2003 “Tests of source-parameter inversion of the U.S. Geological Survey intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 93, 1, 47-60
- Somerville P. (2003) “Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse”, *Phys Earth. Planet. Inter.* **137**, 201– 212.

8. Tabella mesi/persona, suddivisi per task e UR

UR	Enti	Resp.	Task1	Task2	Task3	Task4	Task 5	Task 6	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
1	INGV-CT	Langer				18			18	
2	INGV-RM	Herrero			9	7	2		18	
3	INGV-MI	Pessina	1	0.5	0.5	0.5	0.5	14	17	
4	INOGS	Vuan					4		4	15
5	INOGS	Sirovich				16			16	
6	Polit. Milano	Paolucci	8						8	20
7	UniGE	Lagomarsino		5					5	16
8	UniPV	Pinho		5					5	16
9	Servizio Geol. TN					35			35	
	Totale		9	10.5	9.5	76.5	6.5	14	126	67

9. Tabella finanziamenti richiesti (in migliaia di euro)

UR	Istituz.	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consumi servizi		Inventariabile		Totale		tot
		2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	
1	INGV-CT	0	0	1,5	0,8	4,0	2,2	3,5	2,0	0	0	9,0	5,0	14,0
2	INGV-RM1	0	0	4,0	2,0	16,0	7,0	18,0	9,0	6,0	4,0	44,0	22,0	66,0
3	INGV-MI	0	0	3,5	4,0	3,5	4,0	5,0	8,0	6,0	2,0	18,0	18,0	36,0
4	INOGS	25,4	12,7	4,3	3,5	0	0	3,3	1,8	0	0	33,0	18,0	51,0
5	INOGS	0	0	3,0	3,0	0	0	2,5	3,0	0	0	5,5	6,0	11,5
6	PoliMI	20,0	11,0	4,0	2,0	3,0	3,0	5,0	3,5	6,0	3,0	38,0	22,5	60,5
7	EUCENTRE	20,0	10,0	1,0	1,0	6,0	4,0	5,0	2,0	5,0	2,0	37,0	19,0	56,0
8	UniGE	20,0	10,0	3,0	2,0	4,0	3,0	5,0	2,0	5,0	2,0	37,0	19,0	56,0
		85,4	43,7	24,3	18,3	36,5	23,2	47,3	31,3	28,0	13,0	221,5	129,5	351,0

Totale (Euro): 351.000

INGV: 116.000 (33%)

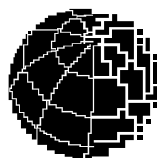
Altri enti: 235.000 (67%)

ALL. 2

Progetti vulcanologici

(All. 2 al Decreto 179 del 18 maggio 2005)

I - 00143 ROMA
Via di Vigna Murata, 605
Tel.: (39) 6 518501
Telex: 625835 GEOROM
Telefax: (39) 6 5041181



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

PROGETTO INGV-DPC 2004-2006

PROGETTI VULCANOLOGICI

*(Attuazione dei progetti di ricerca vulcanologici
di particolare interesse per il Dipartimento della Protezione Civile
previsti dalla Convenzione 2004-2006 tra DPC e INGV)*

**Allegato 2
al Decreto n. 179 - 18 maggio 2005
del Presidente dell'INGV
Prof. Enzo Boschi**

Index

Section	Page
Introduction	4
Table of global financial request	6
Project V1	8
Project V2	12
Objectives	13
State of the art	14
Description of the activities	15
List of deliverables	22
Table man/months	24
Table of financial request	27
Project V3	28
Objectives	30
Synthetic table of financial request for project V3	30
Sub-Project V3_1 – Colli Albani	32
State of the art	33
Description of the activities	35
List of deliverables	39
Table man/months	40
Table of financial request	42
Sub-Project V3_2 – Campi Flegrei	44
State of the art	45
Description of the activities	46
List of deliverables	53
Table man/months	55
Table of financial request	57
Sub-Project V3_3 – Ischia	58
State of the art	59
Description of the activities	60
List of deliverables	65
Table man/months	66
Table of financial request	68
Sub-Project V3_4 – Vesuvio	70
State of the art	71
Description of the activities	72
List of deliverables	77
Table man/months	78

Table of financial request	92
Sub-Project V3_5 – Vulcano	82
State of the art	83
Description of the activities	84
List of deliverables	89
Table man/months	90
Table of financial request	92
Sub-Project V3_6 – Etna	94
State of the art	95
Description of the activities	96
List of deliverables	104
Table man/months	106
Table of financial request	110
Sub-Project V3_7 – Pantelleria	112
State of the art	113
Description of the activities	114
List of deliverables	119
Table man/months	120
Table of financial request	121
Project V4	122
Objectives	123
State of the art	123
Description of the activities	126
List of deliverables	134
Table man/months	135
Table of financial request	137
Project V5	138
Objectives	139
State of the art	140
Description of the activities	143
List of deliverables	149
Table man/months	151
Table of financial request	153

INGV-DPC Project 2005-2006

Volcanology

The Agreement between Dipartimento della Protezione Civile (DPC) and Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), for the period 2004 – 2006, establishes the organization of five Projects in the general field of Volcanology. The INGV Decree 26/11/2004 N. 387 nominates the responsables of these projects. The same Agreement defines the general project objectives which must be aimed at providing clear answers to the major issues of interest for DPC. For the research in volcanology, these issues are essentially represented by: i) the assessment of the hazard associated with the various types of volcanic phenomena and with diffuse degassing, ii) the definition of the criticality levels, or the association of signs which indicate significant changes in the state of a volcano, and iii) the development of innovative techniques with the potential to add substantially to the above issues. Hazard and criticality levels are therefore the general objectives of INGV-DPC projects (with the addition of risk assessment, limited to project V5). Accordingly, each project includes a substantial part devoted to hazard assessment and definition of criticality levels, which are the subject of specific research, and are represented by clearly identified research products.

The Table below reports in a synthetic way the five INGV-DPC Projects in Volcanology and the corresponding responsables.

Project	Responsibles
V1*. Prosecution of the activities already financed in 2003 in the frame of GNV	Mauro Coltelli, INGV-CT Francesco Latino Chiocci, Univ. Roma La Sapienza
V2. Monitoring and research activity at Stromboli and Panarea	Domenico Patanè, INGV-CT Alessandro Tibaldi, Univ. Milano Bicocca
V3. Research on active volcanoes, precursors, scenarios, hazard, and risk	Paolo Papale, INGV Roma1 Stefano Gresta, Univ. Catania
V4. Conception, experimentation, and application of innovative techniques to study active volcanoes	Warner Marzocchi, INGV Roma1 Aldo Zollo, Univ. Napoli Federico II
V5. Research on the diffuse degassing in Italy	Giovanni Chiodini, INGV-OV Mariano Valenza, Univ. Palermo

*NOTE: No additional funding is requested for Project V1 in this proposal.

The project responsables have compiled the present proposal, after having informed and consulted the whole volcanological community through a first presentation of the INGV-DPC Agreement themes during the GNV General Assembly (Naples, December 2004), then through the publication in the web of project pre-proposals defining the project Tasks and requested deliverables of interest for INGV-DPC projects. The responsables have collected the corresponding proposals of contribution by single research groups, have identified those which better fit the pre-proposal themes and objectives, and have optimized them in the frame of a coordinated project with clear, well-defined, and attainable objectives and deliverables. The resulting projects are organized in a series of interdependent Tasks matching the themes and expected results included in the INGV-DPC Agreement, and focused on the achievement of deliverables of primary interest for Civil Protection purposes.

Project V3, which comprises the research on the Italian active volcanoes with the exception of Stromboli and Panarea (forming the object of projects V1 and V2), is organised in 7 sub-projects dedicated to Colli Albani, Campi Flegrei, Ischia, Vesuvio, Vulcano, Etna, and Pantelleria. Lipari and the volcanoes of the Sicily channel are partly included in the research above (within the sub-projects Vulcano and Pantelleria, respectively), although dedicated research will be organised in the future, possibly, during the second year of project.

The entire Project includes 159 RU's embracing 21 Italian and 1 foreign Universities (30 Departments), 6 CNR Institutes, 4 foreign Research Centers, 1 Italian Private Company, and 6 INGV sections. Participation to the whole Project includes a much larger number of Institutions, comprising 30 Italian Universities, 46 foreign Universities, 9 CNR Institutes plus 6 other Italian Research Centers, 26 foreign Research Centers, 5 Italian and 3 foreign Private Companies. A total of 953 researchers is involved in the Project, for a total of 7239 man/months, or 603 man/years.

For each project (and each V3 sub-project, see the following) at least **three project meetings** are planned.

The first one represents a kick-off meeting, within one month from the official start of the project, and its aim is that of i) providing all participating RU's with the basic knowledge of the research skills in the consortium, and promoting collaborations between RU's; ii) defining the details of project organization and the modalities and timing of exchange of data and results; iii) optimizing the first-year activities within all project Tasks.

The second meeting is planned shortly before the end of the first year of activity, with the aim of i) exerting a general control on the project activities, achievement of first year results, and production of first year deliverables; ii) if necessary, re-addressing part of the research foreseen to better match the project objectives; iii) ensuring further exchange between all RU's participating to the various project Tasks, cross-correlating the results from each RU and each project Task in order to focus on open questions and unresolved issues; iv) organising the first-year project report to INGV.

The third meeting is planned about two months before the date of closure of projects, and its aim is that of i) organizing the further research in view of the end of the project, ii) extracting the general picture emerging from the whole research within each project, and underlying the open questions and unresolved issues; iii) organising the final project report.

A **General Assembly** is foreseen shortly after the end of the Project. During the assembly the Project results will be presented to the Civil Protection and the scientific community.

The organization of a few (indicatively, two per year) **workshops on horizontal themes** of great relevance for the project objectives is greatly auspicated. These workshops should not be just the occasion for presenting the scientific job and results of researchers, rather, they should be focused on the production of a document summarizing the state of the art and guide-lines on the specific workshop theme. The first workshop to be organized shortly after the beginning of projects should be dedicated to Volcanic Hazard, a theme which is generally faced by different research groups on the basis of quite different principles and paradigms. The guide-lines emerging from the workshop should therefore provide a common route for all projects, for which volcanic hazard is the final objective.

Finally, the facilities offered by the existence of the INGV-DPC projects are thought to provide an ideal background for the development of a **INGV Task Force**. The aim of the Task Force should be that of providing scientific, technical, and logistic support during volcanic crises out of the Italian territory. A significant and coordinated participation of Italian researchers in volcanic crises all around the world is an opportunity to export their knowledge and greatly increase their experience in interpreting pre-eruptive signals from unresting volcanoes, in forecasting volcanic scenarios, and in volcanic crisis response and management. This will result in an enormous increase

of the capabilities to face and manage volcanic crises in the Italian territory. A document prepared, and circulated among the scientific community, by a Working Group in the frame of the activities related to the 2001-03 GNV program constitutes the basis over which the Task Force is thought to develop.

The present project proposal does not include any financial request for the activities related to the organization of the final General Assembly, of the workshops on horizontal themes, and of the INGV Task Force. The possibility that such activities will be started and promoted by INGV in the frame of the present INGV-DPC project will be submitted to the INGV management and decision bodies in case this proposition should be positively evaluated.

The Table in this page reports in a synthetic way the budget requested for the whole INGV-DPC Project in the scientific sector of Volcanology, divided for each single project from V1 to V5. The single projects designed with the above philosophy and objectives, are illustrated in details in the following corresponding sections. Project V1, which represents the continuation of activities on Stromboli and Panarea activated and financed in 2003, is also briefly described in the following. For this project no further financial request is included.

Synthetic prospect of the financial request for the whole 2005-2006 INGV-DPC Project - Volcanology

Project	Financial Request 2005 (keuro)	Financial Request 2006 (keuro)	Total Financial Request (keuro)	Percentage of Requested Fund
V1*. Prosecution of the activities already financed in 2003 in the frame of GNV	235	22.5	257.5	3.76
V2. Monitoring and research activity at Stromboli and Panarea	359.65	387.85	747.5	10.9
V3. Research on active volcanoes, precursors, scenarios, hazard, and risk	2248.5	2086	4334.5	63.3
V4. Conception, experimentation, and application of innovative techniques for the study of active volcanoes	415.3	369.8	785.1	11.5
V5. Research on the diffuse degassing in Italy	374	352	726	10.6
Total	3632.45	3218.15	6850.6	100.0

***NOTE:** V1 projects already defined, including financial request, in 2003. No additional funding is requested in this proposal.

NOTE: For the execution of projects V2-V5, the activation of 9.5 two-years “borsa di studio” and 4.5 two-years “assegno di ricerca”, is requested by INGV RU’s. Details are included in the footnotes to the financial Tables related to each project – see the following, and in the “Description of Research Units” volume which constitutes integral part of the present Project. The related costs are not included in the Table above. The costs for personnel requested by non-INGV RU’s are included in the Table above.

PROJECT V1

Prosecution of the activities already financed in 2003 in the frame of GNV

Responsibles:

Mauro Coltelli, INGV Catania

Francesco Latino Chiocci, Univ. La Sapienza, Roma

Project V1

Prosecution of the activities already financed in 2003 in the frame of GNV

Coordinators:

Mauro Coltelli, Senior Researcher, INGV sezione di Catania, Piazza Roma 2, 95123 Catania, coltelli@ct.ingv.it, tel 0957165850, fax 095435801

Francesco Latino Chiocci, Professore Ordinario, Dipartimento Scienze della Terra, Università di Roma "La Sapienza", P.le A. Moro, 5 – 00185 Roma, francesco.chiocci@uniroma1.it, tel.: 06/49914938, 06/44585075 fax: 06 4454729

For this project no further financial request is included in the present proposal. The project was made of six sub-projects financed in the frame of the response activities following the 2002-03 volcanic crisis at Stromboli volcano. Two of these sub-projects (N. 3 and 4 in the prospect below) had a length of one year, and are at present concluded. Other three sub-projects with duration of two years (N. 2, 5 and 6), and one with duration of three years (N. 1) are still prosecuting their activities, and have presently reached the end of first year.

The activity of the project responsables will be that of i) recovering the entire project documentation and making the point on the achieved results (already started); ii) coordinating the research activities during next two years, establishing the timing and modalities of scientific and financial report together with the responsables of projects V2-5; iii) harmonizing the research and the activities within the project with those developed under project V2.

The prospect below reports in a synthetic way the aim, funding, and present state of each sub-project. At present the project responsables are recovering the first year scientific and financial reports, which will be forwarded to INGV as soon as they are available.

Sottoprogetto 1: Studio dei maremoti generati da frane a Stromboli e dei segnali del sistema d'allarme marino installato dalla Protezione Civile (Allegato 1)

Responsabile: Stefano Tinti, Professore Associato, Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

Durata del progetto: 3 anni

Finanziamento accordato: 74.000 € per il 1 anno (2003); 55.000 € per il 2 anno (2005), 22.500 € per il 3 anno (2006)

Altre Università o Enti partecipanti: nessuno

Obiettivi:

- a) Sistema d'allarme e analisi dei segnali
- b) Simulazione del maremoto e modello di frana

Stato delle ricerche:

Ricerca in corso secondo le modalità riportate nel progetto approvato

Sottoprogetto 2: Attività di fotogrammetria digitale e di controllo topografico (Allegato 2)

Responsabile: Maria Marsella, Professore Associato, Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade, Università di Roma La Sapienza

Durata del progetto: 2 anni

Finanziamento accordato: 90.000 € per il 1 anno (2003); 50.000 € per il 2 anno (2005)

Altre Università o Enti partecipanti:

Dipartimento di Fisica, Università di Bologna (P. Baldi)

Obiettivi:

- c) Progettazione e realizzazione di una rete di inquadramento topografico/appoggio fotogrammetrico
- d) Restituzioni fotogrammetriche per estrazione di DTM e ortofoto digitali
- e) Misure di deformazioni
- f) Elaborazioni e interpretazioni dei dati morfologici
- g) Predisposizione di un CD Rom per la distribuzione dei dati e dei risultati del progetto

Stato delle ricerche:

Ricerca in corso secondo le modalità riportate nel progetto approvato

Sottoprogetto 3: Studio vulcanologico e geochimica-petrologico dell'eruzione 2002-2003 dello Stromboli (Allegato 3)

Responsabile: Mauro Rosi, Professore Ordinario, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa

Durata del progetto: 1 anno

Finanziamento accordato: 73.000 € per il 1 anno (2003)

Altre Università o Enti Partecipanti:

Università di Cagliari (R. Cioni, Dipartimento di Scienze della Terra)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e CEA-CNRS, (A. Bertagnini, P. Landi, N. Métrich)

Università di Firenze (L. Francalanci, E. Germiniani, C. Petrone, Dipartimento di Scienze della Terra)

Università di Urbino (A. Renzulli, M. Mattioli, P. Santi (Istituto di Vulcanologia e Geochimica)

Università di Parma (G. Serri, E. Salvioli, Dipartimento di Scienze della Terra)

Università di Torino (M. Tribaudino (Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Metrologiche)

Obiettivi:

- a) Individuare un'eventuale ricarica profonda del sistema superficiale e stimarne tempi e modalità
- b) Stimare il contenuto in volatili del magma profondo e le sue caratteristiche isotopiche
- c) Individuare eventuali variazioni chimiche, mineralogiche ed isotopiche e del contenuto in volatili del magma superficiale coinvolto nell'eruzione

Stato delle ricerche:

Ricerca conclusa, è in atto la rendicontazione scientifica e finanziaria finale

Sottoprogetto 4: Condizioni di iniezione di dicchi nella Sciara del fuoco o nella zona dei crateri sommitali in relazione all'instabilità gravitativa di Stromboli (Allegato 4)

Responsabile Alessandro Tibaldi, Professore Associato, Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie Università di Milano-Bicocca

Durata del progetto: 10 mesi

Finanziamento accordato: 50.000 € per il 1 anno (2003)

Altre Università o Enti Partecipanti:

Università di Urbino, Istituto di Vulcanologia e Geochimica

Università di Parma, Dipartimento di Scienze della Terra

Università di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra

Università di Roma Tre, Dipartimento di Scienze Geologiche

Università dell'Insubria Dipartimento di Scienze Chimiche, Fisiche e Matematiche

Obiettivi:

- a) Analisi cinematica dei dicchi con l'obiettivo è di collocare temporalmente e spazialmente ogni dicco per poi procedere al confronto delle sue caratteristiche cinematiche e degli altri parametri
- b) Analisi mineralogiche, petrografiche, isotopiche e geochemiche; caratteristiche reologiche dei magmi
- c) Modellistica numerica delle differenti condizioni del fianco nord-occidentale del vulcano al fine di individuare quali sono le direzioni di minore resistenza all'intrusione di dicchi
- d) Modellazione analogica mirante alla comprensione fisica del meccanismo di iniezione di un dicco in aree con topografia pronunciata e delle possibili cause innescanti

Stato delle ricerche:

Ricerca conclusa, è in atto la rendicontazione scientifica e finanziaria finale

Sottoprogetto 5: Progetto biennale per la prosecuzione delle attività legate all'analisi delle condizioni di stabilità della Sciara del Fuoco (Allegato 5)

Responsabile: Paolo Tommasi, Ricercatore, CNR, Istituto di Ricerca sulla Tettonica, Roma

Durata del progetto: 2 anni

Finanziamento accordato: 44.000 € per il 1 anno (2003); 10.000 € per il 2 anno (2005)

Altre Università o Enti partecipanti: nessuno

Obiettivi:

- a) Analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, strutturali, vulcanologiche legate all'evoluzione del fenomeno, da mettere in relazione con altri fenomeni avvenuti in tempi più o meno recenti e ben documentati.
- b) Caratterizzazione dei materiali, che, vista la complessità litologico-strutturale dell'ammasso, dovrà essere a grande scala e riguardare quegli aspetti ancora non investigati del comportamento dei materiali.

Stato delle ricerche:

Ricerca in corso secondo le modalità riportate nel progetto approvato

Sottoprogetto 6: Attività future per lo studio della Sciara sommersa e dei fenomeni correlati all'evento del 30/12/2003 (Allegato 6)

Responsabili: Francesco L. Chiocci, Professore Ordinario, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma La Sapienza

Michael Marani, Ricercatore, CNR, ISMAR, Bologna

Durata del progetto: 2 anni (Chiocci), 1 anno (Marani)

Finanziamento accordato: 460.000 € per il 1 anno (2003); 120.000 € per il 2 anno (2005)

Altre Università o Enti partecipanti: nessuno

Obiettivi:

- a) Studio della nicchia di frana e dei lineamenti erosivi (F.L. Chiocci);
- b) Studio del trasporto e messa in posto del materiale di frana (M.Marani).

Stato delle Ricerche:

Obiettivo a (Chiocci), ricerca in corso secondo le modalità riportate nel progetto approvato

Obiettivo b (Marani), ricerca conclusa, è in atto la rendicontazione scientifica e finanziaria finale

**PROJECT V1 – CONTINUATION OF THE ACTIVITIES
AT STROMBOLI AND PANAREA**

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
					Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
			2005	2006	2005	2006	2005	2006				
UR-1	UNIBO	Tinti	31000		7000	5000	7000	7000	10000	10500		
UR-2	UNIRM1	Marsella	15000		3000		2000		3000		2000	
UR-3	UNIBO	Baldi	15000		3000		2000		3000		2000	
UR-4	CNR-IGAG	Tommasi	4000		3500				2500			
UR-5	UNIRM1	Chiocci	64000		2000		5000		39000		10000	
		TOTALE	129000		18500	5000	16000	7000	57500	10500	14000	
GRAN TOTALE: 257500												

PROJECT V2

Monitoring and research activity at Stromboli and Panarea

Responsibles:

Domenico Patanè, INGV Catania

Alessandro Tibaldi, Univ. Milano Bicocca

Project V2

Monitoring and research activity at Stromboli and Panarea

Coordinators:

Domenico Patanè, National Institute of Geophysics and Volcanology, Section of Catania, P.zza Roma, 2, 95123 Catania, Italy, patane@ct.ingv.it

Alessandro Tibaldi, University of Milan Bicocca, Department of Geological Science and Geotechnologies, P. della Scienza 4, Milan, Italy, alessandro.tibaldi@unimib.it

Objectives

The main objectives have been individuated on the basis of the contents of the “attached C” on the Institutional Decree of the coordinating committee of the “Framework convention DPC-INGV 2004-06” and on the basis of the general framework of objectives of specific concern for the DPC.

The present project has been constructed through a strong integration of the research units (RU) and the other ongoing project on Stromboli (V1 “Prosecution of already funded activities in the GNV framework in 2003”).

This project will focus on a series of fundamental objectives that we retain of paramount importance for the prosecution of researches finalized to the hazard evaluation. Some of these objectives have been chosen also keeping in mind that they have received less attention in the past. Main hazards for Stromboli are: explosive eruptions, surface and deep landslide phenomena with particular reference to the Sciara del Fuoco area (SdF), subvolcanic intrusions and lava effusions. Tsunami scenarios are already developed within Project V1. For Panarea, the estimate of danger related to the underwater gas emission zone to the east of the island (Lisca Bianca-Dattilo-Bottaro locality) and its eventual connection with a magmatic system at depth, is of particular importance. Moreover, the definition of “critical levels” constitutes an activity of particular concern, or rather of the ensemble of indicators that may suggest significant status changes in the volcanoes under study. In particular, we foresee that any future monitoring and research activity at Stromboli will benefit from a better understanding of the deep and surface structure of the volcano and of its feeding system.

We plan a main experiment of tomography at Stromboli to achieve a better knowledge of the volcanic structure and of its plumbing system, and to locate the possible magma chamber, which up to now is unknown both for position and dimension. This result will be integrated with data coming from geophysical analysis of the upper feeding system and from field mapping of Holocene structures, dykes and eruptive fissures. All these data will be integrated into a unique three-dimensional structural-volcanological model of the volcano. This information will be also used to improve understanding of the mechanisms that govern the explosive activity and to better interpretate the monitoring data of deformation of the cone. In particular, we planned a series of applied research activities where data coming from various different methodologies of monitoring will be crosscutted for validation and comparison. We believe that all this will increase the base knowledge of Stromboli and will lead to a strong improvement of the comprehension of phenomena and behaviour of this volcano. This, in turn, will facilitate all scientists working on the real-time interpretation of the signals coming from this volcano, leading to a better reaction during possible future crisis.

As regards Panarea, the activities here proposed represent a first reaction to the phenomena of underwater degassing and fracturing occurred during the 2002-03 crisis. Here we propose three main objectives: the study of the origin of fluids outpoured from the sea bottom, the comprehension of the possible causes of the associated kms-long fracture pattern, and a better delineation of the age

and nature of the most recent volcanic activity in the area. All these objectives will contribute towards the understanding of the connection of these phenomena with a possible magmatic system at depth. We are aware that a complex geophysical oceanographic survey would be necessary in order to completely fulfil this last task, but neither research teams neither fund availability allowed it at present.

State of the art of the ongoing researches related to the objectives here proposed

A more suitable understanding of the internal structure of the volcano, its feeding system and its crustal roots, surely represent the basic tools to comprehend Stromboli's activity, to develop models used for the study of the source mechanisms of seismic-volcanic events and the deformation field induced by magma upraise in the storage zones and along the feeding conduits, useful for estimating danger and critical levels of the volcano. Notwithstanding this paramount importance, we must recognize that studies aimed at understanding the volcanic structure and the nature of its plumbing system has been started only recently (Pasquarè et al., 1993; Chouet et al., 1998; Saccorotti et al., 1998; Tibaldi, 2001; Chouet et al., 2003; Tibaldi et al., 2003). These comprise geophysical, geological, field structural and geomechanical studies of brittle planes of failures at Stromboli, as well as field studies of lithostratigraphic and geometric characteristics of dykes. All these data have been collected at the surface, or up to 200 m under the crater zone by geophysical methods, thus representing a valuable but partial reconstruction of the volcano structure. Despite in the last two decades a quantity of published seismological studies include waveform and spectral analysis of sparse network data aimed at clarifying eruption dynamics and spatial properties of the source (e.g. Del Pezzo et al., 1992; Neuberg et al., 1994; Chouet et al., 1998), quantitative descriptions of the seismicity and recurrent explosivity (Falsaperla et al., 1992, 1999) the spatial extend and geometrical characteristics of the source and mechanisms of Strombolian explosive activity remain poorly understood, apart from a single work (Chouet et al., 2003). Notwithstanding, additional observations for the investigation of the spatial and temporal characteristics of Strombolian sources are needed as well as the definition of a reliable velocity structure of the volcanic edifice. For the latter only an approximate evaluation (poorly constrained at depths greater than 500 m) derived from the inversion of surface-wave dispersion data is still today available (Chouet et al., 1998). Therefore an effort is necessary to better defining the velocity structure of the volcano by tomography. This in order to enhance both the location of the sources of Strombolian explosion and the simulation of the three-dimensional wave propagation in heterogeneous media.

In January 2003, after the beginning of the 2002-03 eruptive crisis at Stromboli, the geophysical and geochemical monitoring systems of the volcano has been strongly improved. A digital permanent broadband seismic network composed of 13 stations was deployed by INGV and several automatic systems have been developed to recognize both low frequency and landslide seismic signals. Moreover, a system for automatic detection and location of low-frequency signals, such as VLP's, has been implemented. All these monitoring systems have been used during the crisis as a proxy to changes in the input rate of magma and the degree of gas exsolved in the system. It is noteworthy that during last years, considerable work on modelling of the ascent of gas bubbles has been carried out. These kinds of simulation will be useful for modelling gas bubbles rising inside magma conduits, leading to better understanding Strombolian activity. Additionally, recent advances in the simulation of the eruption dynamics allows now to provide new tools for the investigation of time-dependent, multi-phase, 2D/3D magmatic and volcanic processes.

From the geological point of view, given that the system of dykes is magnificently exposed at Stromboli, and taking account that there are several dykes of very recent age, it is auspicious that they are analysed with greater detail, above all through a strong interdisciplinary approach that integrates structural, stratigraphic, petrographic, geochemical data, and numeric modelling. This would represent a further improvement and completion of work begun and started in 2004 in the project V1. In addition, there is a need to proceed with the mapping of the lava flows from

Holocene fissure eruptions outside the SdF; these, representing the surface expression of dykes of very recent ages, will be integrated with all the other data described above. Furthermore, a strong collaboration with the group that is to pursue further and deeper geophysical prospecting of the active feeding (dyke) system is here planned, in such a way as to correlate surface data with information coming from the inner part of the volcano. No geophysical studies at all exist on the magma chamber. Depth and characters of the plumbing system has been estimated by petrological studies (Vaggelli et al, 2003, Francalanci et al., 2004, 2005), but uncertainties still remain on geometry and location of the magma chamber.

Regarding the lateral instability of Stromboli, a series of main flank and sector collapses have been individuated mainly on the NW side of the cone and secondarily on the opposite SE side (Tibaldi, 2001, 2003, 2004). In the NW side, multiple nested lateral collapses occurred in the last 13 ky leading to the present configuration of the SdF depression. SdF is also prone to surface landsliding, as the one occurred on 30 December 2002 which produced a tsunami. All this testifies to recent and active deformation of the SdF infill. Monitoring of SdF deformation has been carried out only after the 2002-03 crisis, by means of several different techniques such as laser measurements of benchmarks, GPS stations and ground-based radar interferometry (e.g. Nunnari et al., 2004; Mattia et al, 2004). Possible scenarios of deep-rooted deformations in the SdF have been investigated by numerical modelling based on a wide set of geotechnical and geomechanical field and laboratory tests in 2-D (Apuani et al., 2004, 2005). No comparison of different monitoring data sets have been carried out up to now. Similarly, no studies at all exist on possible rockfalls towards the Stromboli villages.

The dynamics of SdF deformation is linked not only to gravity force, but also to magma lateral force exerted by intrusions. This link is strongly dependant also on the geometry of the upper feeding system. This geometry also is related to possible models of magma ascent dynamics. With this premise, we retain that volcanological researches in general, as well as researches applied to Stromboli hazards, will benefit from strongly tying together all these studies on different aspects of the same problem. Thus, improvement on the knowledge of the feeding system geometry will be useful not only to the studies of the present SdF deformations and of possible future scenarios, but also to magmatological studies. Numerous studies on explosive activity have been carried out recently, regarding both analyses of outpoured products (Rosi et al., 2000; Metrich et al., 2001; Bertagnini et al., 2003; Arrighi et al., 2004), magma dynamics (Vergniolle et al., 1996; Ripepe et al., 2001, 2005; Chouet al., 2003) and crater gas emissions (Allard et al., 2000; McGonigle et al., 2003). Anyhow, further improvements in the understanding of the explosive Holocene and recent most activity are possible and desirable, in terms of eruptive mechanisms, typology and distribution of emitted products, chronology of eruptive events, and estimate of the probability of occurrence of volcanic phenomena. Similarly, further improvements on estimation of mechanisms responsible for the rarer but most dangerous paroxysmic explosions are needed.

Description of the activities

The following methodologies are planned basing on the fact that the present project aims to stimulate and promote researches and studies orientated at supplying precise answers to the problematics of prime concern for Civil Protection. For Stromboli, such problematics are essentially made up of estimating the danger related to the various manifestations of volcanic activity (effusive and explosive) and slope instability. For Panarea, understanding what occurred during the 2002-03 crisis and what can be expected in the future, is of prime interest.

At Stromboli tens of years of studies have already been developed. We retain that new achievements can be reached by tying together the various groups which already operated at Stromboli in order to stimulate research in synergy. It is absolutely necessary to discuss all together the enormous amount of data collected by research and monitoring activities. This can be achieved by singling out mixed task forces in which the transverse nature of the disciplines can be

implemented. At the same time, taking into account the expected available funding, further new data will be collected under a dual scheme: 1) a few, selected main experiments which have never done before at Stromboli, nominally a tomographic survey and satellite interferometry, and 2) a series of lower-cost data collection mainly oriented to assure a prosecution of ongoing researches.

At Panarea instead, the researches focused on volcanic hazard are more at an embryonic stage. Past works were mainly aimed at understanding the volcanological evolution of the main island. As a consequence, we propose a few researches strongly focused on the new phenomena observed during the recent crisis and to understanding the Holocene geological evolution of the area where these phenomena occurred.

We remind that from the start-up of this project (i.e. during the call for proposals from single research units), we strongly worked to create groups bearing an interdisciplinary expertise aimed at resolving specific problems.

We also wish to stress that other researches at Stromboli have already been financed by special funding during the 2002-03 crisis and thus are not contained in the present project. Nominally they are studies of marine geology and researches focused on tsunami propagation.

In the following, we will describe the methodologies separately for Stromboli and Panarea and for tasks.

Stromboli

Task 1. Studies and investigations aimed at the reconstruction of the present structure of the volcano and its feeding system (Stromboli)

Coordinatore Alessandro Tibaldi
 UR Sonia Calvari, INGV-Catania
 UR Alessandro Tibaldi, Università Milano-Bicocca
 UR Mario Castellano, INGV-Napoli
 UR Domenico Patanè, INGV-Catania

The structural models of Stromboli volcano are mainly based on surface geology and on scarce geophysical data. Moreover, our knowledge of the Stromboli volcano structure is limited to the upper few hundreds meters, whereas the giant volcano edifice is mostly submarine and not accessible to direct investigations. The extreme logistic of the volcano inhibits most of the classical geophysical investigations, including local seismicity and the 3D reconstruction of the sub-surface structure. All these methodologies are limited by the present seismic network density and geometry and need the acquisition of data at both inland and submarine stations. Temporary and permanent short period and broad band seismic stations operated on the volcano since several years. The almost continuous volcanic activity with seismic tremors and explosive events are sources of noise in the frequency band usable for earthquake locations, tomography and analysis of waveforms for the recovering of the deep structure. Therefore, seismological studies of past years mostly focused on the definition of the active long period magmatic sources and the modelling of seismic tremor. Broad band data are still not used for inference on the deep structure. In other Italian volcanoes, the use of 2D and 3D active and passive seismic experiments provided useful and original information on the deep structure. The analysis of broad band data could give further constraints on the volcano deep structure and the presence of the magma chamber. At Stromboli, these studies are still not done. Therefore in order to get a first reliable image of the internal structure of the volcano and also of the part beneath the sea level, the deposition of a first nucleus of OBS/H around the island (RU Favali) and the joint use of seismic methods based on natural and controlled sources are considered in the present project. The integration of land seismological network with temporary

Ocean Bottom Seismometers and Hydrophones will improve, even over a limited time duration, the land-based network geometry during the experiment. Owing to the lack of recorded local earthquakes, as natural sources useful for tomographic purposes and the high cost of a 3D experiment, a preliminary 2D tomographic study will be done (RU Castellano), through active seismics (a series of inland shots and possibly airgun). Such a study, as preparation to realising a future high resolution 3D tomographic study, should be integrated with an high resolution Receiver Function analysis to define the 1D velocity model beneath each station, aimed to identify the crustal magma chamber and relevant discontinuities beneath the volcano (RU Patanè). Furthermore, to improve the first general structural model of the volcano (Tibaldi, 2004) other geological, petrological and structural investigations are considered in this project (RU Tibaldi and RU Calvari). These comprise detailed mapping of the structures related to the upper magma feeding system, represented by recent (Holocene) dykes and eruptive fissures. The products related to these structures will be analysed in a complete way by means of stratigraphic, lithologic, petrographic and geochemical methods. Absolute dating will also be performed. Structural, lithostratigraphic and petrochemical analyses of the logs of two new 200-m-deep boreholes (logged by Scarpa's group at Punta Lena and Timpone with other Civil Protection funds) will also be performed by Tibaldi's and Calvari's Rus, together with their correlation with known surface lithostratigraphic units. We will integrate also these informations with the data on the hydrothermal system coming from Renzulli's RU. The knowledge on Stromboli surface geology acquired in the past years by various teams will be integrated with the new geophysical and geological data here collected and transferred into a new 3-D model, that is presently lacking.

Evaluation of the dangers of effusive and explosive activity (Stromboli)

Coordinatore Mauro Rosi
 UR Fabio Speranza, INGV-Roma 2
 UR Lorella Francalanci, Università di Firenze
 UR Daniele Andronico, INGV-CT
 UR Piergiorgio Scarlato, INGV Roma
 UR Antonella Bertagnini, INGV-Roma I
 UR Mauro Rosi, Università di Pisa
 UR Maurizio Ripete, Università' di Firenze
 UR Luca D'Auria, INGV-OV
 UR Paolo Favali, INGV-Roma 2
 UR Mario Mattia, INGV-Catania
 UR Paolo Papale, INGV-Roma1

The eruptive crisis of December 2002- July 2003, the large scale landslide of 30 December 2002 that also affected the submarine part of the volcanic edifice at Sciara del Fuoco, the *tsunami* that it caused as well as the paroxysmic event of 5 April 2003, focused attention on the need to define "critical levels", or rather to characterise well the ensemble of indicators that can highlight important status changes of this volcano. Obviously, the reduction of volcanic risk at Stromboli entails a better understanding of the surface feeding system (Task 1). In fact a better knowledge of the configuration of the shallow plumbing system (Task 1) is essential for understanding eruptive dynamics and trigger mechanisms of paroxysms, which are in some way both linked to the arrival of fresh magma at shallow levels. Recharge of shallow plumbing system is believed to be a cause of explosive eruptions and these data are fundamental tools for discovering new magma inputs in the system.

Although numerous studies on the past explosive activity have been carried out in recent years, further improvements in the understanding of the explosive Holocene activity are still necessary, in

terms of eruptive mechanisms, typology and distribution of emitted products, chronology of eruptive events; estimate of the probability of occurrence of volcanic phenomena in terms of typology, scale and recurrence of expected events; the study of the relationships between volcanic activity and lateral collapses. Also the modern eruptive activity at Stromboli has been the object of many investigations of a volcanological and petrological nature. The studies carried out have significantly contributed to improving understanding of the ordinary eruptive processes related to the external and internal dynamics to the conduits and to better characterising the petrology of emitted products. The research carried out on the ordinary explosions and on the paroxysmic events have highlighted a close dependence in the dynamics of the magmas in relations to their volatile content.

New improvements on the evaluation of the dangers of effusive and explosive activity on Stromboli could be achieved by RU's Speranza, Francalanci, Rosi and Bertagnini by i) a careful characterization of the age of all the Holocene volcanics from Stromboli with paleomagnetic study and mineralogical and geochemical, ii) studies of magmas from the main explosive Holocene events (Secche di Lazzaro, Pizzo Sopra la Fossa and Recent Period II pyroclastic deposits), iii) stratigraphic trench method in sectors not studied before, to further expand the tephrochronology of Stromboli and iv) by an integration of fieldwork, geochemical, textural and mineralogical data and numerical modelling, respectively. This in order to understand the pre-eruptive role of magma in triggering the eruptions and the mechanisms governing paroxysmic explosions. All these researches will be primarily devoted to localization of storage zones basing on petrological models and assessment of the dissolved volatile content gradient in the magma column that feeds the explosive eruptions

Inside the project, a multi-disciplinary study of explosive activity on Stromboli will be performed by RU Andronico by detailed investigations on the processes controlling explosive activity. In this study morphological, textural and compositional analysis will be carried out on selected samples in order to constrain degassing processes, fragmentation, transport, cooling and deposition occurring in the shallow portion of the volcanic conduits in collaboration with the RU Scarlato which will perform a systematic sampling and analysis of ash-sized products from individual, well-observed explosions from a single vent using an airborne platform.

The RU Andronico will complement these studies with novel measurements of the flux and chemical composition of gases emitted during both explosive and quiescent degassing. These results will allow detailed calculations of bubble formation and ascent processes within the conduit of Stromboli, that will feedback directly to the textural/petrological analysis of eruptive products and allow comparison with investigations of visual observations of the explosions producing the analyzed samples and to geophysical parameters measured by RU D'Auria, which will also modeling gas bubble rising in arbitrary conduits. Constraining the fundamental physical and geochemical processes that control the explosive process will complement the modeling studies proposed by the RU Papale and provide comparison with volatile studies undertaken within RU Bertagnini.

The RU Scarlato will also provided a determination of the viscosity of Stromboli magma hydrated and these results will be used as input data for simulations of processes occurring in magma chamber and conduit by RUs D'Auria and Papale

Geophysical studies and researches aimed at defining times and modality of recharging of the surface feeding system will be performed by the RUs Mattia, D'Auria and Ripepe. By these RUs which managed the geophysical monitoring systems (geodetic and seismological) deployed on the volcano, we retain that it will be possible to evaluate in the next years, in real or almost real time, the fundamental parameters associated with the explosive activity of the volcano and define the times and modalities of recharging the system. This obviously in reference also to the explosive phases of paroxysmic kind and to verify the probability of new effusive eruptions.

In the field of the forecasting of the greatest danger eruptive phenomena, it proves of basic importance to understand the reasons that lead to the sudden rise of highly gas-rich magmatic masses able to produce the most violent explosions and/or paroxysms. In our opinion these new studies should contribute to understanding the very mechanism of the biggest explosions through the study of emitted products and through the data deriving from visual (telecamera), petrological and geochemical monitoring and should equally be aimed at seizing on eventual precursor phenomena. These could be also allowed to tackle the main problematic on estimating the dangers related to the various manifestations of volcanic activity (effusive and explosive) and to the phenomena of instability of the slopes of the edifice, in particular the Sciara del Fuoco (Task 3).

Task 3. Evaluation of possible scenarios of deformation and dynamics of the Sciara del Fuoco (Stromboli)

Coordinatore Nicola Casagli
UR Nicola Casagli, Università di Firenze
UR Tiziana Apuani, Università degli Studi di Milano
UR Alberto Renzulli, University of Urbino
UR Michael Marani, ISMAR-CNR

The historical and stratigraphic data document that the Stromboli system is in its present condition for a little less than two thousand years. Such behaviour has proved exceptionally stable and rarely disturbed in this arc of time. However, in analogy to what occurred during the recent eruptive crisis of 2002-2003, the geological-structural research into the last 10 Ky of its evolution have shown how the volcano has undergone important slope collapses. One of the biggest collapses of the Sciara del Fuoco (SdF) has moreover been related to a great explosive event whose products covered the entire island and whose dynamics may be interpreted as a product of the sudden depressurization of the magmatic and geothermic system. Recent investigations have outlined the submarine deep-water extension of the outcropping collapse scars of the SdF. Continuous surveys and monitoring of ground deformation along the SdF started during the 2002-2003 crisis can provide information about the failure mechanisms which drive the SdF slope instability and possibly suggest the eventual occurrence of a future possible collapse. We want to ensure that thanks to permanent monitoring activity it is possible to formulate even more precise models of the SdF dynamic. In our opinion a substantial improvement in the evaluation of the slope stability and hazard of the SdF is still necessary and this could derive from the cross validation of the independent deformation data. RU Casagli will elaborate the huge amount of ground deformation data acquired during the eruptive crisis and afterward by the deployed geodetic permanent monitoring systems (GBInSAR and Thedoro system). This in order to define the deformation pattern that have characterised the different portions of SdF and model the recorded ground deformation time series with both stochastic and deterministic approaches. Further numerical model of the SdF slope instability will be performed by the RU Apuani while an evaluation of the hydrothermal alteration state, which can also reduce the rock permeability enhancing the transmission of thermal pressurization, will be performed by the RU Renzulli. Finally a careful study of the transport and depositional processes of the 30/12/2002 by investigation of the unstudied portion of the debris avalanche deposits aimed also to distinguish morphology and thickness of recent and past landslide deposits will be performed by RU Marani. All these new investigations and researches could give a better comprehensive view of the failure mechanisms which drive the SdF slope instability and of its relationship with periodic recharge of the shallow feeding system.

We envisage a strong collaboration between all these groups, which will allow to correlate field data with numerical modelling and with monitoring data. This is not a common procedure because

it requires a complete knowledge of data coming from several different methodologies and from different groups of research, which must really cooperate. By the comparison and correlation between all these data it will be possible to validate simulations, modelling and interpretations. We remind that instability of Sciara del Fuoco, even for small landslides, represents a high hazard for the coasts of Stromboli, of the other Aeolian Islands, as well as for the southern Italian coasts of the peninsula and of Sicily. Landslides also of moderate size can produce tsunami whose recurrence can be very much higher than previously thought.

Task 4. Studies aimed at understanding the circulation of fluids

UR Corrado Cigolini, Università di Torino

Geochemical studies will be aimed at a better understanding of the transfer mechanisms of the magmatic gases from the deep system towards the surface and the individuation of interaction mechanisms with surface structures. These will be achieved by the works of a series of RU dealing with gas measurements all over the islands and in the active plume. Radon will be measured with the use of E-PERM detectors, new in monitoring active volcanoes. These have the advantage of minimising the exposure time to 1-4 days, thus increasing the possibility of correlating radon emissions with variations in the volcanic activity. Data collection, coupled with tracketch detectors (LR115) to overcome short-term fluctuations in radon, will be deployed on all the island, thus completing the present network which covers only the NE side of the cone. This will give a comprehensive view of how the volcano undergoes degassing in respect to its structural and magma dynamics. For this purpose, these data will be correlated with the new fractures developed in the summit part of the island in the last years in cooperation with the Tibaldi RU, with the seismicity patterns in cooperation with the Ripepe RU, and with other gas fluxes surveyed in the plume outpoured from the active craters in cooperation with the Burton RU.

Panarea

Task 5. Reconstruction of the explosive Holocene events and evaluation of the presence of a magmatic body in the area

Coordinatore Claudio Antonio Tranne
UR Claudio Antonio Tranne, Università di Bologna
UR Donatella de Rita, Università di Roma 3

Recent studies in the Panarea area have shown the presence of deposits attributable to younger explosive activity than believed to date. A better knowledge of the most recent volcanic activity will be achieved by field and laboratory analyses focused on the youngest products cropping out in the Panarea Island and in the various smaller conterminous islands (De Rita RU and Tranne RU). Stratigraphic reconstructions and absolute dating by radiometric techniques of the final explosive and effusive products will be carried out. Facies and sedimentological analyses will allow to define the eruption style and the degree of magma/water interaction. Particular attention will be given to the Palisi and Punta Falcone successions. These islets, in fact, have been interpreted as domes and are aligned along the main NE-striking fracture system whose prolongation coincides with the western margin of Stromboli. Considering that the recent degassing processes in the islets area and the last Stromboli eruption occurred contemporaneously, it is very important to know the exact stratigraphic position of these domes. Isotopic studies will also be performed on these recent products, in order to collect information on the different magmatic events. He/He ratios will be useful not only to know the isotopic composition of the most recent eruptions of Panarea, but also

to interpret the He/He values measured in the fumarolic gases emitted in the islet zone. This will be useful also to understand if these gases have or not a direct magmatic provenience.

We wish to highlight that an oceanographic cruise for geophysical prospecting on the possible presence of a magmatic body in the area east of Panarea has been taken into consideration. This has not been included in the present project for budget reasons as well as because the depth of the seabottom in the area is too low for the presently available vessels.

Task 6. Definition of the conditions leading to the development of the fracture field of the 2002-03 crisis along the Panarea-Stromboli axis

UR Massimo Mattei, Università ROMA TRE

At the end of 2002 there were various volcanic and deformation phenomena in the area of Panarea-Stromboli. The temporal coincidence of the phenomenologies and the breadth of the area affected pose notable questions on the causes and dynamics of the processes. In order to evaluate the possible causes triggering the NE-striking fracturing between Panarea and Stromboli, we want to study the influence of the regional tectonics on the local stress/deformations fields of eastern Aeolian islands through the integrations of numeric, analogue and real data (Mattei RU). New field structural data will be collected in the Panarea area and integrated with the data already mapped at Stromboli. These data will be correlated with the ones concerning the historical and instrumental seismicity of the eastern Aeolian archipelago. Published gravimetric, bathymetric and earthquake focal mechanism data will also be considered in order to define the Quaternary tectonic structures and kinematics of the area. All these data will be integrated into numerical modelling based on the Coulomb stress models. These models, widely used to minimise seismic and volcanic hazards, permit to understand the stress changes related to the activity of a fault, a dike, or an inflation source, taking also into account for mechanical heterogeneities and topography. The research group responsible for this task will strongly interact and take account of the on-going results, which will be reached in particular in the context of task 7.

Task 7. Studies aimed at understanding fluid circulation

UR Bruno Capaccioni, Università of Urbino

The Panarea crisis of November 2002 has led to a notable increase in the geochemical activity following the submarine escalation east of the island, in the Lisca Bianca-Dattilo-Bottaro area. Monitoring of the emitted gases has been carried out during this crisis. We want to ensure a prosecution of this monitoring activity as well as to formulate models based on fluid circulation also on the post-2002 data set. A detailed mapping of submarine gas emanations will be carried out by an IR Laser system (RU Capaccioni). In situ measurements (pH, temperature) and collection of gas samples by scuba-diving will be performed. Helium isotope ratios will be analysed from gas samples collected in submarine and sub-aerial conditions. In order to improve the comprehension of the meaning of the geochemical composition of these gases, as already describe above, isotopic data on He/He of the main magmatic products of the Panarea eruptive complex will be correlated. The geochemical aspects linked with the interaction between gas of magmatic origin and/or geothermics with sea water will also be investigated. A comparative analysis of thermo- and redox-sensitive inorganic and organic compounds will allow to better understand the chemical-physical processes acting in the hydrothermal feeding system and their spatial and temporal variability.

4. List of deliverables

Stromboli

Task 1. Studies and investigations aimed at the reconstruction of the present structure of the volcano and its feeding system (Stromboli)

1. Structural models of the volcano
2. Distribution map of Holocene dikes
3. Distribution map of lava flows from Holocene fissure
4. Scenarios of preferential diking in the cone based volcano and the various possible dike parameters
5. 2D seismic tomography sections of the volcano
6. Identification of the main deep discontinuities

Task 2. Evaluation of the dangers of effusive and explosive activity (Stromboli)

1. Reconstruction of eruption history and dating of the principal Holocene explosive events
2. Characterisation of the main explosive Holocene eruptions and reconstruction of their eruptive dynamics
3. Evaluation of the occurrence frequency of volcanic events.
4. Sampling and mapping of the products of ordinary activity and products emitted during past modern paroxysms
5. Laboratory measurements on magma properties
6. Relationships between eruptive dynamics and surface feeding system of the volcano
7. Evaluation of the trigger mechanisms of paroxysmic eruptions; analysis of current activity.
8. Broadening of the analysis techniques of low frequency signals (tremor, explosion quakes, LP and VLP) also in terms of automatic processing
9. Deformation fields induced by recharging phenomena in the diverse levels of magma “storage” at Stromboli by means of ground deformations data.
10. Modelling of strain fields caused by the action of the conduit/s, and simulation of expected deformation fields
11. Models of simulation of the eruptive processes
12. Study of the seismicity associated with strong explosions aimed at constraining the variations at depth of the fragmentation level

Task 3. Evaluation of possible scenarios of deformation and dynamics of the Sciara del Fuoco (Stromboli)

1. Expected deformation scenarios of the SdF on the grounds of possible casuistic
2. Determination of the thermal, hydrothermal and pore pressure contributions on the instability of the SdF
3. Evaluation of the hazard linked to the dynamics of the SdF slope.

Task 4. Studies aimed at understanding the circulation of fluids

1. Data sets on geochemical discharge
2. Formulation of geochemical models on the relationships between the geothermic system and the gas interchange with the deeper magma sources.

Panarea

Task 5. Reconstruction of the explosive Holocene events and evaluation of the presence of a magmatic body in the area

1. map of the distribution of the most recent explosive/effusive products
2. dating of the main most recent volcanic events
3. characterisation of the eruptions and reconstruction of the eruptive dynamics

Task 6. Definition of the conditions leading to the development of the fracture field of the 2002-03 crisis along the Panarea-Stromboli axis

1. map of the late-Quaternary regional structures
2. map of the regional/local stress field
3. fracture models of the area

Task 7. Studies aimed at understanding fluid circulation

1. models of fluid circulation in the area
2. models of the cause of the crisis of 2002

PROJECT V2 – STROMBOLI AND PANAREA

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsibilities	Task1 Stromboli Present Structure and feeding system	Task2 Stromboli Eruptive dangers	Task3 Stromboli Sciara del Fuoco	Task4 Stromboli Fluid circulation	Task5 Panarea Eruptive history	Task6 Panarea Fracturing	Task7 Panarea Fluid circulation	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	INGV-CT, INGV-OV, UniMI, CNR-IDPA	Calvari, Orsi, Gropelli	@							58	
UR-2	UniMiB, UniIns, UniUrb, UniFi, UniRoma Tre, Acad. NAUK (RU)	Tibaldi, Pasquarè	@							50	17 (UniMi B)
UR-3	INGV-CNT, INGV-CT, INGV-OV, INGV-Rm1, UniFi	Castellano, Chiarabba, Bianco, Pino, D'Auria, Martini, D'Anna	@							75	
UR-4	INGV-CT, INGV-CNT	Patanè, De Gori	@							29	
UR-5	INGV-Rm2, INGV-Rm1, UniAix (FR)	Speranza, Sagnotti		@						24	
UR-6	UniFi, CNR-IGG, GZG-Goettingen (D), UniDarham (UK)	Francalanci, Tommasini, Vagelli, Heumann		@						61	
UR-7	INGV-CT, CNRS (FR), UniBristol (UK)	Andronico, Burton, Corsaro, Allard		@						59	
UR-8	INGV-Rm1	Scarlato, Taddeucci, Freda		@						20	
UR-9	INGV-Rm1, UniPi, CNRS (FR)	Bertagnini, Landi, Pompilio, Metrich		@						40	

UR-10	UniPi, INGV- Rm1, UniCa, CNRS (FR)	Rosi		@						38	
UR-11	UniFi, INOA Fi, UniHawaii (USA), UniAlaska (USA)	Ripepe, Harris		@						48	12 (UniFi)
UR-12	INGV- OV, CNR- IAC, USGS, UniLancas ter (UK)	D'Auria		@						30	
UR-13	INGV- Rm2, CNR- ISMAR	Favali		@						28	24 (Borsa di Studio INGV- Rm2)
UR-14	INGV-CT, UCSD (USA), INGV- Rm1	Mattia		@						36	
UR-15	INGV- Rm1, UniPi, SNS-Pi, INGV-OV	Papale, Longo, Barsanti		@						31	
UR-16	UniFi, UniCt, INGV-CT, IPSC- SERAC,	Casagli, Nunnari, Puglisi, Fortuny			@					36	36 (UniFi)
UR-17	UniMi, UniMiB, UniUrb	Apuani, Beretta, Sfrondini, Cancelli			@					29	12 (UniMi)
UR-18	UniUrb, UniPar, UniCopen aghen (DK)	Renzulli, Mattioli, Santi, Salvioli- Mariani, Tribaudino, Serri, Venturelli			@					86	10 (UniUrb)
UR-19	ISMAR- CNR, UniCt	Marani, Gamberi, DI Stefano			@					60	
UR-20	UniTo, UniMi, OpenUni (UK)	Cigolini, Gervino, Bonetti, Callegari, Blake				@				48	10 (UniTo)
UR-21	UniBo, INGV- OV, UniTo, Uni- Freiburg (D)	Tranne, De Astis, Lucchi					@			27	
UR-22	UniRmTr, Ismar, UniBo	De Rita, Dolfi, Gasparini					@			64	12 (UniRm Tre)

PROJECT V2 – STROMBOLI AND PANAREA

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
					Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
			2005	2006	2005	2006	2005	2006				
UR-1	INGV-CT	Calvari			1500	5000	1500	5000	12000	10000		
UR-2	UNIMiB	Tibaldi	8000	15000	4250	4000	1500	1500	1600	2150		
UR-3	INGV-CNT	Castellano				5000			3000	78000	5000	
UR-4	INGV-CT	Patanè			1500	2000	2500	3000	3000	5000	2000	
UR-5	INGV-Rm2	Speranza			6000	4000	2500	4500	1000	1000	3500	2500
UR-6	UniFi	Francalano			3000	3000		2000	8000	9000		
UR-7	INGV-CT	Andronico			2000	2000	6000	6000	6000	6000	2500	
UR-8	INGV-Rm1	Scarlato			4000	4000	1000		8000	2000	1000	
UR-9	INGV-Rm1	Bertagnini			4000	4000	1000	1000	10000	10000		
UR-10	UniPi	Rosi			2500	3500	1500	1500	9000	9000		
UR-11	UniFi	Ripepe		18000	3000		3000		1000		2000	
UR-12	INGV-OV	D'Auria			1500	1500	10500	10500	3500	3500		
UR-13	INGV-Rm2	Favali'			2000	2500		2000	4000	5500		
UR-14	INGV-CT	Mattia			3000	1500	8000	3000	15000	4500		
UR-15	INGV-Rm1	Papale			2500	2000	2000	2500	6000	6000	3000	3000
UR-16	UniFi	Casagli	30000	17000								
UR-17	UniMi	Apuani	15000		3650	4000		2700	12150	500		
UR-18	UniUrb	Renzulli		14000	3500	2500	2500		6000	1500	6000	
UR-19	CNR-ISMAR	Marani			200	1250	800	1750		15000		
UR-20	UniTo	Cigolini	7000	7000	3000	2000		1000	500	500	2000	
UR-21	UniBo	Tranne			6500	3500	1500	500	3000	6000		
UR-22	UniRmTre	De Rita	8000	8000	2000	1000	1500	2500	5500	5500		
UR-23	UniRmTre	Mattei	18000		2000	2000	1000	1000		1000	2000	
UR-24	UniUrb	Capaccioni			13000	6000		3000	3000	1000		
		TOTALE	86000	79000	74600	66250	48300	54950	121250	182650	29000	5500
GRAN TOTALE: 747500												

PROJECT V3

Research on active volcanoes, precursors,
scenarios, hazard and risk

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Research on active volcanoes, precursors, scenarios, hazard and risk

Responsibles:

Paolo Papale, Research Director, INGV sez. Roma1 “Sismologia e Tettonofisica”, Via della Faggiola 32, 56126 Pisa. Tel: 050 8311931, Fax 050 8311942. papale@pi.ingv.it.

Stefano Gresta, Associate Professor, Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania, Corso Italia 57, 95129 Catania. Tel. 095 7195709, Fax 095 7195728, gresta@unict.it

Project Organization

The project is organized in seven sub-projects, each related to a volcanic area in Italy for which research within the project is foreseen. Due to practical difficulty in keeping a close coordination of such a huge project, we propose to be supported by sub-project coordinators, selected among the researchers involved in each sub-project, and who are recognised by the scientific community to have significant skills in that specific volcanic area, as well as coordination capabilities. Sub-project coordinators will keep a closer control and coordination of the activities in their specific volcanic area, will represent the V3 project responsables in front of sub-project participants, and will provide transfer of information between the project responsables and participants. V3 project responsables reported above keep the general responsibility and coordination of the whole V3 project, and also act as sub-project responsables for the volcanic areas on which their scientific participation is maximum. The proposed sub-project coordinators already gave invaluable help and support to project responsables in defining the scientific themes and requested deliverables, and managing the organization of each sub-project during the various phases of project preparation.

The seven volcanic areas (and related sub-project number), and the proposed sub-project coordinators are reported in the Table below.

V3 Project Organization		
Sub-Project Number	Sub-Project Name	Proposed Coordinators
V3_1	Colli Albani	Piergiorgio Scarlato, INGV Roma1 Mario Gaeta, Univ. Roma1
V3_2	Campi Flegrei	Paolo Papale, INGV Roma1 Lucia Civetta, Univ. Napoli and INGV-OV Napoli
V3_3	Ischia	Giovanni Orsi, INGV-OV Napoli Alessandro Aiuppa, Univ. Palermo
V3_4	Vesuvio	Edoardo Del Pezzo, INGV-OV Raffaello Cioni, Univ. Cagliari
V3_5	Vulcano	Gianfilippo De Astis, INGV-OV Piero Dellino, Univ. Bari
V3_6	Etna	Stefano Gresta, Univ. Catania Augusto Neri, INGV Roma1 Ciro Del Negro, INGV-CT
V3_7	Pantelleria	Walter D'Alessandro, INGV-PA Luigi Tortrici, Univ. Catania

Objective of the project

The general objective of the whole V3 project is the definition of the criticality levels and the assessment of the volcanic hazard for the above seven active volcanoes. Criticality levels (or the associations of signs reflecting a change in the state of a volcano) and hazard are not simply a consequence of a better knowledge of the volcanic system, although in-depth knowledge of many different aspects of the system is strictly required. Rather, they are the subject of specific research in the project, and are represented by clearly identified research products.

Although criticality levels and hazard are the common objective of all V3 sub-projects, such an objective will be accomplished at different levels reflecting the different degree of knowledge at each volcano. The specificities of each volcano in terms of its typical activity and/or expected phenomena are also taken into account in the research development and project deliverables. In all cases the general project objectives will be pursued through a strongly coordinated interdisciplinary approach, with intermediate and final research products that according to the INGV-DPC Agreement, are globally the followings: 1) Definition of the feeding system; 2) Definition of the edifice and lithosphere structure; 3) Definition of the hydrologic and geothermal system; 4) Identification and quantification of precursors; 5) Physical modelling and numerical simulation of pre-eruptive processes; 6) Estimate of the typology and scale of expected eruptive events; 7) Reconstruction of the eruptive history through the study of the volcanic deposits; 8) Probability associated with the scale and typology of expected eruptive events; 9) Physico-numerical simulation of sin- and post-eruptive processes; 10) Estimate of volcanic hazard.

The detailed description of the activities foreseen in project V3 and of the expected deliverables, and the details of the financial request and participating RU's, are reported in the following, within the description of each single sub-project. The Table below shows in a synthetic way the financial request under Project V3, divided in sub-projects and year of funding.

Table of financial request per sub-project within Project V3.

Sub-Project	Financial Request 2005 (keuro)	Financial Request 2006 (keuro)	Financial Request, Total (keuro)	Percent of Financial Request
V3 1. Colli Albani	349.5	295.5	645	14.9
V3 2. Campi Flegrei	425	409.5	834.5	19.3
V3 3. Ischia	205.5	193.5	399	9.21
V3 4. Vesuvio	335.5	307	642.5	14.8
V3 5. Vulcano	218.5	186	404.5	9.33
V3 6. Etna	576	563.5	1139.5	26.3
V3 7. Pantelleria	138.5	131	269.5	6.22
Total V3	2248.5	2086	4334.5	100

PROJECT V3

Sub-Project V3_1 – Colli Albani

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-Project V3_1 – Colli Albani

Coordinators:

Piergiorgio Scarlato, Primo Ricercatore, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via di Vigna Murata 605 - 00143, Roma, scarlato@ingv.it tel +390651860437, fax +390651860507

Mario Gaeta, Ricercatore, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, P.le Aldo Moro 5 - 00185 Roma, mario.gaeta@uniroma1.it, tel +390649914916, fax +39064454729

State of the Art

The Colli Albani is a quiescent Volcanic District that belongs to the potassic and ultrapotassic Roman Magmatic Province, a northwest-trending chain of volcanoes that developed along the Tyrrhenian Sea margin of Italy during middle and late Pleistocene time.

The volcanic history of the Colli Albani Volcanic District is volumetrically dominated by the explosive eruptive activity of the so-called Tuscolano-Artemisio Phase which started 561 ka and ended 366 ka. At least five large (tens of km³) pyroclastic-flow deposits together with a significant (approximately 2 km³) lava flow, were emplaced during the Tuscolano-Artemisio Phase. The formation of a caldera marked the end of this phase of activity. After about 50 kyr of dormancy, a mainly effusive activity took place from 308 to 250 ka; this mainly effusive period was accompanied by strombolian activity at the Monte delle Faete Edifice, situated near the centre of the caldera, and by sub-volcanic activity in the peripheral centers. After another dormancy period of about 50 kyr, a mainly hydromagmatic phase, characterized by pyroclastic-surge eruptions from multiple tuff rings and by the lack of effusive events, started in several centres located to the southwest of the Monte delle Faete Edifice. The Albano maar (<70 ka) represents the most recent and voluminous activity of this phase and cannot be considered extinguished yet.

The primitive Colli Albani magmas is thought to result from the combined effects of crystal fractionation and crustal assimilation on a parental magma derived from a source mantle consisting of a phlogopite-bearing peridotite previously metasomatized by subduction-related fluids or melts. The volcanic products from Colli Albani are ultrapotassic and characterized by a narrow SiO₂ and alkali range, high LREE/HREE ratio, high ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr initial ratio and plagioclase-free paragenesis. On the basis of low SiO₂ and the constant radiogenic isotope ratio Colli Albani magmas were interpreted to be primitive magmas. The difficulty in understanding the petrological evolution of the Colli Albani magmas was due to the unusual SiO₂ depletion of residual melts, to the rare glass-bearing juvenile products and to the scarcity of primitive olivine-bearing cumulate. Plumbing systems of the Roman Province volcanoes emplaced into continental crust, and recent studies demonstrated that the petrogenetic processes in the Colli Albani plumbing system are strongly affected by the high CO₂, Ca, and O₂ activities due to the presence of carbonatic rocks around magma chambers. These studies also suggest a change in the geochemical features of the youngest Colli Albani primitive magmas. This can be interpreted as the exhaustion of the metasomatic phlogopite-bearing veins in the mantle or, alternatively, as a higher degree of partial melting involving the normal peridotitic component of the metasomatised source resulting in a rejuvenation of the plumbing system. In terms of modeling long terms hazard related to volcanic eruptions, it is mandatory to discern between the two hypothesis. Moreover the decarbonation processes occurring at high pressure in a plumbing system emplaced in thick carbonatic rocks can affect the phase equilibria of the primary magmas. Previous works suggest that interaction between magmas and

wall rocks can trigger decarbonation processes resulting in diffusion transport of CO₂ in both, the magmatic system, having effects on the differentiation processes, and in the country rocks with possibly effects on the regional degassing.

The Colli Albani Volcanic District, indeed, is presently characterized by a steady-state diffuse exhalation of natural gases from soils and aquifers. These gases were interpreted as geochemical manifestations, at surface, of a the deep volcanic system, still active. Carbon dioxide is the main released gas together with minor amounts of ²²²Rn, H₂S, He, and trace gases. In 1995 following an episode of strong degassing in water wells and soils, a geochemical micro-zonation hazard assessment was performed. The carbon dioxide turned out to be an excellent marker of faults because acting as pathways for deep fluids. Moreover, anomalous degassing areas were found to be coincident with gravity positive anomaly, drawing at surface, with their geometry the deep structures. Unfortunately this detailed study was carried out only in a small portion of the Colli Albani and the available geochemical data are not useful neither to individuate the areas affected by intense degassing nor to develop a model for the deep fluid circulation or to define the narrow relationships between anomalous degassing and faults.

The crustal structure and seismogenic processes at Colli Albani have been investigated after the 1989-90 seismic swarm. Recent studies have improved the knowledge on the crust and on the state of stress beneath the volcano but the debate on the existence, location and geometry of the magma chamber is still open. The seismic tomography of the upper crust reveals high V_p and V_p/V_s bodies between 3 and 5 km depth beneath the area where the most recent activity occurred. The anomalies were interpreted as solidified magma bodies intruded in the past volcano activity. The seismicity is mainly located around it suggesting that the main volcanic source is located within the intrusive mass. The lack of low velocity anomalies interpretable as molten material suggests that magma reservoir is too small to be detectable by P-wave velocities or that is at greater depth. A teleseismic model down to 22 km depth reveals a high velocity body beneath the Monte delle Faete cone between 5 and 15 km depths, interpreted as a solid magma reservoir, flanked on the western side of the district by a low velocity anomaly, expression of molten material, probably responsible of the recent eruptions. The seismicity in the area is concentrated between 3 and 6 km depth, defining a 12 km NW-SE elongated area, passing through the Albano and Nemi lakes.

Also the strong uplift revealed in the Albano and Nemi lakes region by geodetic data suggests that deep processes are strongly active beneath the NW sector of the volcano. The recent use of geodetic techniques like GPS, high precision leveling SAR, and gravity surveys detected significant ground deformation in the Colli Albani area. Since 1981 data were collected showing significant gravity changes. The InSAR PS technique shows that the zone around the most recent craters of Albano and Nemi underwent, between 1992 and 2000, a steady uplift with rates up to 4 mm/yr. A minor uplift in the Solfotara area and a subsiding area near Marino, of unknown origin (aquifer depletion?) are evidenced. The ground velocity seems to be high also in the southern area of Colli Albani but the lack of data does not allow evaluating the total extent of the uplifting in the southern area.

The area surrounding the Albano Maar Lake, currently is the one most strongly characterized by the occurrence of geophysical and geochemical manifestation of a still-active subvolcanic system which are hazard factors for the resident population. This area is the locus of the most recent magmatic and non-magmatic volcanic activity, including hydromagmatic and possible phreatic and hydrothermal eruptions, as well as secondary mass flows, whose modes and times are still debated. Moreover, the Albano Maar presently hosts the deepest crater lake (-173 m) in Italy. A stratified structure of lake water, with carbon dioxide accumulation at the base, is already known, and must be further studied for its potential hazardousness. Moreover, the inner slopes of the lake are very steep and recent studies indicated that some human structures and infrastructures are exposed to landslide hazard. However there are no rigorous computations of landslide hazard neither quantitative data on the expected landslide intensity.

Description of Activities

The Colli Albani Volcanic District has been identified as a quiescent volcano only recently, and, for this reason, received relatively less attention in respect to other, historically active, volcanoes of Italy. The present project is the first one specifically oriented to a future definition of potential hazards and crisis levels at Colli Albani. Considering gas emissions, seismic swarms, and ground deformation as the most compelling activities of the District, and starting from the actual level of knowledge, this project gives priority to four topics: 1) the evolution and current state of the magmatic system, including the presence and location of possible magma chambers and the role on magmatic processes on the origin of surface gas output; 2) the genesis and mobility of hazardous gases in ground and surface water bodies, degassing cycles, and effects on degassing of anthropic hydrological perturbations; 3) the deep setting of the District and the source of seismicity and regional-scale ground deformation; 4) the dynamics of the District at shallow and surface levels and their interferences with human activities, including local-scale ground deformation, stress field, slope stability, recent eruptive processes, crater lake evolution, quaternary mass flows. These four priorities/Tasks will illuminate the causes of present hazards and serve as a base for further, risk-oriented investigations.

Task 1 Magmatic System

Coordinating: RU1 Gaeta (Università di Roma “La Sapienza”)

Participating: RU2 Scarlato (INGV)

In order to investigate the evolution and current state of the magmatic system, the first step will be to sample and analyze primitive lava flows and ultramafic ejecta outcropping in the area. Combining modal and geochemical features of collected samples it will be possible to define the most probable primary magmas and possibly also the primitive one. Once defined the composition of the primary magma and that of the most probable source for the Colli Albani magmas, these compositions will be used as starting material to experimentally constrain the high pressure processes occurring in the plumbing system, and to model the melting processes occurring in a metasomatized mantle, respectively. These data will give constraints on the definition of the geometry and P-T conditions of the source in the structural domain for Task 3. Moreover, by combining petrological information coming from juvenile products, hypoabyssal rocks, glasses and melt inclusions we will define the liquid line of descent and model the differentiation processes. Once defined the possible parental composition of the Colli Albani liquid line of descent, experiments will be performed at subvolcanic pressure and liquidus temperature under high CO₂ fugacity conditions in order to model the processes controlling the peculiar liquid line of descent of Colli Albani magmas, and experimentally constraints the role of CO₂ in the evolution of Colli Albani magmas. In particular, to define the role of magmatic processes on the origin of surface gas output, the processes occurring at the magma/wall rock interface will be experimentally studied throughout decarbonation experiments on primary and parental compositions. The experiments will be performed at volatile buffered conditions, low and high pressures and variable temperatures. High pressure experiments performed on primary composition will give information on the deep portion of the plumbing system (i.e., the magma pool at the base on the carbonatic units) while the low pressure ones, performed on parental compositions, will constraints the environment at shallow levels of the plumbing system (i.e., the magma chamber. In particular, the experiments will give information on the melt composition and liquidus phase stability under Ca and CO₂ high activities and thus they will allow to crosscheck the composition of the Colli Albani parental magma as resulted from petrological studies. Chemical exchanges between carbonate and primary Colli Albani magma should leave in the resulting magma some specific anomalies in trace elements that will be measured on experimental and natural products. Finally, from the decarbonation experiments it can be estimated the amount of CO₂ involved in the decarbonation process and the

amount of CO₂ that will escape and eventually reach the surface. We will experimentally constrain the rate of CO₂ released during the carbonate-magma exchange by investigating the rate of calcite dissolution at high pressure and temperature. These results, will permit the interpretation of CO₂ fluxes measured at the surface by Task 2. High pressure experiments will be performed in a piston cylinder at the INGV; low pressure experiments will be performed in an IHPV at the ISTO (Orleans) and at the University of Hannover (Germany). Analyses of natural and experimental products will be performed with different methods such as ICP-MS laser ablation, EMPA, SIMS, FTIR, KFT, and SEM.

Task 2 Water Geochemistry

Coordinating: RU3 Pizzino (INGV)

Participating: RU4 Carapezza (INGV), RU5 Tuccimei (Università di Roma Tre)

The area of the Colli Albani is presently characterised by a steady state diffuse exhalation of natural gases from soils and aquifers. These gases represent the geochemical manifestation, at surface, of the deep volcanic system, still active. Carbon Dioxide is the main released gas, together with minor amounts of ²²²Rn, H₂S, He and other trace gases, and constitutes actually the main dangerous phenomena for the local population.

This Task will be devoted to study: 1) the chemical-physical characteristics of ground and lake waters in the Colli Albani domain, individuating both the different existing water's families and/or aquifers (shallow and deep); 2) the effect of the groundwater depletion on the concentration of gas dissolved in ground and surface waters; 3) the chemical-physical characterisation of gas phases in order to define their origin and the interaction processes with rocks and waters, 4) definition of P and T conditions of the geothermal reservoir; 5) the cyclicity of deep gas release.

For the studies 1), 2), 3), and 4), 200 private and public springs and wells will be analysed in the Colli Albani area and surroundings; on each site chemical-physical parameters (temperature and salinity, by a conductivity-meter, pH and redox potential by potentiometry), alkalinity (by titration with HCl) as well as dissolved radon content (by alpha and gamma radio-nuclides detection methods) will be measured in the field. Basing on these data, 50 sites will be individuated for the laboratory analyses of major elements (by ionic chromatography), selected minor and trace elements of geo-tectonic interest (SiO₂, Li, B, Br and Sr by IC-Plasma), dissolved gases and isotopic composition of strategic elements. ³He/⁴He and ¹²C/¹³C isotopic ratios will be measured. The aquifer static level will be also measured.

Geochemical campaigns on Albano and Nemi Lakes, temporarily distributed so to cover the main seasons in order to study the possible influence on the water chemistry of seasonal environmental variations will be performed. Samples of deep waters will be collected and chemically and isotopically analysed. Water isotopic composition (δ¹³C of total dissolved carbon, oxygen and deuterium) will be determined as well as the ³He/⁴He isotopic ratio of dissolved helium, provided that enough He and Rn concentration will be found. The chemical and isotopic composition of the dissolved gas phase will be compared with that of the free gas released from the soil in zones of high emission (e.g. Cava dei Selci, Solforata) in order to investigate the gas origin and the possible occurrence of interaction processes of rising fluids with rocks and waters.

For the studies 5), evidences of deep CO₂ periodic release in the area of Colli Albani volcano are offered from U-series disequilibria dates and O and C isotopic composition analyses of speleothems from a Roman-age quarry. These analyses also showed that periods of deposition interrupted by episodes of CO₂ release at the Colli Albani are connected with earthquakes. This research will be extended to other sites all over the Colli Albani area such as natural or artificial cavities where recent carbonatic deposits have been found, aiming to define the timing of deep gas release connected with seismicity in the area. The research will be integrated with the present day study of the hydrogeological setting and the geochemical characterisation of the ground water in the

investigated sites. This represents the background conditions that can be modified by the rock deformation preceding an earthquake. The bulk of these data represents a contribution to model the hydrothermal circuit of the Colli Albani volcanic area as well as the assessment of the end members of the mixing processes between the ground water and the fluid from the Earth interior.

Other researches useful for this task will be performed in the V5 project and the results will be integrated and compared with those obtained in this project (see V5 RU Carapezza).

Task 3 Structure of the Lithosphere Underlying the Volcanic District

Coordinating: RU6 De Gori (INGV)

Participating: RU7 Poe (Università di Chieti, INGV)

In order to define the deep setting of the Colli Albani Volcanic District and the sources of seismicity, a passive seismic experiments will be carried out by using a temporary array of at least 20 digital seismic stations, continuously recording, equipped with 5 s or broad band seismometers. The goal of the experiment is to record teleseismic, regional events, and, if any, the background seismicity, and to create a seismic waveforms database suitable for seismological studies. The seismic data, will be then used to obtain a V_p and V_s model of the crust and uppermost mantle and the horizontal components of the teleseismic waveforms, in particular, will be used to interpret converted S phases from the discontinuities with strongest impedance contrasts (i.e. the Moho and the main mantle discontinuities). In a volcanic environment, indeed, this approach is very important in order to study the geometry of the magmatic and intrusive bodies. Furthermore, the creation of a V_s model obtained by the inversion of receiver functions will give us the opportunity of better define the rheology of the volcanic plumbing system in terms of Poisson ratio. New detailed images of the crustal structure will be also obtained by seismic tomography. The joint analysis of V_p , V_p/V_s , and attenuation results will allow to better recognize the crustal heterogeneities, the volumes of magma accumulation or region with a high degree of saturation. All the results referring to the geometry and position of magmatic bodies will be crosschecked with the experimental studies performed on the plumbing system by Task 1 and the V_p and V_s recovered by the seismic tomography will be compared with values obtained on sample rocks by laboratory procedures in order to strengthen the final interpretations. All experimental work regarding the V_p , V_s data will be carried out in the HP-HT Laboratory of INGV in Rome by using a multi anvil apparatus. It will be developed a methodology for the measurement of ultrasonic wave velocities in rocks over a wide range of P and T. Travel to a high-pressure X-ray beamline at either Spring-8 (Japan) or Advanced Photon Source (USA) is requested in order to verify the length (P,T) surface under identical P,T conditions using identical high P assemblies. Moreover, complex impedance spectroscopy will be performed on rocks representative of the Colli Albani magma and of the wall rocks. Some experiments will be preceded by rehydration of volcanic rocks to assess the influence of dissolved water on magma electrical conductivity. Other experiments will involve re-equilibration of the starting materials at varying P, T conditions in order to determine the influence of melt content on bulk conductivity. Forward modelling of the conductivity data will be used to generate 1-D and 2-D apparent resistivity sections for different magma/wall rock configurations.

Task 4 Structure and Dynamics of the Volcanic District

Coordinating: RU8 Riguzzi (INGV)

Participating: RU9 Mariucci (INGV), RU10 Giordano (Università di Roma Tre), RU11 Taddeucci (INGV), RU12 Bozzano (Università di Roma “La Sapienza”), RU13 Marra (INGV)

This Task will focus on recent and current processes occurring at shallow level, either within the volcanic pile or at its surface. However, both gathering the necessary input data and interpreting

the results will require a strong cooperation with the other Tasks, in particular with Task 3 on the structure of the deeper part of the area.

Different geodetic techniques, like GPS, high precision leveling, PS-InSAR and gravity surveys, will be used to estimate spatial and temporal distribution of the velocity field and 3D deformation of the area, providing deliverables that will integrate with those achieved by Task 3 in defining the nature and location of the source of seismic and ground deformation. GPS surveys will be carried out to assess reliable horizontal velocity and strain fields. To compute, for the first time at a volcanic area, the absolute values of stress principal axes, hydrofrac tests will be performed in two drillings in key areas of the volcanic district. The two boreholes will also allow to characterize the geo-mechanical behavior of drilled rocks.

Data from deep and shallow boreholes, together with gravity data and systematic study of lithic distribution and types in hydromagmatic pyroclastics, will serve to reconstruct the sub-surface setting of the Colli Albani maar-diatreme system. Moreover, the relative abundance and physical-petrographic features of lithic clasts will illuminate the volume of magma driving hydromagmatic eruptions, the thermal-geochemical environment of the substratum at the time of the eruption, the maximum depth and width of crater excavation, and the possible occurrence and intensity of phreatic and hydrothermal eruptions, the latter favoured at Colli Albani by the presence of “noncondensable” phases like CO₂ and of impermeable caprock covers. To define the vertical and horizontal pathways for endogenous fluid and to find areas prone to gas emissions, field surveys and well log analyses will define the geometry of rock formations and the geometrical-structural relationships among them. The secondary (tectonic) porosity-permeability will be reconstructed by defining the three-dimensional network of faults and fractures.

The study on the fracturation bears also implication on the stability and permeability of the slope of the Albano lake. To cope with landslide hazard in coastal slopes, it is necessary to know if the landslide mass could arrive in the water, how large could be landslide volume and mass, its grain-size composition and the velocity at the impact moment. These are input data for the assessment the landslide tsunamigenic potential in the Albano lake, and will be assessed using geomorphological and aerial photo surveys, GIS-implemented slope analysis, geomechanical characterization by laboratory and/or site tests, and 3D numerical simulation of slope stability. The current DTM of the area does not include the bathymetry of Albano lake, thus producing a lack of important information about possible landslide bodies or sub-lacustrine gas emission centers. The bathymetry of the lake will be acquired coupling a differential based GPS system with a multi-beam echo-sounder. A laser scan survey will be performed along the shorelines of the Albano lake to connect the bathymetry to the DTM.

To define the chronology of recent catastrophic, volcanic events in the Albano area, palaeomagnetic investigations, ¹⁴C and ⁴⁰Ar/³⁹Ar dates, and geo-archaeological investigation of both outcropping, excavated, and drilled sections will elucidate the possible relationship between primary and/or reworked volcanic products and archaeological elements which may provide further useful chronological constraints and information about the type and extent of the potential impact of the recent activity on human settlement.

Deliverables

Task 1 Magmatic System

Definition of the primary magmas - Modelling of the mantle source characteristics of the magmas - Definition of the liquid line of descent and modeling of the differentiation processes - Determination of the amount of volatile in the plumbing system through the study of melt inclusions - Evaluation of the amount of CO₂ involved in the decarbonation process and estimate of the amount of CO₂ that possibly escape from the wall rocks and eventually reach the surface.

Task 2 Water Geochemistry

Chemical-physical characterization of gas phases of the Albano Lake and ground waters - pCO₂ and dissolved radon maps - Individuation and classification of existing aquifers - Chemical-physical characterization, origin, and interaction with rocks and waters of the gas phases - Determination of gas sources - Definition of mixing processes between aquifers and reconstruction of the chemical evolution of waters and hydrologic paths - Definition of P-T conditions of the geothermal reservoir/s - Definition of the relationships between stratigraphic and structural setting and upwelling endogeneous fluids - Vertical profiles of T, pH, Eh, Conductivity, and dissolved O₂, chemical and isotopic analyses of water of Albano and Nemi lakes - Identification, quantification and cyclicity of geochemical anomalies.

Task 3 Structure of the lithosphere underlying the Volcanic District

Seismic waveforms database - Reconstruction of the geometry of the main discontinuities within the crust and the mantle - Teleseismic tomography of the crust and the upper mantle beneath the volcanic structure - Small scale reconstruction of the plumbing system by means of V_p, V_p/V_s, Q_p and Q_s tomography. Model of the source of local seismicity (if detected) - Universal methodology for the measurement of elastic properties of rocks under varying P, T conditions - Elastic and electrical properties of rocks at High Pressure and High Temperature.

Task 4 Structure and Dynamics of the Volcanic District

Spatial and temporal distribution of the velocity field and of 3D deformation - Gravity changes maps - Bouguer anomaly map - Ground velocity and displacement maps - Models of the sources of ground deformation - Definition of the orientation and intensity of the present stress field - maps of fractures and fractures density - Database of xenolith distribution and types - Definition of the stratigraphic and structural setting for the first 1.5 km from surface - Base map and isopach maps of layers impermeable to gas flow - Isopach maps of phreatomagmatic units - Calculation of volumes of deposits - Determination of the volume fraction of magma driving hydromagmatic eruptions - Identification of possible phreatic and hydrothermal eruptions and determination of their magnitude - Thermal, geochemical, and fracturing state of maar substratum - Reconstruction of the depth of excavation and volume of diatremes - Geomechanical characterization of slope rocks - Numerical simulation of slope stability - Definition of the expected slope movements - Test possibility of slope movements involving both the sub-aerial and the sub-lacustrine part of the slopes - Thematic map showing the relationship between archaeological sites and volcanic products - Absolute age of the latest primary and reworked volcanic deposits - Evaluation of the ethnostratigraphic position(s) and of the potential impact of the most recent volcanic activity on human settlements.

SUB-PROJECT V3_1 – COLLI ALBANI

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsibles	Task1 Magmatic system	Task2 Water geochemi stry	Task3 Deep litospheric structure	Task4 Shallow structure	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	UniRm1, INGV-Rm1, CNR-IGG, Uni- Hannover (D), UniPg, UniCam, Trinity College of Dublin (IR), ISTO- Orleans (FR)	Gaeta, Freda, Dallai, Peccerillo, Troll	@				46	20 (UniRm1)
UR-2	INGV-Rm1, UniRm1, UniRmTre, ISTO- Orleans (FR), UniPa, McGill Univ (CA), Trinity College of Dublin (IR), LVM- Clermont Ferrand (FR), Univ. Hannover (D), CNR- IGG	Scarlato, Freda, Dolfi, Gaillard, Baker, Troll	@				80	
UR-3	INGV-Rm1, INGV-PA	Pizzino		@			26	
UR-4	INGV-Rm1, UniRmTre, IGG-CNR, INGV-PA	Carapezza		@			24	
UR-5	UniRmTre	Tuccimei, Taddeucci, Delitala, Capelli		@			68	
UR-6	INGV-CNT, INGV-CT	De Gori, Chiarabba, Frepoli, Nostro			@		74	18 (borsa di studio INGV- CNT)
UR-7	UniChi, INGV-Rm1, UCL London (UK)	Poe			@		22	
UR-8	INGV-CNT, UniRm1, INGV-OV, INGV-Rm1	Riguzzi, Di Filippo, Anzidei, Salvi, Berrino				@	95	
UR-9	INGV-Rm1	Mariucci, Montone				@	15	
UR-10	UniRmTre, INGV-OV	Giordano, Faccenna				@	24	24 (UniRmTr e)

SUB-PROJECT V3_1 – COLLI ALBANI

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
					Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
			2005	2006	2005	2006	2005	2006				
UR-1	UniRm1	Gaeta	19000	8000	1500	1500	7000	3000	12000	8500	3500	2000
UR-2	INGV-Rm1	Scarlato ¹			1000	1000	7000	7000	17000	19000		
UR-3	INGV-Rm1	Pizzino			500	500			13500	18500		
UR-4	INGV-Rm1	Carapezza			2500	1000		1500	4000	5000	10000	
UR-5	UniRmTre	Tuccimei			500	1000	1000	1000	9500	9000		
UR-6	INGV-CNT	De Gori			3000	2000	3000	3000			4000	1000
UR-7	UniChi	Poe			500	500	2000	6500	7500	3000		
UR-8	INGV-CNT	Riguzzi ^{2,3}			16000	19000	4000	6000	67000	87000	3000	
UR-9	INGV-Rm1	Mariucci							67000	3000		
UR-10	UniRmTre	Giordano	19000	19000	3000	3000			4000	4000		
UR-11	INGV-Rm1	Taddeucci			1500	1500	5500	3500	3000	9500		3500
UR-12	UniRm1	Bozzano			3500	3000	2500	2000	12000	17000		
UR-13	INGV-Rm1	Marra			1500	3000			7500	8000		
		TOTALE	38000	27000	35000	37000	32000	33500	224000	191500	20500	6500
GRAN TOTALE: 645000												

¹14000 euros (7000 per year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to CNRS-ISTO (Orleans, FR) for research activities under the responsibility of F. Gaillard.

²14000 euros (6000 during first year, and 8000 during second year) under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the Gravimetry Group of Dip.to di Scienze della Terra, Univ. La Sapienza (Rome) for research activities under the responsibility of Prof. B. Toro.

³18000 euros (2000 during first year, and 16000 during second year) under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the Area di Geodesia e Geomatica at Dip.to di Idraulica Trasporti e Strade, Univ. La Sapienza (Rome) for research activities under the responsibility of Prof. M. Crespi.

PROJECT V3

Sub-Project V3_2 – Campi Flegrei

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-Project V3_2 – Campi Flegrei

Coordinators:

Paolo Papale, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sez. Roma1 “Sismologia e Tettonofisica”, via della Faggiola 32, 56126 Pisa. Tel 050 8311931, Fax 050 8311942, papale@pi.ingv.it

Lucia Civetta, Professore Ordinario, Osservatorio Vesuviano-INGV, Via Diocleziano 328 Napoli (Italy) and University of Napoli “Federico II”- Dip. Di Fisica. Tel.: +390816108441, Fax: +390816108344, civetta@ov.ingv.it

State of the Art

The Campi Flegrei caldera is a nested and resurgent structure. Its magmatic system is still active, with the last eruption occurred in AD 1538, widespread fumaroles and hot spring activity, and important unrest episodes in the last 30 years which caused a maximum net uplift of about 3.5 m in the Pozzuoli area. The volcanic hazard in the caldera area is extremely high, also because of its explosive character and the frequent occurrence in the past of high-magnitude high-intensity eruptions. Close to 1.5 million people live within the caldera, with about 350,000 living in its most active portion. Due to the high volcanic hazard and the intense urbanization of the active caldera portion and its surroundings, the volcanic risk is extremely high.

Research activity at Campi Flegrei during last years has been conducted at national and international levels. In particular, the investigation developed in the frame of the 3-year program launched in 2000 by GNV, and within several EU projects, has largely improved the level of knowledge at Campi Flegrei on many aspects including the caldera structure, the volcanic history, the distribution, characteristics, and significance of volcanic deposits, the compositional variability of the erupted magmas, the genesis of magmas and magma chamber processes, the determination of relevant magma properties, the eruption magnitude variation through time over the past 15 ka, the identification of possible low-, medium- and high-magnitude reference eruptions for the hazard studies, the elaboration of hazard maps for opening of a future vent, tephra fallout and pyroclastic currents flowage, the numerical simulation of eruptive scenarios, the definition and zoning of volcanic hazard, and many others. At the same time, new important results from recent tomographic campaigns are substantially modifying our view of the deep structure of Campi Flegrei caldera and size and location of shallow regions of magma storage, requiring a re-consideration of many studies developed before those results were produced. Additionally, recent advances in the simulation of the eruption dynamics provide new tools for the investigation of time-dependent, multi-phase, 2D/3D magmatic and volcanic processes at the global scale from deep magma chambers into the atmosphere and along pyroclastic currents. Finally, a quantitative probabilistic approach to the assessment of the volcanic hazard and definition of critical levels for the state of Campi Flegrei is still missing.

A detailed description of the state of the art at Campi Flegrei is reported in the final reports, dated December 2004, of four devoted GNV 2001-03 projects coordinated respectively by Giovanni Orsi, Paolo Papale, Giovanni Chiodini, and Aldo Zollo, and in a report, dated June 2004, to the presently operating Commission of the Civil Protection for the Update of Emergency Plans at Vesuvius and Campi Flegrei, compiled by Paolo Papale, and including the most significant scientific results and open questions to-date of importance for Civil Protection purposes.

Description of the Activities

The project is organized in 8 Tasks, grouped in 3 Research Lines devoted to a) the definition of the present state, b) the identification and quantification of precursory signals and associated probability of occurrence of volcanic events, and c) the definition of the eruptive scenarios and related probability, and quantitative estimate of the volcanic hazard. The specific Tasks are devoted to: 1) establish a detailed 3D geophysical image of the volcanic structure including the possible location and geometry of deep and possible shallow reservoirs, 2) determine the evolution of the magmatic system, and project it into the present, 3) define the hydrologic and geothermal system, and model the hydrothermal circulation and the thermal state of the caldera, 4) identify and quantify precursory signals and simulate the pre-eruptive magma dynamics and associated changes in the background state, 5) identify the scale and typology of the expected eruptions, 6) determine experimentally relevant transport properties and pre-sin-eruptive magma behavior, 7) simulate the eruption dynamics coupling the magma chamber + volcanic conduit + atmospheric domains 7) integrate the whole information into an updated evaluation of the volcanic hazard.

Research Line 1. Definition of the present state of Campi Flegrei caldera

Task 1. Definition of the caldera and lithosphere structure.

UR Coordinating: Bonafede (Univ. Bologna)

UR Participating: Zollo (Univ. Napoli), Rapolla, Russo (Univ. Napoli), Faccenna (Univ. Roma Tre), Petrillo (INGV-OV Napoli)

This Task, and the following Task 2, provide the system definition and boundary conditions for the investigation at the following Tasks.

Geophysical studies are aimed at determining a general 3D model of the lithosphere below Campi Flegrei. Much of the research foreseen here bases on the results of the recent Serapis tomographic campaign, which will be deeply analyzed and processed together with passive seismic data from the 1984 bradiseismic crisis. A high resolution 3D velocity model will be obtained through double-differences tomographic method where both arrival times and time delays are used. The “common mid point” imaging method will be extended to the exploration of shallow crust in the volcanic environment. Three new seismic reflection profiles about 1 km long will be obtained through the use of a high resolution seismic vibrator in specific areas constituted by i) the shoreline that connects the Monte di Procida with Capo Miseno, ii) parallel to the coast, possibly within the ILVA plant in Bagnoli, iii) from Bagnoli La Pietra to Pozzuoli. The target of these profiles is the shallow structure (500 m depth) of the border areas of Campi Flegrei caldera, and the definition of the caldera limits. A shallow P-wave velocity model will be estimated by a tomographic non-linear inversion of first arrivals. 3D images of the caldera structure will be also obtained by inversion of available gravity and aeromagnetic data, using recently developed techniques including a sequential integrated 3D inversion seismo-gravimetric technique, and by magnetotelluric and new controlled source audio magnetotelluric data. The overall deformation field will be inverted by employing analytical and numerical techniques for the stress field induced by a source embedded within a realistic, elastically layered, underground structure as inferred by seismic tomography and gravimetric inversion data. Anelastic properties of the medium will be taken into account employing visco-elastic constitutive properties at high temperatures, and the Mohr-Coulomb plasticity criterion in the shallow layers. The time evolution of seismicity and uplift will be studied by employing the theory of “effective fractured media” to establish the relationships between uplift rate and seismicity during seismic swarms at CF. A map of the elastic heterogeneities of CF consistent with seismic and gravimetric data will be produced. The structural setting of the area will be investigated through re-elaboration and reinterpretation of pre-existing seismic lines (including

those foreseen in this project) and well data, and detailed field work, in order to produce a 3D definition of the faults network. Cross-correlation with the results from other geophysical and petrologic investigation in the project, as well as with stratigraphic reconstructions at Task 5 and from the literature, with new and existing radiometric dating, and with the results of apposite analogue simulations of the 3D deformation field, will be used to construct quantitative maps of probability of vent, fracture, and fissure opening at CF.

Task 2. Definition of the magmatic system.

UR Coordinating: Civetta (INGV-OV Napoli)

UR Participating: Sbrana (Univ. Pisa), Tonarini (CNR Pisa), Poli (Univ. Perugia), De Campos (Univ. Munich)

Petrologic studies are aimed at defining the state of magma presently hosted in deep and possibly shallow reservoirs below CF, for use within the numerical models in the following Tasks. In order to do this, the magmatic history of CF during last 15 ka will be further detailed in terms of depth and temperature of crystallization, composition, time-scale of crystallization, relation between composition of the erupted magma and structural position of vents, magma chamber processes in the deep and shallow reservoirs feeding the past eruptions, mixing/mingling processes, magma interaction with the hydrothermal system, degassing and cooling rates, and evolutionary models will be formulated and projected into the present. The studies will focus on selected past eruptions characterized by different composition of the erupted magma and by vents located in different structural position, both aspects significant for the reconstruction of the magmatic evolution of CF. These studies will include detailed mineralogical, geochemical, U/Th disequilibria, and isotopic analyses (Sr, Nd, Pb, B, O, H) at different scales (whole rock, separated minerals and glass, single minerals, and core-rim of minerals), with the aim of i) tracing the evolution through time of the magmatic system, ii) defining the different magmatic components feeding the CF system and the mixing/mingling processes among the more mafic magma batches, only erupted along regional structures active several times during collapse and resurgence episodes, iii) characterizing the more evolved high explosive trachytic and phonolitic magmas. The physical and chemical dynamics of recently erupted magmas will be also studied by using methods and models of Chaos Theory and Fractal Geometry. Mixing and mingling between trachytic and phonolitic magmas, which has been recognized to have occurred shortly before the 4100 BP Agnano Monte Spina eruption (long considered the Maximum Expected Event at CF), as well as before many recent eruptions, will be investigated through detailed chemical and isotopic analyses of natural samples, hydrothermal experiments, rotation viscometer experiments, and numerical modeling (in cooperation with researchers involved in Tasks 4, 6 and 7). Experimental post-mingling reactions in trachytes and phonolites will be employed to determine the role and timing of mingling in producing eruptions at CF. A combination of methods including ion probe, FTIR, and optical microthermometry will be employed to characterize melt inclusions in crystals and measure volatile contents (H₂O, CO₂, Cl, S) from several past eruptions, both in end-member and mixed magmas. Cooperation with researchers in Task 7 will allow to model the multicomponent liquid-gas equilibria to recover the total (exsolved and dissolved) volatile contents in the considered magmas.

Task 3. Location, size, physico-chemical characteristics and dynamics of the geothermal system and aquifers.

UR Coordinating: Caliro (INGV-OV Napoli)

UR Participating: Civetta (INGV-OV Napoli), Peluso (MARS Napoli)

The physico-chemical characteristics of fluids emitted at the surface are related to the hydrologic and hydrothermal setting of the caldera. Knowledge of the mass and energy transport mechanisms and dynamics, and of the location, size, and physico-chemical characteristics of deep aquifers and geothermal system is crucial for the interpretation of the geochemical, geodetic, seismic, and gravimetric signals registered at the surface. The interaction between aquifers and heat/mass flows associated with magma movement can lead to phreatic explosions or phreatomagmatic eruptions. The Solfatara di Pozzuoli is systematically monitored since 1982, and clearly shows the involvement of a large proportion of magmatic fluids. Data from Solfatara, Pisciarelli, Agnano, and submarine fumaroles will be used to quantify the magmatic and non-magmatic components of fluids released at the surface, to formulate conceptual and 2-3D fluid dynamics circulation models of the hydrothermal system, and to define its geometry and evolution. Two-way coupling between fluid circulation and porous rock deformation will be employed in the TOUGH2 numerical code as well as in a newly developed mixed control-volume finite-element code, and model calibration will be performed by contemporaneously matching gas composition and gravity data. This will be made possible by periodic gravity measurements and by the installation of a continuous gravity station by INGV-OV. The critical transition inside the cavities of the porous rock, and its possible roles in triggering soil deformation, will be investigated through the construction of an appositely designed experimental apparatus, by using pyroclastic rocks from samples excavated at CF. A new conductive/convective thermal model will be developed with the aim of describing the thermal evolution and state of CF since 400 ka, probable age of beginning of the volcanic activity in the Neapolitan area, until today. The model will solve the heat conduction equations together with an up-dated version of the HEAT code for the convective regime in the upper portion of the caldera, and will consider discontinuous magma refilling from the mantle to a deep reservoir, discontinuous rise of magma batches from deep to shallow reservoirs, and the presence of magma bodies of various shape, size and temperature at 8-10 km depth.

Research line 2: Precursory signals and probability of occurrence of eruption phenomena

Task 4. Identification and quantification of precursory signals.

UR Coordinating: Marzocchi (INGV-Roma1 Bologna)

UR Participating: Berardino (CNR-IREA Napoli), Del Gaudio (INGV-OV Napoli), Papale (INGV-Roma1, Pisa)

Knowledge of the background level at CF is the starting point for the identification of possible precursory signals. Such an identification can be done on the basis of phenomenological, physical, and stochastic models for the behaviour of the complex system of Campi Flegrei. The production of multi-parametric databases of unrest at Campi Flegrei and at other calderas in the world allows a significant improvement in the identification and quantification of precursory signals, and in the set up of methods for the estimate of the probability of occurrence of possible events over different temporal scales. Correlation between ground deformation field and local seismicity data, generation of deformation time series, production of a database of seismicity and ground deformation, and analysis of the features and peculiarities of seismic activity (e.g., energy and spatial-temporal distribution of events) will be done at CF and Long Valley calderas. All the monitored unrests at calderas all around the world, especially those mentioned above, will be collected and analyzed through multivariate statistical tools to identify possible repetitive schemes (patterns) in the unrest phenomena. A robust technique that takes into account a large variety of different signals will be employed in different nonparametric Pattern Recognition codes, to face the difficult questions whether unrests occurring before volcanic eruptions at calderas have common patterns, and whether there is an association between possible common patterns and type and size of the following eruption.

In order to recognize deviations from the background level at CF that can be associated to magmatic activity, numerical simulations of natural and forced convection in the CF magma chamber (as defined by the investigation at Tasks 1 and 2) will be performed with the GALEs finite element code (described at Task 7). Convection will be induced as a consequence of thermal and/or compositional stratification in magma chamber, or as a consequence of magma chamber replenishment. The 2D numerical results will be processed to determine the associated time-space dependent density-temperature distributions, normal and shear stresses at the chamber walls, high and low frequency pressure transients, and volatile transfer from deep to shallow magma chamber regions, for the investigation of the associated gravity changes, deformation patterns, seismic signals, and temperature and geothermal system evolution at CF (in cooperation with researchers involved in Tasks 1 and 3).

Research line 3: Definition of eruptive scenarios and estimate of the volcanic hazard

Task 5. Identification of the scale and typology of the expected events.

UR Coordinating: Rosi (Univ. Pisa)

UR Participating: Di Vito (INGV-OV Napoli)

The quantitative description of volcanic deposits and reconstruction of past eruptions is essential for the identification of the expected phenomena, their temporal relationships, and the minimum areas which were subject in the past to the volcanic phenomena, as well as for the validation of the results from the numerical simulation of eruptive dynamics. Here we will take advantage of the huge work done in the recent past, and will focus the investigation on specific targets that still need to be fully understood, as well as on specific needs for the present project.

Although much has been done on the volcanological and deformation history of CF, expected eruptive scenarios are mainly based on the detailed reconstruction of a few eruptions on which past investigation has concentrated. One of the most well-known events is the 4100 BP Agnano Monte Spina eruption, which has long been taken as a reference for the maximum expected event at CF, whereas Astroni and Monte Nuovo were considered the medium and low magnitude expected events. These two eruptions have also been the subject of recent investigations. In this project the definition of low, medium, and high intensity expected eruptions at CF will be improved through systematic stratigraphic, volcanological, geochronological, and geochemical investigation of < 5 ka selected events, including the Agnano 3 (medium magnitude) and Fossa Lupara (low magnitude) eruptions, and the 3.7 ka Averno eruption (low magnitude). The latter will be the subject of detailed studies aimed at assessing the role of magmatic versus phreatomagmatic explosivity at CF, a topic which has been long debated and which has important implications on the expected scenarios and associated hazards. A general discussion on the nature of explosivity at CF will be maintained during the entire course of the project, in order to get to a more shared view of the main processes governing the occurrence and dynamics of volcanic eruptions in the area, and to a better definition of the expected events. For this purpose the reconstruction of the volcanic history and dating of selected volcanoes of the western sector of CF, as Capo Miseno, Gauro and Bellavista tuff cones, will improve knowledge of phreatomagmatic processes and their occurrence in the different sectors of CF caldera.

Cooperation with the Soprintendenza Archeologica in studying selected coastal sites and new excavations in the Campanian Plain and on the Apennines will improve the knowledge of the deformation history and its relationships with volcanism, as well as the definition of the origin, transport mechanisms, areal distribution and impact of fine ash layers deposited far from the caldera rims. Isopach and isopleth maps of deposits < 5 ka will be produced to estimate magnitudes and intensities of more recent volcanic eruptions, for use, together with other collected information concerning grain size and componentry, in the numerical simulation studies at Task 7, and for a

better definition of the range of variation of eruption size and volcanic hazard evaluation at CF also performed at Task 7.

RU's participating in this Task will be also responsible of sampling for the experimental investigation at Task 6. All the samples will be collected after having carefully selected, jointly by the consortium participating in the project, the eruptions, eruption phases, and volcanic deposits on which to concentrate the investigation in order to better answer the scientific questions posed in each Task, and principally in order to adequately define low, medium, and high intensity expected eruption scenarios for volcanic hazard assessment.

Task 6. Experimental determination of magma transport properties and pre-sin-eruptive behaviour

UR Coordinating: Romano (Univ. Roma Tre)

UR Participating: Piochi (INGV-OV Napoli), Petrini (Univ. Trieste), Iezzi (Univ. Chieti), De Campos (Univ. Munich)

Knowledge of the physical and chemical properties of magmas and of magma behaviour is necessary for the simulation of pre-eruptive and eruption dynamics and scenarios at Tasks 4 and 7, and for the formulation of models of deep and shallow magmatic system at Task 2. Relevant magma properties must be known in the range of P - T - fO_2 -composition conditions covering those of interest for the present state and pre- sin-eruptive dynamics modelling. Detailed knowledge of the relationships between magma properties and phase distribution and composition is required to assess the role of compositional changes of the erupted magmas on the volcanic scenarios.

Among the magmatic properties of relevance for the magma and eruption dynamics, viscosity is probably the most crucial. During last years, use of a variety of experimental devices has led to a detailed knowledge of Newtonian viscosity as a function of temperature and water content, for a variety of trachytic and trachy-phonolitic magmas from past eruptions in the area. The step forward in the present project is represented by the experimental determination and parameterization of non-Newtonian multiphase magma viscosity, which will provide one crucial element for more realistic numerical simulations of pre-eruptive and eruptive dynamics at Tasks 4 and 7. This will be accomplished by measuring the viscosity of natural magmas from CF with variable amounts of crystals and liquid water contents, by using both high strain-rate – high-load device at the University of Munich, and low strain-rate – low-load device at the University of British Columbia, and possibly, at the INGV HP-HT Lab in Rome. The combination of both devices allows the exploration of viscous and elastic deformation regimes, hence of the rheology of volcanic materials, under a large set of controlling conditions in terms of fluid content, water pressure, and deformation paths.

Crystallization paths of natural magmas from CF will be experimentally investigated under constant pressure and depressurization/cooling paths with variable H_2O and CO_2 activities in order to i) provide parameterizations to be used within the numerical simulation codes at Tasks 4 and 7, complemented by parameterization of multiphase non-Newtonian magma viscosity at the present Task, ii) provide relationships between measured CSD's (Crystal Size Distribution) and depressurization/cooling paths during volcanic processes, to be used to constrain the eruption dynamics and in the validation of numerical codes at Tasks 4 and 7. Comparison between experimental and natural samples will be done by analysing their crystal and vesicle content, crystal type, size, shape, and distribution in 2-3D textural parameters.

The cooling dynamics and degassing processes during magma rise and fragmentation will be investigated through the characterization of hydrous species in volcanic glasses from selected explosive sequences, further providing direct information into the eruptive dynamics and additional means for the validation of numerical codes of magma ascent dynamics at Task 7. Particularly, the study of the distribution and motional behaviour of water in the glass has implications in the

formation and expansion of hydration bubbles and in the dynamics of interaction between magma and external water, yielding the conditions for an explosive burst due to vapour film instabilities. Experimental investigation will be conducted through a combination of hydrogen and deuterium solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy and CPMAS experiments. The study of hydrous species and CO₂ abundance and their distribution at a few micron scale range in glasses and fluid inclusions will be attempted by using the infrared synchrotron radiation beam-line SISSI at Elettra (Trieste), complementing with higher resolution investigation the melt inclusion studies at Task 2. Sr isotopic ratios will be measured in order to distinguish hydrous components of magmatic origin in isotope equilibrium with the glass/melt, and hydrous components due to interaction of magma with external fluids during phreatomagmatic activity. Electron microprobe and back-scattered scanning electron microscopy will complement the analyses.

Task 7. Numerical simulations of eruption dynamics and scenarios, and volcanic hazard

UR Coordinating: Papale (INGV-Roma1, Pisa)

UR Participating: Marzocchi (INGV-Roma1, Bologna), Di Vito (INGV-OV, Napoli), Rosi (Univ. Pisa)

The time-space distribution of the physical quantities characterizing the expected events and scenarios is based on the physico-mathematical modelling and numerical simulation of the eruption dynamics. The definition of appropriate initial and boundary conditions and constitutive equations for the simulations derives from the studies at Tasks 1-6. A combination of numerical codes will be used to simulate the sin-eruption dynamics in the domains from the magma chamber into the atmosphere and along pyroclastic flows. Magma chamber and volcanic conduit dynamics will be investigated by using the **GALES** finite element code for the transient, multi-D, multicomponent homogeneous dynamics of incompressible-to-compressible fluids. Conduit flow dynamics during sustained eruption phases will be investigated by using the well-established 1D steady multiphase **CONDUIT4** code. Implementation of non-Newtonian viscosity and cooling-depressurization-induced crystallization paths from Task 6 is foreseen. Numerical simulations will be carried out mostly with the aim of reproducing conditions appropriate for low, medium, and high intensity eruptions expected at Campi Flegrei. The **GALES** code will be employed in order to investigate conditions under which pre-sin-eruptive mixing of different magmas can occur in magma chamber and volcanic conduit, to define the global time-scales of magma mixing, and to describe the time-space evolution of the associated convection dynamics. Strong cooperation with RU's engaged in petrologic investigation of magma mixing at Task 2 is foreseen. Additional numerical simulations with the **GALES** code will investigate the transient opening phases of eruptions in the coupled magma chamber + conduit domains, with the aim of describing magma withdrawal patterns in the chamber and the transient dynamics of conduit flow. Steady 1D conduit flow simulations with the **CONDUIT4** code will provide appropriate sets of vent conditions for the simulation of the atmospheric eruption dynamics. Parametric studies aimed at determining the roles of different initial *P-T*-composition conditions on the dynamics of transient opening phases and steady conduit flow phases of expected eruptions will be performed. Validation of the numerical results will be done through comparison with experimental mixing time-scales constrained at Task 2, and cooling/depressurization/degassing paths and magma ascent time scales constrained at Task 6. First numerical simulations of pyroclastic current generation and propagation in the 3D topography of Campi Flegrei will be executed with the multiphase flow code **PDAC**, mostly with the aim of comparing them with similar 2D simulations and produce more reliable distributions of hazardous quantities associated with collapsing volcanic columns. A deterministic/probabilistic approach with the codes **HAZMAP** and **FALL3D** will allow to simulate the dispersion and accumulation of volcanic ash from selected past events and from future expected volcanic eruptions at CF as defined at Task 5, by taking into account wind distribution with height and wind variability in the area. The

result will be a hazard map from fallout accumulation at CF. All of the above numerical codes for the simulation of the eruption dynamics and scenarios have been developed through the years, and are continuously up-dated, by the consortium involved in the RU coordinating this Task.

The whole knowledge to-date, and the results of the additional investigation in the project, on the stratigraphic and stratimetric characteristics, density, depositional mechanisms, geochemistry, age and attribution, location of the vent area, and emplacement mechanisms of pyroclastic deposits, as well as on structural data on CF caldera, will be made available in a GIS. The GIS will represent a “summa” of the volcanological knowledge at CF from field and lab investigation, and will allow an easy handling of the data for the volcanic hazard assessment described below. The GIS structure will also allow the construction of several thematic maps on the distribution and frequency of different volcanic deposits, vent distribution through time, activation of fractures and deformation through time, etc., also concurring to the realization of a map of the probability of opening of new vents foreseen at Task 1.

The results of the numerical simulations and the thematic maps described above are useful by themselves for volcanic hazard purposes. A much greater improvement in the assessment of volcanic hazard at CF will be made through a statistical estimation of the probability of occurrence of the eruptive events and/or the phenomena considered, by means of an Event Tree quantitative scheme already provided by researchers in the consortium, and further implemented in the course of the project (within project V4). The ET scheme is able to account for all the information available (theoretical models, past data, and monitoring), provides an estimate at different time-scales (long term useful for land planning, and short term useful to manage volcanic crises), and allows to deal with different types of uncertainties. The work proposed in the project will be organised in subsequent steps. In the first step the structure of the ET is defined, accounting for any kind of volcanic event inside the caldera. The second step consists in the definition of the probabilistic rules to merge theoretical models, past data, and monitoring observations in a single probabilistic framework. The third step consists in the definition of the parameters and relative thresholds to estimate the probability density function at each node of the ET. These issues will be achieved through a strong cooperation with all the RU's involved in the project. Finally, the fourth step consists in the integration of all the results obtained in the previous steps in a software tool that visualizes the outcomes of the ET and hazard assessment, and that synthesizes all the results from the project.

List of deliverables

Task 1: Definition of the caldera and lithosphere structure.

Deliverables: high resolution 3D velocity model of the lithosphere below Campi Flegrei (CF) - 3D model of CF lithospheric structures - map of the top of the carbonate basement - isopach map of the Plio-Pleistocene sedimentary and volcanic units and 3D geometry of the sedimentary basin - 3D map of the faults network and their timing of activity - 2D high-resolution seismic tomography and reflection sections - high-resolution seismic imaging of the shallow structure of CF - 3D images of the caldera structure on the base of gravity, magnetic and magnetotelluric data - modelling of different deformation sources at different depths below CF - 3D models of intrusion and related surface deformation - quantitative maps of probability of fractures, vent and fissure opening at CF.

Task 2: Definition of the magmatic system.

Deliverables: Composition, magmatic components and history of the CF deep and shallow magma chambers – petrologic models to project the magmatic evolution into the present and infer the state of the magmatic feeding system below CF - kind and amount of volatiles in the magma and determination of P and T of the deep and shallow magma reservoirs - magma chamber processes before and during eruptions of variable magnitude and composition, and occurred in variable structural position - definition of the time scale of magma storage and differentiation prior to eruption - Experimental and numerical modelling of mixing, mingling and gas phase development processes - probability hazard map for opening of a new vent and related composition of the feeding magma.

Task 3: Location, size, physico-chemical characteristics and dynamics of the geothermal system and aquifers.

Deliverables: Conceptual and 2-3D fluid dynamics circulation models of the hydrothermal system at Solfatara - two-way coupling model between fluid circulation and porous rock deformation - realization of an apparatus for the experimentation at the critical transition liquid–gas inside the cavities of porous material - TFD model for including the deformations in a 2D/3D numerical code; conductive/convective thermal model describing the thermal evolution of CF since 400ka

Task 4: Identification and quantification of precursory signals.

Deliverables: Definition of the background level at CF using the monitoring geodetic network data, as the starting point for the identification of possible precursory signals - production of a database of seismicity and ground deformation at CF and Long Valley calderas - statistical analysis of all the monitored unrests at calderas, for the recognition of common patterns in the pre-eruption unrest - numerical simulations of natural and forced convection in the CF magma chamber(s), and quantitative description of the deviations from the background level at CF that can be associated to magmatic activity

Task 5: Identification of the scale and typology of the expected events.

Deliverables: Reconstruction of the recent (<15 ka) volcanic and deformation history of the western sector of the caldera – chronogram of the deformations events of the whole Neapolitan area - stratigraphic sequences of the exposed deposits, dating, eruption history and dynamics of selected medium magnitude (Agnano3, Averno and Fossa Lupara) eruptions – isopach and isopleth maps, magnitude and intensity of selected less than 5ka eruptions - Map of the areal distribution of products of recent eruptions in mid-distal areas - Geological, historical and archaeological data set – definition of the type, scale, and phenomenology of processes associated to low, medium, and high intensity expected eruptions at CF

Task 6: Experimental determination of magma transport properties and pre-eruptive behaviour

Deliverables: experimental determination and parameterization of non-Newtonian multiphase magma viscosity of the erupted magma - experiments on crystallization paths of natural magmas from CF under constant pressure and depressurization/cooling paths with variable H₂O and CO₂ activities - experimental determination of glass structure and distribution of hydrous species of magmatic origin and hydrous components due to interaction of magma with external fluids during phreatomagmatic activity - relations among magma structure, physical and chemical parameters, and eruption dynamics .

Task 7: Numerical simulation of eruption dynamics and scenarios, and volcanic hazard

Deliverables – GIS database including all the volcanological data collected at CF from field and lab investigations - numerical simulations of conduit flow dynamics for low- medium- and high-intensity eruptions –numerical simulations of the coupled transient 2D eruption dynamics in magma chamber and volcanic conduit - modelling the dispersion and accumulation of volcanic ashes from future expected volcanic eruptions at CF – models of pyroclastic current generation and propagation in the 3D topography of CF, and analysis of the effects of real topography on pyroclastic flow propagation – first numerical simulations of the global eruption dynamics from magma chamber into the atmosphere - Probability tephra fallout hazard map - probability pyroclastic currents hazard map – definition of an Event Tree for global volcanic hazard assessment at CF.

SUB-PROJECT V3_2 – CAMPI FLEGREI

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Caldera/lithosphere structure	Task2 Magmatic system	Task3 Geothermal system	Task4 Precursory signals	Task5 Expected events	Task6 Magma properties	Task7 Scenarios and hazard	Mesi p. coffin.	Mesi p. rich.
UR-1	CNR-IREA, INGV-OV, JPL-Caltech (USA)	Berardino, Lanari, Fornaro, Ricciardi, Lundgren				@				46	24(CNR-IREA)
UR-2	UniBo	Bonafede, Belardinelli	@							16	24 (UniBo)
UR-3	INGV-OV, UniNa, UniPg, LBNL-CA (USA)	Caliro, Berrino, Chiodini, Todesco			@					64	
UR-4	UniNa, INGV-OV, UniBa, UniRmTre, Brown Univ. (USA), LANL (USA), Univ. Goettingen (D)	Civetta, D'Antonio, Rutherford, Heumann		@	@					75	18 (UniNa)
UR-5	Uni-Muenchen (D), UniNa	De Campos, Courtial, Dingwell, Civetta		@				@		53	
UR-6	INGV-OV	Del Gaudio, Ricco, Borgstrom					@			32	
UR-7	INGV-OV, UniNa, CEA-LSC (FR), UniPi	Di Vito, Isaia					@		@	31	
UR-8	UniRmTre, UniPi, INGV-OV	Faccenna, Sbrana, Funicello	@							46	24 (UniRmTre)
UR-9	UniChi, UniRmTre, INGV-OV	Iezzi, Di Sabatino						@		39	
UR-10	INGV-Rm1	Marzocchi				@			@	15	
UR-11	INGV-Rm1, UniPi, INGV-OV	Papale, Neri, Macedonio, Longo, Barsanti				@			@	64	24 (Borsa di studio INGV-Rm1)

SUB-PROJECT V3_2 – Campi Flegrei

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
					Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
			2005	2006	2005	2006	2005	2006				
UR-1	CNR-IREA	Berardino	19000	19000	1500	1500			2000	2000	2000	2000
UR-2	UniBo	Bonafede	19000	19000	1500	1500	2000	2000	3500	3500		
UR-3	INGV-OV	Caliro ^{1,2}			6000	6000			5000	4000	15000	
UR-4	UniNa	Civetta	9500	19000	3000	3000	7000	9500	19500	23500	2000	
UR-5	Uni-Muenchen	De Campos					4000	3000	8000	7000		
UR-6	INGV-OV	Del Gaudio			1000	1000			4000	4000		
UR-7	INGV-OV	Di Vito			2000	500		1500	7000	8000	2000	
UR-8	UniRmTre	Faccenna	16000	16000	2000	2000	2000	2000	3000	3000	0	
UR-9	UniChi	Iezzi			2000	1600		400	5000	6000	2000	1000
UR-10	INGV-RmI	Marzocchi			2000	1000	1000	2000	7000	7000		
UR-11	INGV-RmI	Papale ²			7000	7000	6000	6000	18000	18000	14000	10000
UR-12	MARS	Peluso	12500	7500	4500	2000		2500	3000	13000		2000
UR-13	INGV-OV	Petrillo			2000	2000			8000	8000		
UR-14	INGV-OV	Piochi			6000	6000			10000	10000		
UR-15	UniPg	Poli			3000	1500		1500	3000	5000	2000	2000
UR-16	UniNa	Rapolla			1500	1500			13500	8000		6000
UR-17	UniRmTre	Romano	19000	19000	1000	1000	1000	1000	4000	4000	1000	1000
UR-18	UniPi	Rosi	16000		3000	3000			5000	11000		
UR-19	UniNa	Russo			500	500	2500	2500	2500	4000	1500	
UR-20	UniPi	Sbrana			3000	3000			13000	13000		
UR-21	CNR-IGG	Tonarini			1500	1500	1000	1000	8500	5500		
UR-22	UniNa	Zollo	16500	16500					9000	9000		
UR-23	UniTri	Petrini			1200	1200	800	800	8000	6000	4000	3000
		TOTALE	127500	116000	55200	48300	27300	35700	169500	182500	45500	27000
GRAN TOTALE: 834500												

¹15000 euros under the voice “Inventariabile” are for the acquisition of instrumentation for the experimental study of the critical transition of fluids in porous media, for supporting the research of RU #12 (MARS Napoli, resp. Peluso).

PROJECT V3

Sub-Project V3_3 – Ischia

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-Project V3_3 – Ischia

Coordinators:

Giovanni Orsi, Full Professor, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano 328, – 80124 Napoli, orsi@ov.ingv.it, Tel: 0816108343, Fax: 0816108344

Alessandro Aiuppa, Professore Associato, Dipartimento di Chimica e Fisica della Terra ed Applicazioni (CFTA), Università di Palermo, Via Archirafi, 36 – 90123 Palermo, Email: aiuppa@unipa.it, Tel: 0916161574, Fax: 0916168376

State of the Art

The island of Ischia is the emerged top of a large volcanic complex rising more than 1,000 m above sea floor at the north-western corner of the Gulf of Naples. It is an active volcanic field composed of volcanic rocks, landslide deposits, and subordinate terrigenous sediments, reflecting a complex history of alternating constructive and destructive phases due to an interplay among tectonism, volcanism, volcano-tectonism, erosion and sedimentation. The volcanic system is still active, as testified by the intense volcanism in historical times, widespread fumaroles and thermal springs, and by seismic activity. Volcanism at Ischia began prior to 150 ka B.P. and continued, with centuries to millennia of quiescence, until the last eruption occurred in 1302 A.D. Recent studies have demonstrated that during the time interval between 74 and 55 ka B.P. there was a dramatic change in the structural setting of both magmatic system and volcanic edifice. This time interval, previously regarded as a mainly quiescent period, bore witness to a complex volcanic activity with the largest eruptions recorded on the island. This period culminated with the caldera-forming Mt. Epomeo Green Tuff eruption (55 ka) which was followed by block resurgence of the caldera floor, at least since 33 ka. Resurgence dynamics influenced the later volcanic activity determining the conditions for magma ascent mainly within the eastern portion of the island and along pre-existing regional faults. During the last period of activity, started 10 ka B.P., volcanism was mainly concentrated around 5 ka and in the past 2.9 ka. In the past 5 ka, reactivation of faults and related volcanic activity, are accompanied by emplacement of deposits generated by surface gravitational movements. These deposits preceded and followed the emplacement of volcanic rocks, testifying that slope instability conditions were induced by reactivation of vertical movements, which also generated faults and fractures through which volcanism was fed. Furthermore, the availability of large amount of loose material, rapidly accumulated along the slopes during eruptions, predisposed the conditions for landslide generation.

Volcanic hazards assessment and long-term forecasting of a future eruption at Ischia have to be the prime objectives of future researches on the island. Although variable researches have been carried out on the island in the last decades, they have never been finalised to volcanic hazards assessment. Therefore it is necessary to formulate a multidisciplinary and coordinated project with the aim of finalising the available data and filling the knowledge gaps. Still a large amount of information necessary for formulating a comprehensive hypothesis on the behaviour of the volcano and its magmatic feeding system, is lacking. The structure of the volcano and its underlying lithosphere needs to be better defined through combination of structural and geophysical data. As only one third of the volcano is above sea level, data from marine geology and geophysical investigations are needed. This is true also for the definition of the geomorphic characteristics of the entire volcano. According to the present knowledge, the portion of the volcanic and deformation history of the system, most useful for volcanic hazards assessment, is related to the past 10 ka. But, as previously mentioned, the knowledge of the intense volcanism and deformation (74 - 55 ka),

which has likely affected the later behaviour of the volcanic system, is quite poor. Therefore, in order to understand the present state of the volcano, it is necessary to investigate its volcanic, magmatic and deformation history over the past 74 ka. Through these investigations, the sequence of events and its timing should be defined. The behaviour and structure of the magmatic system should be assessed as well, also in terms of physical and chemical parameters, rheological properties and glass structure. The diffuse occurrence of hot-water springs and fumaroles testifies the existence of active geothermal and hydrothermal systems. Investigation of these systems and definition of their physico-chemical characteristics are important pieces of information for hazards assessment. Another hazard on the island, closely related to volcanism, is the occurrence of surface gravitational movements which generate landslides deposits at variable scale. This implies that investigations need to be carried out also on these deposits, in order to have a more complete picture of the geological hazards on the island. Landslides could also generate tsunamis which would effect all the coast of the Neapolitan area. Such a possibility has to be investigated in order to define the likely effects. The present knowledge of Ischia eruption precursors is very poor. Therefore, in order to construct a dataset necessary for a future definition of the alert levels, it is useful to collect geological, historical and archaeological data on the precursors of the Ischia eruptions.

Description of the Activities

The project is organized in 5 Tasks, each entrusted to a scientific responsible, grouped in 2 Research Lines devoted to a) the definition of the present state, b) the definition of the eruptive scenarios and related probability, and quantitative estimate of the volcanic hazard. The specific Tasks are devoted to: 1) the definition of the structural and geomorphological evolution and present setting; 2) the reconstruction of the volcanological history, with particular reference to the past 74 ka; 3) the definition of the evolution, structure and present state of the magmatic feeding system; 4) the characterization of the groundwater and geothermal systems; 5) the assessment of volcanic and landslide hazards.

Each RU will work in coordination with the others and in particular with those involved in the same task. The coordinator of the project and the scientists responsible of each task will encourage coordination among RUs. An annual meeting of all RUs will be held and meetings of RUs of one or more tasks will be encouraged.

Research Line 1. Definition of the present state of Ischia Island

Task 1. Structure and geomorphology.

UR Coordinating: de Vita (INGV-OV)

URs Participating: Rapolla (Univ. Napoli), De Alteriis (CNR-IAMC), Capuano (Univ. Molise)

Task 1 includes structural, geophysical, stratigraphical, sedimentological and geomorphological studies aimed at: a) defining the structural setting of both emerged and submerged portions of the Ischia volcano and of its underlying lithosphere; b) defining the relationships among tectonic and volcano-tectonic deformational features, location of volcanic vents and slope instability; c) reconstructing the stratigraphic sequence of landslide deposits and defining their physical characteristics, transport and depositional mechanisms.

The structure of the emerged part of the island will be investigated by carrying out a field survey of the macroscopic and mesoscopic deformational features. The structural data will be statistically analysed in order to define the related stress field. A geological survey will be carried out in order to: a) define the relationships among tectonic and volcano-tectonic deformational features, location of volcanic vents and slope instability; b) reconstruct the stratigraphic sequence of landslide

deposits and define their physical characteristics, transport and depositional mechanisms. Absolute age determinations will be performed in coordination with Task 2. A quantitative geomorphic analysis will be performed in order to better constrain the landscape modifications and to extract structural and volcanological features. Both conventional photo interpretation and automatic feature recognition and classification approaches will be used in the analysis and interpretation of a high spatial resolution DTM in GIS environment. Thermo-mechanical modelling will be performed to simulate the intrusion of magma into the crust and analyse the surface deformation under different tectonic regimes and pre-existing fault structures. The submerged part will be investigated through: a) interpretation of the existing DTM; b) advanced boundary analysis of the magnetic field; c) matching the morphobathymetry with seismic data and volcanological and structural framework; d) sedimentological and geochemical analysis of available rock samples. The deep structure will be investigated through: a) development and implementation of innovative techniques of analysis and interpretation of active/passive seismic data recorded during Serapis project and already available gravity data; b) reinterpretation and partial processing of OGS digital data, acquired in the Naples Bay offshore during the 1973 and the offshore M-30 and M-36 CROP lines; c) acquisition and interpretation of a new aeromagnetic dataset; d) definition of the spatial distribution of radioactivity, by the use of a helicopter-borne gamma ray spectrometer device; e) self potential survey and 3D tomographic inversion of the related data.

Task 2. Volcanology and geochronology

UR Coordinating: Orsi (INGV-OV)

URs Participating: Guillou (LSCE-CEA), Sprovieri (CNR-IAMC)

This task includes stratigraphical, volcanological, geochronological, geophysical, historical and archaeological investigations aimed at filling the gaps of knowledge on the volcanic history of Ischia over the past 74 ka and to produce data essential to volcanic hazards assessment. In particular, the stratigraphic sequences of the volcanic deposits aged between 74 and 50 ka and younger than 10 ka will be reconstructed. Investigation of the 74-50 period is important in order to constrain the mechanisms that resulted in modification of the volcanic system and evaluate their effects on the subsequent activity. Key deposits in the volcanic sequences will be dated by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and AMS ^{14}C methods, in order to constrain the timing of the volcanism. Samples to be dated will be selected in cooperation with other Tasks of the project in order to constrain also the deformation and gravitational movement events, and the timing of the magmatic processes. For each recognised deposit, the spatial distribution and the sedimentological, stratimetrical, structural and textural features will be defined. Components analyses will be performed on fallout deposits in order to collect data useful for both understanding the character of the explosions and modelling the eruption columns. For these deposits, isopachs and isopleths maps will be also constructed. In addition to thickness, also the density of variable types of fallout deposits will be measured in order to define their load on the ground. The distal ash deposits of the Ischia explosive eruptions will be investigated through the analysis of the 33-meters long MD01-2473 core, recovered in the Tyrrhenian Sea, about 50 km N of Stromboli. All these data will allow to: a) locate the vent/vent area, b) evaluate the volume of erupted magmas through a computer assisted (GIS-based) method, c) estimate the eruption dynamics, d) define the transport mechanisms for all eruptions, and e) estimate the magnitude and intensity of the explosive eruptions. They will also allow to construct areal distribution and frequency maps for lava flows and domes, and fallout and pyroclastic current deposits, as well as frequency maps for load on the ground by fallout deposits. Integrating the data collected within the activities of this Task and Task 1, a chronogram of the volcanic, deformation and gravitational-movement events will be constructed.

To identify eruption precursors and the ground deformation background level also archaeological researches and historical documents analyses will be carried out. All these

investigations will permit to evaluate the effects of eruption precursors such as ground movements, fracturing and faulting on manufacts. Reinterpretation of DInSAR Satellite Interferometry data collected since 1992, and levelling data acquired since 1984, will allow definition of the ground deformation background level.

Task 3 Evolution, structure and present state of the magmatic feeding system

UR Coordinating: Sbrana (Univ. Pisa)

URs Participating: D'Antonio M. (Univ. Napoli), Petrini (Univ. Trieste), Tonarini (CNR Pisa)

Task 3 will be devoted to petrological investigations on volcanic rocks representative of the 74-55 ka and of the past 10 ka periods of activity, aimed at the definition of the behaviour of the magma feeding system through time and its present state. In order to achieve this goal, petrological data will be acquired through many different analytical techniques on whole-rocks, separated minerals and glasses from volcanic rocks representative of the selected periods of activity, sampled in cooperation with RUs Orsi and de Vita.

Petrographic, mineralogical, geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb, O and B) investigations will be carried out on bulk rocks, groundmasses and separated minerals. Whole-rock major and trace element analyses will be performed by ICP-AES and ICP-MS techniques. The major oxide analyses of minerals and glass will be performed by EDS-WDS electron microprobe techniques. The isotopic analyses will be performed by thermal ionisation mass spectrometry techniques. The data will be interpreted in order to identify the geochemical characteristics of the magmas inherited from the mantle source, and to define the magma evolution processes occurring in deep and shallow reservoirs.

Solid-state nuclear magnetic resonance spectroscopy investigations will be applied to the study of silicon site speciation in the network structure of volcanic glasses, with the aim of identifying and quantifying the hydrous environments, in order to determine the distribution of molecular water in the glass. The study of hydrous species and CO₂ abundance and the mapping at a few micron scale in glasses and fluid inclusions will be attempted by using an infrared synchrotron radiation source. The structure of glasses and the structural characteristics of hydrous species will be related to the glass chemistry and surface analysis. The nature of solutes in aqueous components will be investigated by isotopic measurements.

Silicate melt inclusion investigations in phenocrysts will be carried out through optical microthermometry and microanalysis, aimed at defining PTX conditions of the Ischia magmatic feeding system. Microthermometry will determine the homogenization temperature of the inclusions, correspondent to the minimum temperature of crystallization of the host mineral and magma. Major elements, Cl and S in glasses, melt inclusions and host minerals will be analysed by EDS-WDS microanalysis. H₂O and CO₂ analyses in trapped melts will be carried out by FTIR. The volatile contents of magmas will allow assessment of crystallization and storage pressures from models of solubility for H₂O and CO₂ in silicate melts.

Geochronological determinations will be carried out through U and Th decay series disequilibria by TIMS techniques. Detailed internal isochrons will help to unravel the timescales of processes that formed the magmas feeding the 74-55 ka period of activity.

Task 4 Hydrogeological setting and geothermal system

UR Coordinating: Aiuppa (Univ. Palermo)

URs Participating: Luzio (Univ. Palermo), Sbrana (Univ. Pisa)

The diffuse surface hydrothermal manifestations on Ischia Island are clear evidences of the vigorous interaction between deep-rising magmatic/hydrothermal volatiles and shallow fluids of

meteoric and/or marine derivation. Establishing the complex spatial-temporal mixing relations between the different fluid components is a pre-requisite for the definition of a quantitative model of the groundwater/hydrothermal system. In turn, such an interpretative model is essential for predicting the potential geochemical signals accompanying an eventual future volcanic unrest on the island.

This task attempts at a multi-disciplinary and systematic characterisation of the structure and chemical-physical properties of the Ischia island groundwater/hydrothermal system, by combining: a) a hydrogeochemical survey of surface thermal manifestations; b) a geochemical, petrological and mineralogical characterisation of surface alteration facies, and c) an electrical and electromagnetic geophysical survey. Hydrogeochemical investigations will be devoted to a chemical characterisation of thermal manifestations, including the determination of major and minor (B, Li, Sr, Fe, Mn) dissolved species, trace elements (with particular reference to ore-forming elements Cu, As, Zn, Sb, Tl, Hg, ect.), and dissolved gases (CO₂, CH₄, O₂, N₂). Isotope markers (O and H isotopes of H₂O and C, B, S and He isotope composition of dissolved carbon, boron, sulphur, and helium, respectively) will be used for assessing and mapping the extent of interaction between deep-derived volatiles (either hydrothermal or magmatic) and the groundwater system, and for the reconnaissance of the relative contribution of end-member components (i.e., geothermal reservoir brines, meteoric water and seawater). This reconnaissance study will also provide the quantitative background for the selection of a few samples to focus on the analysis of temporal trends. Also, cross correlation of thermal waters compositional data with the mineralogical, geochemical and isotopic features of hydrothermal paragenesis (from analysis of deep-seated xenoliths present in the exposed pyroclastic sequences) will allow quantitative modelling of water-rock interaction processes and reconstruction of T-dependent mineral-solution equilibria. This task will also benefit from fluid and melt inclusion investigations, allowing P-T-salinity conditions of the deep seated hydrothermal reservoir(s) to be derived. The reconstruction of the vertical and lateral continuity of both the shallow-groundwater system and the deep-hydrothermal reservoir(s) will also be attempted by the use of geophysical prospecting methods (electrical vertical soundings and TEM), such methods being adequate to model the distribution of permeable and impermeable bodies.

Research line 2: Definition of eruptive scenarios and estimate of the volcanic hazard

Task 5. Volcanic and related hazards assessment

UR Coordinating: Orsi (INGV-OV)

URs Participating: de Vita (INGV-OV), de Alteriis (CNR-IAMC), Tinti (Univ. Bologna)

This task includes geological and volcanological investigations, and physical modelling and numerical simulations devoted to: a) defining the areas at variable probability of opening of a new vent; b) defining probabilities for the expected eruption scenarios; c) defining the expected surface gravitational movements at variable scale; d) physical modelling and numerical simulation of the expected volcanic events; e) constructing probability hazards maps for vent opening, lava flows and domes, tephra fallout, pyroclastic currents, and surface gravitational movements; f) assessing tsunami hazard in relation to gravitational movements.

All the data and maps produced within the activities of this Task and of the other Tasks will be statistically elaborated to produce a single probability definition of the expected eruption scenarios, and probability hazard maps for opening of a new vent, fallout and pyroclastic currents. The use of an ash transport model previously developed will permit to assess the ash loading probability for each given threshold in the areas potentially affected by fallout. Application of a probabilistic model based on the “maximum slope” will be calibrated by using information on the past effusive eruptions at Ischia and will permit both to estimate the probabilities of vent opening in different areas, and to construct a probability lava hazard map.

The variable recognized landslide deposits will be classified, their volume will be estimated and the expected gravitational movements will be defined. A probability map of occurrence of new or remobilisation of older landslides onshore-offshore will be constructed.

The ability of SAR interferometry to point out diffuse deformation at variable scale, will be used to study the surface gravitational movements of Ischia. Through this technique it is possible to evaluate amplitude and direction of the ground movements. The comparison with geodetic data will permit to discriminate the differences in coherence with neighbouring areas. In order to point out the main factors controlling the slope instability, selected areas will be related to different backscattering values, which will be referred to the intrinsic soils properties to characterize them in terms of structural and physico-chemical properties.

The dynamics of the tsunami generation by landslides will be investigated by the double model already used for the Holocene collapse of the Sciara del Fuoco and for the recent 2002 landslides at Stromboli. Improvement of this model will be considered, especially to deal with the high-mobility and large fragmentation feature of the large debris avalanche to the south of Ischia. A second approach will also be attempted and a preliminary version of a code will be built to handle the landslide mass as a second high-density fluid. Tsunami evolution in the near- as well as in the far-field will be computed, the tsunami impact along the coast of Ischia and of the Gulf of Naples will be calculated, and inundation map along these coasts will be produced.

List of deliverables

Task 1: Structure and geomorphology

Deliverables: modelling of the structural setting of the lithosphere beneath the volcano, with particular reference to location and size of the magmatic system - structural map of the volcano - stratigraphic sequence and physical characteristics database of the surface gravitational movement deposits - morphological database constructed on high spatial resolution data (DEM, DTM, Remotely Sensed Imagery) - digital thematic maps - 3D visualization - GIS database.

Task 2: Volcanology and geochronology

Deliverables: stratigraphic sequence of the exposed deposits - maps of the areal distribution of the deposits of effusive eruptions and pyroclastic currents - isopachs and isopleths maps for fallout deposits - frequency maps for lava domes and flows, and pyroclastic current and fallout deposits - frequency maps of load on the ground by fallout deposits - chronogram of the volcanic, deformation and surface gravitational movement events - maps of the active vents through time – database of the physical parameters of the volcanic eruptions – database of the geological, historical and archaeological – definition of the background level using the monitoring network data.

Task 3: Evolution, structure and present state of the magmatic feeding system

Deliverables: modelling of the mantle source characteristics of the Ischia magmas – modelling of the magma chamber processes before and during eruptions of variable magnitude and occurred in variable structural conditions – database of the physical and chemical parameters, and rheological properties of the erupted magmas – modelling of volatiles in the magmatic reservoir/s - experimental determination of glass structure and distribution of hydrous species - relations among magma structure, physical and chemical parameters, and eruption dynamics - time of growth of large magma chamber;

Task 4: Hydrogeological setting and geothermal system

Deliverables: geochemical maps of the spatial distribution of major, minor and trace species and dissolved gases in the groundwater system - assessment of the budget of volatiles (CO₂, He) transported by the groundwater system - identification of hydrogeochemical precursors of volcanic unrests - graphical two-three dimensional representations for the geometry of the deep-seated hydrothermal reservoirs

Task 5: Volcanic and related hazards assessment

Deliverables: probability hazard map for opening of a new vent - eruption scenarios - modelling of eruption column and fallout deposits - database of the physical parameters of the expected hazardous phenomena needed for vulnerability evaluation – modelling of lava flows - probability tephra fallout hazard map - probability pyroclastic currents hazard map – probability lava flows and domes hazard map - classification and volume estimation of landslides deposits in both emerged and submerged portions - surface gravitational movements hazard map - modelling of tsunami generation and propagation - tsunami inundation maps of the island and of the Gulf of Naples.

SUB-PROJECT V3_3 – ISCHIA

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Structure and geomorphology	Task2 Volcanology and geochronology	Task3 Magma feeding system	Task4 Geothermal system	Task5 Volcanic hazard	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	UniPa, INGV-PA	Aiuppa, D'Alessandro, Pecoraino				@		22	24(UniPa)
UR-2	UniMol, UniNa, UniSannio	Capuano, Russo, De Matteis	@					26	
UR-3	UniNa, INGV-OV	D'Antonio, Civetta			@			12	24 (UniNa)
UR-4	INGV-OV, UniRmTre, UniRm1, UniPi	De Vita, Casero, Faccenna, Nappi	@					63	
UR-5	CNR-IAMC, UniRm1	De Alteriis	@				@	24	
UR-6	CEA-CNRS (FR), INGV-OV	Guillou, Scaillet		@				8	24 (CEA-CNRS)
UR-7	UniPa, INGV-PA	Luzio, De Luca				@		32	
UR-8	INGV-OV, UniNa, Sopr. Arch. Na, Univ. Goettingen (D), INGV-CT, UniFi, UniTri	Orsi, de Vita, Heumann, Tommasini		@			@	54	12 (assegnato di ricerca INGV-OV)
UR-9	UniTri, UniPi, CNR-IPCF, UniRm1	Petrini, Forte, Lupi			@			23	12 (UniTri)
UR-10	UniNa, UniCal	Rapolla, Florio, Pece, Di Maio	@					50	
UR-11	UniPi	Sbrana, Marianelli, Fulignati			@	@		24	
UR-12	CNR-IAMC, CNR-ISMAR, INGV-OV	Sprovieri		@				40	

SUB-PROJECT V3_3 – ISCHIA

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
					Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
			2005	2006	2005	2006	2005	2006				
UR-1	UniPa	Aiuppa	16000	16000	4500	4000	2500	3000	9000	9000		
UR-2	UniMol	Capuano			1500	1500	1500	1500	4500	4500	1500	
UR-3	UniNa	D'Antonio	19000	19000	2000	1000		1000	3500	5000	2000	
UR-4	INGV-OV	De Vita			4500	3850		1650	2500	4000	2000	
UR-5	CNR-IAMC	De Alteriis			2000	2000	2000	1500	4000	4000		
UR-6	CEA-CNRS (FR)	Guillou	16000	16000			1000	1000	1000	1000		
UR-7	UniPa	Luzio			6000	4000			1000	1000	1500	1000
UR-8	INGV-OV	Orsi ¹			3500	4900	1500	2100	12500	14500	5000	
UR-9	UniTri	Petrini		19000	1000	1000	1000		2000	1000	2000	
UR-10	UniNa	Rapolla			1000	1000			21000	4000		
UR-11	UniPi	Sbrana			4000	4000			9000	9000		
UR-12	CNR-IAMC	Sprovieri			1250	1500	1250	1500	6000	2000		
UR-13	UniBo	Tinti	8000	8000	1250	1250	1250	1250	3000	3000	2000	1000
UR-14	CNR-IGG	Tonarini			1400	1200	600	800	5000	5000		
		TOTALE	59000	78000	33900	31200	12600	15300	84000	67000	16000	2000
GRAN TOTALE: 399000												

¹8000 euros (4000 per year) included under the voice "Consumi e servizi" will be provided to Univ. of Goettingen (D) for research activities under the responsibility of A. Heumann.

PROJECT V3

Sub-Project V3_4 – Vesuvio

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-project V3_4– Somma-Vesuvius

Coordinators:

Edoardo Del Pezzo, Geofisico Ordinario, Osservatorio Vesuviano - INGV., via Diocleziano, 328 80124 Napoli, email: delpezzo@ov.ingv.it, tel:+39 081 6108324 fax:+39 081 6108323

Raffaello Cioni, Professore Associato, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Trentino, 51 Cagliari, I-09127, rcioni@unica.it, tel.: 070 6757714, Fax: 070 282236

State of the art

The high population density and the large variability of its past explosive activity make Somma-Vesuvius (SV) one of the highest-risk volcanoes of the world. Many aspects of its volcanic history, composition of the products and geological structure have been investigated in detail in the past, giving a good, even if still partially incomplete picture of the volcano. The recent experiment of a 3D seismic tomography resulted in a large amount of data which significantly improved our knowledge of the subsurface structure of the volcano, suggesting the presence of a huge, partially molten body at a depth around 8 km and the absence of magma reservoirs larger than 0.3 km in the first 5 km. Petrological studies on melt inclusions in mafic minerals support the existence of a deep magmatic reservoir where magma is stored and starts differentiating. Data from Plinian and sub-Plinian eruptions indicate magma storage and differentiation at shallower levels, thus suggesting the existence, at least in some periods of SV history, of different reservoirs. The large compositional variability of SV products is not compatible with the existence of a unique, large reservoir. Efforts should be directed to obtain a higher resolution of the seismic data so that they can be able to detect small, shallower reservoirs, and to define possible lateral discontinuities in the deep reservoir.

The stratigraphic record of SV activity is characterised by deposits of eruptions of variable Intensity, Magnitude and magma composition. Based on the assumption of a positive relationship between the length of the repose period preceding an eruption and Magnitude and Intensity of the eruption, the present approach of hazard assessment is based on a single scenario defined on a sub-Plinian type Maximum Expected Event (MEE) in the case of a mid-term reactivation. There is now a general agreement on the need to enlarge the spectrum of possible eruption scenarios to events with different Intensity and Magnitude, trying to assess to each scenario its own probability of occurrence.

The identification and quantification of precursory phenomena of a magmatic unrest is still a partially unsolved problem at Vesuvius. Very poor data exist on the past eruptions and an approach only based on analog volcanoes can be misleading. The refinement of the background level of geophysical and geochemical signals is a first step into the definition of the expected precursory signals. The definition of criticality levels for the different geophysical and geochemical signals and the timing of their occurrence is now a top level priority. This can be pursued by a multidisciplinary approach, by using the results of experimental data and numerical modeling.

The problem of hazard assessment at SV has been addressed by considering the multiple aspects of the problem. The present emergency plan is based on a hazard zonation accounting for tephra fallout (yellow zone), pyroclastic flow (red zone) and lahar invasion (blue zone). An improvement of the state of the art can be achieved by integrating field data derived from the study of past eruptions and the results of numerical modeling for different eruption scenarios as indicated by the volcanological studies. The definition of volcanic hazard on a probabilistic basis is a further necessary step to account for the complex behaviour of volcanic systems.

Description of the activities

The project is organized in 4 Tasks, each addressed to answer to one or more of the following fundamental questions:

- Is (are) there a shallow (< 8 km depth) active magma chamber(s) under Somma-Vesuvius and of which depth, size and shape?
- Which are the PTX conditions and rheological characteristics of magmas expected to drive a next eruption?
- Which are the precursory phenomena of an impending eruption and how can they be distinguished from the background signals?
- What can we learn from the past Somma-Vesuvius eruptive history?
- Which are the possible scenarios of the expected eruptions?
- How can we define the criticality levels for the volcano?

In particular, the specific tasks are devoted to: 1) define the deep and shallow plumbing system of the volcano through a multidisciplinary approach which integrates volcanological, magmatological and geophysical data; 2) identify the precursory phenomena in terms of their expected phenomenology and timing by using data from geophysics, volcanology and experimental petrology, in order to define criticality levels for the volcano; 3) improve the present knowledge of the past eruptive history by studying the distal fallout deposits and the main depositional and physical features of pyroclastic density currents of different large to mid-intensity eruptions; 4) obtain a quantitative definition of the eruptive scenario of expected events and of the related hazards.

Task 1 The volcanic structure and the magma feeding system

RU Coordinating: Civetta

RU Participating: Berrino De Vivo, Del Pezzo, Dingwell, Mattei, Nunziata, Santacroce, Scaillet, Patella

Task 1 is aimed at defining in quantitative terms the deep and shallow volcanic structure, and to characterize the different styles of magma evolution (in terms of its composition, rheology and volatile content). A multidisciplinary approach, with the coordination of geophysical, volcanological and petrological research issues, is fundamental for the success of the Task. This will provide the necessary constraints for defining the boundary conditions to the assessment of hazard and criticality levels.

Geophysical and volcanological studies suggest that present Vesuvius magmatic structure is characterized by a deep magma reservoir, whose top is at about 8 km b.s.l. . Shallower magma chambers were formed before eruptions by repeated arrivals of distinct magma batches from the deep reservoir. The style of magma storage and evolution in the deep reservoir regulates magma ascent to the surface. Recent studies suggest that during the post-1631 period several mid-intensity eruptions involved also volatile-rich mafic to mildly evolved magma coming from the depth. The studies will focus now on some eruptions of the Middle Age activity, to extend the existing database and to verify the effective variability of the deep feeding magma. A melt inclusion approach will be used, in order to get information also on the volatile component of this magma (*RU Santacroce*). The direct contribution of deep magma to eruptive activity will also be verified in the products of the few parasitic vents which formed at the feet of the volcano since the Middle Age, in the assumption that magma was issued through these vents without an important interaction with shallow reservoirs (*RU Santacroce, RU Mattei*). To verify this assumption, a structural study will also be addressed to the characterization of the stress field responsible for the formation of these lateral fissures (*RU Mattei*). The presence of shallow level reservoirs has been

always supported by volcanological studies, even if seismic tomography images never showed traces of magma above a depth of about 8 km. Studies will be addressed to a better definition of the depth, size, shape, composition, and internal dynamics of the magma chambers related to the main Plinian and sub-Plinian recent Vesuvius eruptions, to identify the magmatic components present in the reservoirs and the new arrivals of deep magma, and their possible role in triggering eruptions, as well as the processes of pre-eruptive magma crystallization and degassing (*RU Civetta*, *RU Santacroce*). An estimation of the times of magma residence in the reservoirs will be achieved by studying trace element and zoning of single phenocrysts (*RU Civetta*) and by using elemental diffusion techniques in melt inclusion studies (*RU De Vivo*). All these data are fundamental to understand the significance of possible changes in the volcano dynamics revealed by the surveillance data. Eruptions to be studied in detail are those of the last 3500 years of activity, and efforts will be concentrated on some of the presently less studied events (AD 472, AD 512, AD 1631, Middle Age activity, AP eruptions). The Plinian eruptions of Avellino and Mercato will also be investigated. General studies on the phase relations which characterize the different Vesuvius magmas (*RU Scaillet*), the solubility of volatile species at different PTX conditions (*RU Scaillet*, *RU de Vivo*), and the rheological properties of different magmas as a function of their composition, volatile and crystal content (*RU Dingwell*) will give the base for the interpretation of all the results and some of the state equations necessary to the numerical simulation of magma ascent and eruption.

The knowledge of the structure of the volcanic complex is the base for any dynamical model of its behaviour. Recently the seismic tomography has revealed the presence of a huge, partially molten body at a depth of 8 km. The lateral extent of this body is unknown, as well as the details of the Moho depth in the region surrounding SV. Great effort will be given in this project to increase the knowledge of the details of the geological structure beneath SV and the surrounding region, and possibly its actual dynamics. This will be achieved using several approaches. The deformation field will be obtained using DInSAR data. The objective is to have a detailed image of the ground deformation in order to possibly identify actually active structures, and to obtain a physical model of the stress field (*RU Berrino*). Gravity data will be used to investigate the structural setting of SV; the possible time variation of the delta factor will be obtained with continuous data acquisition (*RU Berrino*). Passive seismic data will be used to complement the velocity tomography results with new scattering and attenuation tomography (*RU Del Pezzo*). The detail of the proposed methods could add information about the debated existence of shallow magma bodies. The joint interpretation of the different tomographies will add insights into the physical interpretation of the rock composition. High resolution magnetotelluric surveys will improve the knowledge of the general structure of SV, giving a high resolution imaging of the fault zones (*RU Patella*). A reappraisal of the active seismic profile data will improve the knowledge of the general structure (crust and upper mantle) in the region of SV, with a new constraint given by the study of the teleseismic receiver functions, using data from local BB stations (*RU Del Pezzo*). Such information will be complementary to the one retrieved by the study of seismic velocity dispersion curves, which in turn will be constrained at surface by the study of seismic velocity dispersion of noise (*RU Nunziata*).

Task 2 Identification and quantification of precursory phenomena and definition of criticality levels

RU Coordinating: Del Pezzo

UR Participating: Cioni, Peresan, Pingue, Quarenì, Scaillet

The identification of precursory activity at a dormant volcano is a topical issue for Civil Protection purposes. The distinction between low-level restlessness and precursory activity is not trivial, and the definition of criticality levels for the different geophysical and geochemical signals and the timing of their occurrence can be considered now a top level priority. In Task 2 a multidisciplinary

approach, by using the results of experimental data (both from the geophysics and volcanology) and numerical modeling will be used to define the expected precursory phenomena in the case of a next reactivation of SV and to refine the background levels for the different parameters, in order to assess the levels of system criticality.

The seismic catalogue characteristics will be examined with new statistical algorithms aimed at the quantification of the probability of occurrence for earthquakes with large magnitude (*RU Peresan*). The background seismicity level will be assessed through the analysis of local earthquakes and seismic noise. Emphasis will be given to the detection of the possible insurgence of volcanic tremor and LP quakes, events generated by fluid dynamics. Particular attention will be focused to the monitoring of Shear Wave Splitting and attenuation parameters, in order to detect any their change (*RU Del Pezzo*). Existent ground deformation data sometimes suffered of very long temporal gaps. For this reason, the first step consists in the creation of a high quality and, if possible homogenised, ground deformation data base. Using advanced statistical tools applied to these data, the background level of the ground uplift changes will be calculated (*RU Pingue*). The thermal evolution of SV after the last 1944 eruption will be modeled, having the available temperature measurements as a constraint and some of the result of Task 1 (magma density, specific heat, thermal conductivity, solidus and liquidus temperatures, latent heat of fusion) as input parameters. The result will be checked against the geochemical and geophysical observation (rate of degassing, seismicity, and magnetization) and will be very useful to the interpretation of the background signal (*RU Quarenì*). At Vesuvius, our knowledge of precursory signals for eruptions preceded by a significant dormancy is limited to the 79 AD and 1631 AD eruptions. A volcanological approach for the definition of the style of pre-eruptive magma degassing and the quantification of the timing of magma approach to the surface will be used. The deposits of the initial phases of eruptions preceded by a significant repose will be studied by assessing their volume, volatile composition and content, and timing of the onset of magma ascent to the surface will be assessed from experiments on degassing-induced crystallization (*RU Cioni, RU Scaillet*). The results will constitute an important dataset for the modeling of the expected geophysical and geochemical anomalies.

Task 3 Intensive parameters of past eruptions as deduced from the study of volcanic deposits

RU Coordinating: Di Vito

UR Participating: Santacroce, Zanella

Task 3 is dedicated to complement the study of the volcanic deposits of SV, in order to improve our knowledge about the main physical parameters describing the different past eruptions. This is essential also to the hazard assessment studies of Task 4, and in particular to the evaluation of impacted areas in the past eruptions and to the validation of the results from the numerical simulation of eruptive dynamics. Given the quite large knowledge of most of the SV eruptions, the activity will be limited to two nodal points like the distal distribution of fall ash (both related to fallout phases of sustained eruptions and to co-ignimbrite clouds) and to define some of the main physical parameters of pyroclastic density current deposits of Plinian and sub-Plinian eruptions.

Despite recent advances in the stratigraphic record of Vesuvius, the ash deposits has been poorly characterised and consideration of the associated hazards have not yet been fully addressed. Good records of medial and distal ash deposits are available from outcrops, historical data, lacustrine and marine cores. A cross-correlation between tephra layers recorded within different marine and lacustrine cores (e.g. Lago di Monticchio and Adriatic cores) will be performed in order to evaluate the distal impact of past eruptions of different Magnitude and Intensity (*RU Santacroce*). These data will also provide important constraints to the evaluation of the volume of magma erupted during past eruptions. The deposits of pyroclastic density currents of past eruptions will be studied both in the proximal and medial areas, in order to define the main processes controlling pyroclast dispersal and deposition (*RU Di Vito*). Paleomagnetic TRM studies (*RU Zanella*) on lithic

fragments from the deposits of pyroclastic density current associated to different eruptions (Avellino, AD 472 Pollena, AD 1631) will provide strong constraints to the temperature of these flows to be used for hazard assessment purposes and also to validate the results of the numerical simulations performed in Task 4. Important constraints to the processes of interaction between the pyroclastic density currents and small scale roughness of the substrate (e.g. buildings) will be given by detailed AMS studies of selected local situations (*RU Zanella*), and they will be compared with the results of numerical simulations.

Task 4 Scenario definition, numerical simulation and hazard assessment of expected events

RU coordinating: Cioni

UR Participating: Dellino, Gasparini, Neri, Pareschi, Scandone

The assessment of the volcanic hazard and the definition of the criticality levels for the volcano are the specific questions posed to the volcanological community by the Civil Protection. The answer to these questions has to be direct and circumstantiate, not only an indirect result of wide-ranging researches. Task 4 is mainly devoted to the assessment of volcanic hazard through an integrated approach which uses probabilistic studies on the past activity of SV and other volcanoes, volcanological definition of expected eruption scenarios and numerical simulation of different eruptive scenarios.

A study of the commonly observed precursors during several recent well studied awakening of dormant volcanoes and the proposal of a reliable physical model to explain their causes and role in the subsequent outbreak of the eruption will be done (*RU Scandone*). The objective is a general model for precursors and its possible departures from the model due to the known peculiarities of each volcanic system. The model of precursors based on the chosen analogues will then be compared with the structural model of Vesuvius (Task 1) as well as the known aspects of its past historical renewal of activity (Task 2). A better definition of the chronology of SV activity and of the duration of the quiescence periods preceding the different eruptions will be pursued by using Ar/Ar and ¹⁴C techniques (*RU Cioni*). In order to be prepared to face different types of volcanic emergencies, a Civil Protection system must be aware of the different possible scenarios in the case of a next reactivation of the volcano. Of the different possible scenarios for pyroclastic activity at SV, eruptions characterised by prolonged ash emission activity and violent strombolian phases has been up to now disregarded, even if they are clearly recorded in the stratigraphy of the recent eruptions. These will be studied in detail trying to assess the most important physical parameters (volume, intensity, grain size of the eruptive mixture, volatile content and composition of the erupted magma, duration of the eruption) necessary for the assessment of the related hazards and to the numerical simulation of the involved eruptive dynamics (*RU Cioni*). New developments of the Event Tree technique will be applied to update and complete the volcanic hazard assessment of Mount Vesuvius. This will also implement the results from the research on precursory and scenario definition described above, and on the duration of quiescence periods preceding the different eruptions. A software code (based on fuzzy logic) able to visualize any possible scenarios will be produced (*RU Gasparini*). The output of this code will represent an alternative to the ordinary hazard maps.

The study of the pyroclastic density current deposits related to the past activity of SV will give new indications on the impact parameter of such processes, to be compared with the results of numerical simulations. For the same reason, mesoscale (involving hundreds of kilograms of particles) experiments on the dispersion, transportation and sedimentation of pyroclasts will also be carried on. (*RU Dellino*). Characterisation of recent and past debris flow deposits, including laboratory experiments, and collection of rainfall data in the Campanian area (intensity, duration, recurrence time) will be preparatory for the definition of slope stability of pyroclastic deposits through a probabilistic approach, including different rainfall conditions and different tephra typologies, both

on Vesuvius and Apennine slopes (*RU Pareschi*). Numerical simulations will be performed both for fallout ash and pyroclastic density currents dispersal, and for debris flow as well. The results from all the numerical modelling will be finalised to the construction of thematic hazard maps. The application of the CALPUFF System and the multiphase flow code PDAC for the analysis of the dynamics and hazard of tephra fallout and PDCs, respectively, will be done (*RU Neri*). Improvement of the actual attempts will be achieved improving the present physical formulation of the model in terms of more accurate gas and solid turbulence closures, boundary conditions at the ground, etc ; analyzing the turbulent flow structures, entrainment and deposition processes, vertical concentration, temperature and velocity profiles; produce large- and small-scale simulations of the flow on 3D topographies and urban settlements for scenarios relevant to the hazard assessment. These results will be compared with data obtained in Task 3 from volcanological and paleomagnetic researches, and will be finalised to quantify the main hazardous variables associated to PDCs. The simulation of the PDCs will also provide important input conditions and constrains for the analysis of the atmospheric dispersal produced by co-ignimbrite columns, to be modeled with CALPUFF. Data on ash grain size and dispersal will be derived from the results of different RUs from Tasks 3 and 4. Different types of numerical simulations will be used in the project in order to compare the results. A further implementation of a 2D code for PDC simulation developed during the past GNV project will be specifically written for the conditions generating impulsive multiphase gas-solid flows. A Eulerian-Lagrangian approach will be used. The fundamental flow parameters (temperature, density, concentration, velocity, static and dynamic pressure) and their expected distribution over the territory for the scenarios emerging at Vesuvius will be calculated (*RU Dellino*). Physical and numerical models (including also semi-empirical laws) to define debris flows paths in the expansion areas will also be developed and applied (*RU Pareschi*), in order to obtain maps based on “simulated probability” for the hazard from lahar invasion in the plain surrounding SV.

List of deliverables

Task 1: The volcanic structure and the magma feeding system

Deliverables: - Fine structure of SV deduced from joint tomographic (seismic velocity, attenuation and scattering and MT) interpretation- Constraints to the actual structural model of the region surrounding SV from passive seismic (Receiver function and Surface wave dispersion) and gravimetric data - Definition of the lateral continuity of the deep magma reservoir - Definition of the stress field responsible of lateral fissures - Depth and size of magma chambers related to selected past eruptions - Compositional and thermobarometric features of products from past eruptions - Measures of magma viscosity and yield strength - Style and fluid composition of deep magma degassing

Task 2 Identification and quantification of precursory phenomena and definition of criticality levels

Deliverables: - Definition of the Seismic and Ground deformation dynamic background pattern necessary for the definition and quantification of the background changes. Quantification of seismic precursors based on Shear wave splitting and changes in wave propagation properties. Definition and quantification of the background thermal state of SV - Timing of the onset of pre-eruption magma ascent during past eruptions - Compositions of fluids escaping deep and shallow reservoirs to define the background for geochemical monitoring.

Task 3 Intensive parameters of past eruptions as deduced from the study of volcanic deposits

Deliverables: - Maps of ash dispersal for eruption of different Intensity and Magnitude - General map of total isopachs for all eruptions with distal data constraints - Evaluation of the effects of pyroclastic density current deposits from past eruptions - Estimates of deposition temperatures for pyroclastic density currents from selected events

Task 4 Scenario definition, numerical simulation and hazard assessment of expected events

Deliverables: Absolute ages of a complete sampling of Somma-Vesuvius stratigraphic sequence - Definition of repose time preceding past eruptions - Volcanic scenarios of mid-intensity type events Quantification in terms of probability (event-tree) of the SV hazard - Protocols for the definition of criticality levels of precursors at Vesuvius - Hazard maps from numerical simulations of ash fallout and pyroclastic flow propagation at Vesuvius - Numerical modelling of co-ignimbrite ash dispersal and related hazard maps - Hazard maps based on the impact parameters (ash concentration, temperature, dynamic pressure) for selected pyroclastic flow events - Temporal succession of expected precursors for the next eruption of Vesuvius, and protocols for the definition of criticality levels of precursors at Vesuvius - Definition of the recurrence time of debris flows after an eruption and during periods of volcanic quiescence – Zonation of debris flows source and expansion areas - Maps of hazard zonation for debris flow - Definition of general protocol for lahar related hazard

SUB-PROJECT V3_4 – VESUVIO

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Structure and gefeeding system	Task2 Precursory phenomena	Task3 Eruption parameters	Task4 Scenarios and hazard	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	Unina, INGV-OV	Civetta, D'Antonio, Di Vito	@				32	12 (UniNa)
UR-2	INGV-OV, UniNa, Univ. Clermont Ferrand (FR), CSIC (ES)	Berrino, Ricciardi	@				33	
UR-3	UniNa, Am. Museum New York (USA), USGS (USA), Univ. Tasmania (Australia), Univ. Bristol (UK)	De Vivo, Lima, Webster	@				54	
UR-4	INGV-OV, UniBo, UniNa, UniSannio, INGV-Rm1, INGV-MI, Missouri-Columbia (USA), UniRmTre	Del Pezzo, Saccorotti, Bianco, La Rocca, Maresca, Gaudiosi	@				84	
UR-5	Univ. Muenchen (D), UniRmTre	Dingwell	@				12	
UR-6	UniRmTre, UniFi	Mattei, Funciello	@				46	
UR-7	UniNa, UniTri, UniRm1, INGV-OV	Nunziata, Doglioni	@				43	
UR-8	UniPi, INGV-OV, CNR, Univ. Hawaii (USA), Univ. Paris (FR), UniBa, GFZ-Potsdam (D)	Santacroce, Marianelli, Zanchetta, Fulignati	@		@		54	

UR-9	ISTO-Orleans (FR), UniCa	Scaillet, Pichavant	@	@			26	
UR-10	UniNa, INGV-OV, UniBa	Patella, Petrillo	@				26	
UR-11	UniCa, INGV-CT, INGV-Rm1, CNRS-LSCE (FR), UniPi, Univ. Eugene (OR-USA), CNRS-ISTO (FR), Univ. Cambridge (UK), Univ. Coventry (UK)	Cioni, Bertagnini, Scaillet, Cashman, Andronico		@		@	46	24 (UniCa)
UR-12	UniTri, Russian Academy of Science (RU)	Panza, Peresan, Rotwain		@			21	
UR-13	INGV-OV, UniMol, UniNaII	Pingue		@			31	
UR-14	INGV-OV	Quareni		@			16	
UR-15	INGV-OV, Sopr. Archeol. Na, Soc. Xenia	Di Vito, Isaia			@		14	
UR-16	UniTo, Univ. Hawaii (USA)	Zanella, Lanza, Gurioli			@		26	
UR-17	UniBa, Univ. Wuerzburg (D), Soc. Flowlab Na	Dellino, La Volpe, Zimanowski				@	86	
UR-18	UniNa, INGVRm I	Gasparini, Marzocchi				@	20	24 (UniNa)
UR-19	INGV-Rm1, INGV-OV, UniPi, SNS-Pi, Soc. INC Concorde (USA), Univ. Cambridge	Neri, Esposti Ongaro				@	32	24 (borsa di studio INGV-Rm1)

UR-20	INGV- Rm1, UniPi, UniBa	Pareschi, Favalli				@	27	
UR-21	UniRmTre	Scandone, Plastino				@	40	
Totale							769	84

SUB-PROJECT V3_4 – VESUVIO

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
			2005	2006	Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
UR-1	UniNa	Civetta	19000		1500	1500	1500	2500	2000	8000	2000	
UR-2	INGV-OV	Berrino			1000	2000	3000	3000	6000	4000		
UR-3	UniNa	De Vivo			500	500	2500	2500	9000	9000		
UR-4	INGV-OV	Del Pezzo			3000	3000	6000	6000	20000	20000	3000	3000
UR-5	Uni-Muenchen (D)	Dingwell					5000	3000	15000	10000		
UR-6	UniRmTre	Mattei			1500	1500	1500	1500	2000	4000	2000	
UR-7	UniNa	Nunziata							5000	5000		
UR-8	UniPi	Santacroce ³			5000	5000	5000	5000	19000	18000	2000	2000
UR-9	CNRS-ISTO (FR)	Scaillet B.					4000	5000	12000	11000		
UR-10	UniNa	Patella							9000	9000		
UR-11	UniCa	Cioni ¹	16000	16000	6000	5000	4000	5000	18000	18000	3000	
UR-12	UniTri	Peresan			200	500	1800	2000	2000	2000	1000	500
UR-13	INGV-OV	Pingue			3000	3000			6000	6000	3000	3000
UR-14	INGV-OV	Quareni			1000	1500	1000	1500	5000	6000	4000	2000
UR-15	INGV-OV	Di Vito			2000	500		1500	6000	6000		
UR-16	UniTo	Zanella			5000	4000		1000	8000	8000	2000	
UR-17	UniBa	Dellino			3500	3500	1500	1500	9000	7000		
UR-18	UniNa	Gasparini	19000	19000	1500	1500	1500	2500	2000	2000		
UR-19	INGV-Rm1	Neri ²			2000	2000	1000	2000	6000	5000	2000	2000
UR-20	INGV-Rm1	Pareschi			2000	2500			5500	6500	3000	2000
UR-21	UniRmTre	Scandone			1000	1000	2000	2000	7000	7000		
		TOTALE	54000	35000	39700	38500	41300	47500	173500	171500	27000	14500
GRAN TOTALE: 642500												

¹16000 euros (8000 during the first year, and 8000 during the second year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the Laboratoire du Geochronologie of CNRS-LSCE (Gif sur Yvette Cedex, FR) for research activities under the responsibility of S. Scaillet.

²6000 euros (3000 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to Earth Tech Inc. (USA) for research activities of J. Scire.

³13000 euros (7000 first year, 6000 second year) are for research activities of Dr. Paola Marianelli, within Task 1. 24000 euros (12000 first year, 12000 second year) are for research activities of Dr. Gianni Zanchetta, within Task 3.

PROJECT V3

Sub-Project V3_5 – Vulcano

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-Project V3_5 – Vulcano

Coordinators:

Gianfilippo De Astis, Ricercatore, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano 328, 80124, Napoli email: deastis@ov.ingv.it, Tel. +390816108447, fax: +390816100811

Pierfrancesco Dellino, Professore Ordinario, Dipartimento Geomineralogico - Centro Interdipartimentale per il Rischio Sismico e Vulcanico, Università di Bari, Via E. Orabona, 4, 70124 – Bari. e-mail: dellino@lgxserve.ciseca.uniba.it, Tel: 0805442603; Fax: 0805442591

State of the Art

Vulcano lays along a NNW-SSE oriented regional strike-slip fault acting on a thinned continental crust (18-20 km). The island covers an area of about 22 km² and is entirely made up of volcanic rocks. The last eruption (1888-90 A.D.) gives name to a peculiar type of explosive activity, which is characterized by numerous closely timed eruptive pulses (vulcanian activity).

At present, the island is site of intense fumarolic emissions, which are concentrated on the active crater of La Fossa cone, and of degassing activity on diverse areas of its northern sector. The high temperature of gas emissions, their chemical and isotopic composition and the knowledge of the hydrothermal and magmatic systems, leave no doubt on the presence of magmatic melts under the volcano, which in the future should give way to new eruptions.

Recent investigation that combine the geophysical information on the structure of the crust under the volcano and data deriving from the study of the fluid inclusions in crustal xenoliths, suggest the presence of various type of magmatic reservoirs at different depth, which were active in the recent past and likely represent the sites of preferential storage of present magmas. The eruptive activity of the subaerial part of the island dates back to more than 100 ka and has been characterized by the formation of various volcanic edifices that, over time, migrated from SSE toward NNW.

Recent eruptions, which were characterized by products of shoshonitic to rhyolitic composition, occurred inside a volcano-tectonic structure, La Fossa Caldera. The volcanic apparatus of Vulcanello (active between 183 B.C. and 1550 A.D.) formed along the continuation toward N of this structure. Inside this structure, in older times the most voluminous eruptions of Vulcano occurred, and later on La Fossa Cone formed, which has been the most active centre of the last 6 ka.

The eruptions of Vulcano were characterized by relatively small volumes of eruptive products (fractions of km³) when compared with those of other Italian active explosive volcanoes. Anyway, the particular type of activity, which has been characterized by phreatomagmatic explosions generating pyroclastic density currents (with subordinate amounts of fallout products and lava flows), poses striking questions about the volcanic risk. This is due also to the peculiar distribution of the anthropic activities on the island (the majority of buildings is concentrated at the foot of the active cone of La Fossa) and to the fact that during summer time the population of the island grows up to many thousands people.

Studies on the eruptive mechanisms and on the volcanic hazard have been carried on in recent times at Vulcano, leading to the definition of quite coherent scenarios in the case of a renewal of the eruptive activity from the crater of La Fossa cone. However, eruptive scenarios for other areas of the island, in particular the northern sector of La Fossa Caldera, are lacking. In this area the ascent and eruption of new magma, both in subaerial and subaqueous conditions, needs to be

taken into account. The distinct probability that at longer terms it can lead to explosive activity spreading the products both over Vulcano and Lipari, as occurred in the past and testified by recent studies on the eruptions of Tufi di Grotte dei Rossi, needs to be assessed. Also, hazard maps on which are drawn the contour lines of the probability of the impact parameters expected in a future eruption represent new results to reach in this project. Furthermore, even though quite detailed studies on the structure of the volcano and on the hydrothermal–fumarolic system have been carried out in the recent past, synthetic elaboration of data leading to a clear picture of the levels of criticality of the volcano are lacking.

Description of the Activities

In the time-span of a two years project, a significant improvement of the knowledge on the superficial and deep magmatic alimentations systems, on the volcanic hazard, and on the levels of criticality of Vulcano, can be reached only with a high level of coordination between diverse volcanological, geochemical and geophysical competences. The multidisciplinary approach that is needed for finalizing the project results to the Civil Protection requests, not only requires a tight integration and dissemination of results among research units, but also needs the focusing of efforts on specific priority tasks that then need to communicate and disseminate intermediate results in due time during the project. For this reason, the main themes of the research project are subdivided into three main tasks, each responding to particular requests and each having a coordinator that will serve as a link for the general project focusing and finalization. The three tasks are

Task 1. Eruptive products, eruptive scenarios and hazard

Task 2. Structure of the volcano

Task 3: Levels of criticality of the volcano

In the following we describe in more detail the structure of the Tasks and the relative aims

Task 1. Eruptive products, eruptive scenarios and hazard

RU coordinating (P. Dellino, University of Bari)

RU participating (De Astis, Osservatorio Vesuviano – Naples)

This task will be mainly devoted at understanding how the volcano worked during past eruptions, and which lesson we learn from Vulcano's past behaviour in order to forecast the type and intensity of activity in a future eruption. For this aim, the principal source of information are rocks and rock components. They will be studied by means of an integrated multidisciplinary approach that we hope will help in the products-process characterization, and in particular in constraining the relevant physical parameters representing the source of hazard, i.e. the impact parameters. After such a reconstruction, by means of experiments and calculations, scenarios will be drawn for constraining the possible impact parameters of a future eruption, and a range of expected values will be given and distributed over the territory with the eventual result of obtaining hazard maps.

The first step in this quest will be the precise stratigraphic reconstruction of deposits of the main eruptive periods, which will serve to categorize products as a function of eruptive and transportation processes and of timing and recurrence of eruptive types. This study will be carried on at La Fossa Cone by RU Dellino and at La Fossa Caldera and Vulcanello by RU De Astis.

Scenarios at short terms will consider La Fossa cone as the possible location of a new vent opening and as the most hazardous expected events the type and intensity of the recent

phreatomagmatic eruptions generating dilute pyroclastic density current will be considered. Scenarios at longer terms will consider the likelihood of the possible opening of new vents along the rims of La Fossa caldera and especially in its northern sector, which in the past probably was the source of the most intense explosive eruptions of Vulcano. The assessment of eruption characteristics of these distinct scenarios not only will consist of the volume calculation of products of past eruptions, their dispersal area and measurement of the main structural and textural features of pyroclasts (RUs Dellino and De Astis). A detailed sampling of the most significant eruptive units will also make available carefully selected material on which specific laboratory analysis will be carried on for quantitatively assessing the fragmentation and transportation dynamics of explosive events (multicomponent-multimodal grain size, shape, density and aerodynamic characterization - RU Dellino) and some processes occurred after the emplacement (alteration, pedogenesis - RU De Astis). On selected samples of pyroclastic material rheology and explosion experiments will be carried on (UR Dellino) for reconstructing both the various type of magma fragmentation processes and the budget of mechanical energy released during explosions at Vulcano. Particle characteristics will be also used for reconstructing, by numerical calculation methods, the impact parameters (velocity, particle concentration, density, dynamic pressure) of pyroclastic density currents of the most significant past eruptions. Mechanical energy information and particle characteristics will be also used as input parameters in multiphase numerical simulations, based on an Eulerian-Lagrangian approach, which will help understanding the time-space evolution of pyroclastic density currents and the distribution of impact parameters that we expect in the future scenarios. The simulations, which will be carried on by RU Dellino, will be particularly helpful in understanding the variability of the physical parameters of the currents as a function of vent location and actual topography.

Mesoscale experiments on the transportation, dispersion and sedimentation of particles will be carried on by RU Dellino. They will involve hundreds of kilograms of actual pyroclastic particles, in a controlled environment, by forcing the flow of pressurized gas throughout a modified shock tube with initial pressure and volume of gas and particles suggested by field studies and fragmentation experiments. These experiments will be monitored by sensors, multipoint video analysis and ash trap devices and they will mainly serve for checking the sensitivity and variability of the parameters used in the numerical calculation and simulations, and eventually for validating models hypothesis and assumptions.

We believe that this multidisciplinary approach will lead to assess in a robust way the range of solutions of impact parameters for the expected scenarios and therefore to furnish statistically significant confidence intervals for the impact parameters. The sum of results will allow the obtainment of the distribution over the territory of the basic impact parameters (velocity, density, temperature, particle concentration, static and dynamic pressure) of the potentially dangerous events and this will lead to the construction of hazard maps for the emerging scenarios of explosive eruptions at Vulcano.

This task will strongly benefit from results of other tasks, and in particular from task 2 concerning the location, dimension and characteristics of magma batches located at various depth and from task 3 in understanding what kind of escalation is to be expected, starting from the present state of the volcano, for the triggering of new eruptions.

Task 2. Structure of the volcano

UR Coordinating: P. Bruno (INGV-OV, Naples)

UR Participating: Gambino (INGV- Catania), De Astis (INGV-OV, Naples), De Rosa (Università della Calabria- Cosenza), Romagnoli (University of Bologna) , Piscitelli (CNR – Institute of methodologies for environmental analysis, Potenza), Fedi (Università Federico II, Naples), Dellino (Università di Bari)

Previous volcanological and magmatic studies on young Vulcano products (20 ka to Present) suggest the presence of a complex magma feeding system underneath the present La Fossa Caldera (FC), including the cones of La Fossa and Vulcanello. In the last 20 ka, most of the eruptions occurred inside and along the rims (e.g. Mt.Saraceno, La Roja) of the present FC, involving both mafic and variably evolved magmas. Merging of geophysical and petrological data indicated that at different depths, between ~22 and ~1.3 km, four main crustal discontinuities exist. Potassic magmas can storage and evolve in these “reservoirs”. Evidence of this type must be confirmed and supported by more detailed data coming from different disciplines. Therefore, the definition of the structural relationships between the deeper and the shallower reservoirs (sills, elongated dykes, etc.) is critical to evaluate the future evolution of the plumbing system, the possible uprising of new magmas to the surface, the possible new vents. Moreover, the possible renewal of activity on the island (pre-eruptive scenario and eruptive style) can be determined by the interaction of magmas with different composition (mixing and mingling processes) and by magma-water interaction (i.e. eruption in shallow water). In other words, potassic mafic magmas (Vulcanello type) coming rapidly from deeper levels could interact with the trachy-rhyolitic liquids located at shallower depths, or with sea-water due to vent opening under the sea-level. In this frame, structural and magmatic processes are tightly connected and can originate different kind of events.

In order to fully understand the influence of tectonic lineaments and magma transfer on the plumbing system behaviour and their mutual relationships, geophysical and petrological data have to be collected, processed and synthetically interpreted.

Seismic reflection and seismic refraction data, along 2 selected profiles, together with new high-resolution aeromagnetic surveys in the same areas will be collected (RU Bruno) and provide information on the shallower levels of the crust beneath the FC (main structural boundaries, active faults, buried small-scale structures, etc.). Along the same profiles, 2D high resolution ERT and SP measures will be performed with the same aim and integrated with sub-surface soil temperature (T) and soil gas (SG) measurements (RU Piscitelli). A detailed density imaging of northern FC sectors based on gravimetric survey (in about 100 stations) will be also carried out (RU Dellino), processed through topographic correction and constrained by geo-volcanological and structural evidence. Density contrasts will provide geometries of anomalous bodies underneath that area.

Investigations at larger and deeper scale on the Vulcano structures will be carried out by exploiting the already existing seismic, geodetic, magnetic and geo-electrical data using new powerful software and algorithm (RU Fedi, RU Gambino). A significant improvement in the knowledge of Vulcano seismic activity will be possible through the acquisition of new data from broad band stations, that will replace the short periods ones at the very beginning of the project (RU Gambino). From the analysis of these data, important information on the Tindari-Letojanni regional dynamic and on the deeper crustal levels should derive. Discrete (GPS and levelling) and continuous (tilt and GPS) survey will provide information on the Lipari-Vulcano (i.e. Fossa Caldera) ground deformation pattern (RU Gambino).

The dynamics between different magma reservoirs and magma ascent up to the phases of eruption and emplacement will be studied by RUs De Rosa and De Astis that will operate in close cooperation both in the field work (measures and sampling of FC volcanic successions) and in the choices of products to be analysed. Quantitative description of the products will help in evaluating the magma supply from FC and possible rate in the last 20 ka. Laboratory investigations will increase the data set on the pre-eruptive volatile content of La Fossa and Vulcanello magmas, to constrain degassing processes and flow regime in the conduit. They also will provide a crucial parameter like viscosity with the final aim to know the rheology of the Vulcano melts at the storage depths (RU De Rosa). New geochemical and isotopic analyses on these and other selected FC products will be carried out (RU De Astis) to get a detailed record of the compositional

variations shown by the magmas erupted in the last 15-20 ka, also considering the already available compositional data.

As regard the knowledge of La Fossa structure not directly related to volcanic eruption, but with the dangerous NE sector of the edifice (see also task 3), a new survey of the submarine morpho-structural features will be carried out (RU Romagnoli) and will complete the data set already acquired through the last GNV project.

A close cooperation between all the RUs involved in the Task - 2 aimed to identify the location, shape and features of magma batches located at various depth and the sectors with higher probability of vent opening - has been planned. Contributions to task 1 deliverables can be also foreseen.

Task 3: Levels of criticality of the volcano

UR Coordinating: Inguaggiato (INGV- Palermo)

UR Participating: Diliberto (INGV – Palermo), Gambino (INGV- Catania), Tommasi (CNR – IGAG, Rome), Capaccioni (Università di Urbino)

The present state of the volcano shows that the hydrothermal system is very active as testified by the strong variations in temperatures and fluxes occurred during the '80 and '90, up to present (2004). The increasing of these parameters (e.g. $T=400-500^{\circ}$) indicates that the magmatic system is active and is responsible at least for some of the changes recorded at the surface. Furthermore, the dynamics related to the hydrothermal system can trigger further hazardous phenomena. In fact, sources of risk at Vulcano Island are multiple and not only related to volcanic activity. They range from toxic gaseous phenomena to slope instability possibly affecting La Fossa cone flanks. Therefore, the definition of the critical levels approached by the different geophysical and geochemical parameters is a key-issue for the new researches on La Fossa and surrounding areas. New and already available data set will be elaborated in order to define the background level of the volcano and the criticality threshold that can lead to irreversible hazardous activities.

As regard Vulcano seismicity, earthquakes originating in the area of La Fossa could be associated with both fracturing and degassing processes. The former are likely represented by the occurrence of sporadic swarms of low-magnitude shocks, with shallow foci (< 4 km). The other type of events are related to the background seismic activity and are represented by weaker quakes, which originate at shallower depths (< 1.5 km). However, it is difficult to discriminate between the two types and the seismic background level of the volcano is not really constrained, yet. Geophysical studies by RU Gambino are aimed to characterize the baseline dynamic of La Fossa cone through the reinterpretation of the geodetic and seismic data set. A further better characterization of Vulcano local seismicity and a significant improvement of hypocenter location and source parameters will be carried out, even with the support of new data obtained by using a new broad-band array as already mentioned in task 2.

Levels of criticality deriving from heat flux measures (along vertical axis of the soil) will be studied by Diliberto's RU. The comparison of the thermal gradient in the soil out of the fumaroles area with heat flux estimates obtained through steam output measures and with fumaroles temperatures and even with local seismicity will provide estimation of the different quotes of energy release (heat, steam and CO₂ flows). Interpretation and elaboration of these data, combined with other geochemical parameters deriving from fumaroles, will allow the investigations of trends in the time series, thus leading to the definition of the background levels and to infer on the possible anomalies to be expected close to critical thresholds of La Fossa hydrothermal system.

As regard the slope instability processes affecting the NE sector of La Fossa cone (P.te Nere, Le Forge), the RU Tommasi will study the geotechnical material properties and the weakening of the mechanical strength also due to the circulation of the hydrothermal fluids (in cooperation with

RU Diliberto) for assessing the likelihood of flanks failure.

The impact on the environment of light alkenes and aromatics released from fluids discharge will be evaluated through discrete sampling and subsequent analyses by several methodologies (RU Capaccioni). The same RU will use remote sensing (infrared laser) and accumulation chamber with infrared sensor in order to better estimate the fluxes from La Fossa crater and surrounding areas. A final assessment of the toxic elements for human being will be possible.

New sampling methods and analytical techniques will be developed and tested, also by means of international inter-laboratory standardization for nitrogen isotopic composition (RU Inguaggiato). Coupled with noble gases, these isotopes seem to be very promising in identifying the magmatic imprinting on the fumarolic gases and, in particular, the component deriving from subduction-related processes. Based on 2-years sampling, background levels of $\delta^{15}\text{N}_{\text{N}_2}$ values could also be defined and thus contributing to a better understanding of volcanic criticality.

Results from this task will greatly benefit task 1 for the investigation of the possible escalation toward pre-eruptive scenarios.

List of Deliverables

Task 1. Eruptive products, eruptive scenarios and hazard

1) Databases on the chemical-physical characters of eruptive products and melts

Major and trace elements of glass shards and mineral phases. Newtonian and non Newtonian viscosities of melts. Multimodal-multicomponent size characteristics of pyroclastic particles. Size-dependent density of pyroclastic particles. Hydraulic and aerodynamic coefficients of pyroclastic particles

2) Energy release of explosive eruptions

Budget of mechanical energy of impulsive eruptions subdivided into the shock-wave, fragmentation and transportation components

3) Graph and diagrams of expected scenarios based on probability density functions

4) Codes for the calculation of impact parameters of pyroclastic density currents and applications to the case of Vulcano

5) Hazard maps of pyroclastic density currents and vulcanian events for the short-term and the long-term scenarios.

Task 2. Structure of the volcano

1) 2D cartoon of depth and location of magma reservoirs

2) Map of possible vents opening derived from identification of horizontal and vertical structures (extended to the shallow sub-marine sector around la Fossa cone)

3) Complete geochemical and isotopical data-set of the products erupted during the last 20 ka

4) Trends of temporal variation of magma supply rate during the last 20 ka

Task 3. Levels of criticality of the volcano

1) baseline of Vulcano seismicity with possible discrimination of source mechanisms (fracturing and degassing).

2) Characterization of the degassing hydrothermal system by Heat fluxes and geochemical parameters (Nitrogen, CO₂, toxic fluids) and definition of background levels and criticality thresholds.

3) Geotechnical characterization of the slopes of La Fossa cone for the assessment of the likelihood of flank failures (P.te Nere and Le Forge sectors)

SUB-PROJECT V3_5 – VULCANO

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Scenarios and hazard	Task2 Volcano structure	Task3 Levels of critical ity	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	UniBa, Univ. Wuerzburg (D), Soc. Flowlab Na, INGV-OV	Dellino, La Volpe, Schiavone, Zimanowski, Loddo, Mele, Esti	@	@		95	
UR-2	INGV- OV, UniTo, Univ. Hawaii (USA), UniBo, Open Univ. London (UK), UniCal	De Astis, Piochi, Lanza, Zanella, Tranne, Lucchi	@	@		59	12 (borsa di studio UniTo)
UR-3	INGV- OV, INGV- Rm, CRdC- AMRA Na, Univ Burgos (ES)	Bruno, Chiappini, De Ritis, Montenegro		@		33	
UR-4	UniBo, UniRml, CNR- IGAG	Romagnoli, Chiocci		@		26	
UR-5	CNR- IMAA, CNRS- CEREGE (FR), INGV-PA, Imperial College London (UK)	Piscitelli, Lapenna, Matthai, Revil		@		59	
UR-6	UniNa, INGV-CT	Fedi, Di Maio		@		13	
UR-7	UniCal, INGV- Rml, UniPi, Univ. Hannover (D)	De Rosa, Ventura, Mazzuoli, Holtz, Behrens, Gioncada		@		46	24 (UniCal)
UR-8	INGV-PA, BGR (D), Unam- Mexico	Inguaggiato			@	20	

UR-9	UniUrb, UniFi, UniNaII, UniIns	Capaccioni, Vaselli, Tedesco			@	46	
UR-10	INGV-PA	Diliberto			@	14	
UR-11	INGV-CT, INGV-OV	Gambino, Alparone, Mattia, Ursino, Calvari, Velardita		@	@	60	
UR-12	CNR- IGAG, INGV- OV, UniRm1, UniNaII, UniRm3, CNR- ISMAR	Tommasi			@	24	
Totale						495	36

SUB-PROJECT V3_5 – VULCANO

Table RU and related funding request (Progetto V3_5)

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
			2005	2006	Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
UR-1	UniBa	Dellino			10000	10000	2000	2000	17000	17000	2000	1000
UR-2	INGV-OV	De Astis ¹			7200	6000	1800	1000	12000	23000		
UR-3	INGV-OV	Bruno			6500	2500			27000	1000		4500
UR-4	UniBo	Romagnoli			4000	2000			29000	5000		
UR-5	CNR-IMAA	Piscitelli			4500	4500	2500	2500	3000	5000	2000	3500
UR-6	UniNa	Fedi			1500	1500	1500	1500	2500	2500		
UR-7	UniCal	De Rosa	19000	19000	1000	1000	1500	2000	2000	5000		
UR-8	INGV-PA	Inguaggiato			2000	2000	7000	8000	3000	3000		
UR-9	UniUrb	Capaccioni			5000	5000			1000	1000		
UR-10	INGV-PA	Diliberto			4000	2000	1000	2000	9000	9000		
UR-11	INGV-CT	Gambino			8000	5000	2000	2000	5000	13000		
UR-12	CNR-IGAG	Tommasi			2000	1500			10000	9500		
		TOTALE	19000	19000	55700	43000	19300	21000	120500	94000	4000	9000
GRAN TOTALE: 404500												

¹16000 euros (during the second year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to Univ. of Torino, for the activation of a one-year “borsa di studio” dedicated to the research foreseen by the RU.

PROJECT V3

Sub-Project V3_6 – Etna

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-Project V3_6 - Etna

Responsibles:

Ciro Del Negro, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania, Piazza Roma 2, 95123 Catania, delnegro@ct.ingv.it

Stefano Gresta, Dipartimento di Scienze Geologiche, Università di Catania, Corso Italia 57, 95129 Catania, gresta@unict.it

Augusto Neri, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma1, Centro per la Modellistica Fisica e Pericolosità dei Processi Vulcanici, via della Faggiola 32, 56126 Pisa, neri@pi.ingv.it

Foreword

The project focuses on the hazard assessment at Etna through the development of geophysical and geochemical techniques, the investigation of chemical and physical properties of magmas, the quantitative analysis of monitoring signals for the identification of precursors, the reconstruction of the eruptive history, and the development of physical and numerical models of pre-eruptive and eruptive processes. The variety of the project tasks has led to the creation of a project consortium including many different expertizes from a large number of research Institutes (INGV, CNR, etc.) and Universities. Therefore, the main target of this 2-year project is to make a substantial step forward in the understanding of the different behaviours and critical levels of Mt. Etna and, as a consequence, in the assessment of the different hazards it poses.

State of the Art

Mt. Etna is one of the most active and investigated volcanoes in the world. In particular, the last two decades have represented a time period characterized by a great variety of eruptions and by a large data acquisition, both instrumental and from field surveys. As testified by the conspicuous literature, the present knowledge of the different eruptive styles of the volcano is rather good and includes the study of Plinian eruptions in historical age, small phreatic eruptions at the summit craters, long quiet lava effusions, as well as large flank eruptions. Also the internal structure of the volcano is roughly well-known, even though some crucial questions, as the existence or not of a main magma chamber, remain still unanswered and more detailed information are required for the shallower parts of the volcano. Geological maps of the volcano (funded by the National Geological Survey and other projects) are in progress and many the basic petrologic features of the erupted magmas are known. The eruptive mechanisms of some single eruptions have been well-studied, even if an integrated multidisciplinary approach was often lacking. Significant statistical investigations on the eruptive precursors were lacking too. The modelling and numerical simulation of pre-eruptive processes have been mostly carried out by using inverse models and need to be complemented by promising results coming from direct analytical and numerical models. During the last decades, new modern techniques of volcano monitoring have been also implemented in order to mitigate the volcanic hazard. The amount of available data produced represents a huge database. However, a significant amount of work is still required to understand the volcano

behavior and hazard issues. Different kinds of hazard affect the volcano and the surrounding areas: short-lived explosions (threatening tourists and/or scientists close to the summit craters), ash clouds (threatening civil aviation), lapilli/ash fallout and lava flows (affecting large inhabited areas), earthquakes triggered by magma intrusions, landslide (also submarine), toxic gas emissions (Rn and/or CO₂). Each of these scenarios should be preceded and accompanied by variation of geophysical and geochemical parameters. Nevertheless, strong improvement in terms of evaluation of the statistical significance of that variation, as well as in interpretation needs. Then, the identification and characterization of precursory signals represent a fundamental issue that would drastically improve our capability to forecast the volcanic phenomena, in terms of both time occurrence and magnitude. Moreover, despite the frequent occurrence of eruptive activity, significant steps forwards still need to be done in the quantification of its hazards. Lava flows and the generation of small- to medium-scale ash columns represent certainly the most known hazards. About lava flows, the production of accurate lava flow invasion maps represents an important step for the assessment of the medium and long-term hazard associated to this phenomena. Similarly, the development of reliable quasi real-time lava flow models will allow to forecast different scenarios of lava propagation and to plan the appropriate mitigation measures. As far as the explosive activity is concerned, the recent 2001 and 2002 eruptions of Etna have clearly shown the huge impact of this phenomenon on the metropolitan area of Catania, as well as on the Fontanarossa and Sigonella airports that were forced to interrupt traffic operations with a huge economic loss. On this respect, it is necessary to improve the present observational and forecasting capabilities regarding the dispersal of the ash cloud. It is therefore necessary to produce hazard maps, able to provide robust information on the medium- and long- term hazard, as well as nearly real-time forecasting tools able to simulate the ash clouds dispersal and characteristics. Eruptive events as well as hazard maps should be possibly described in terms of probability of occurrence of specific phenomena at a given place and time by producing probabilistic event/logic trees and also considering the uncertainty associated to the system.

Description of the Activities

During recent decades, new insights on the behaviour of Mt. Etna have been gained regarding the understanding of past eruptive activity, the dynamics of the volcano, the magma transfer processes, and the geophysical and geochemical monitoring. A number of expertises are now available in many fields of investigation but no major effort has been made for an effective integration of this knowledge. Furthermore, many studies so far conducted have been only scarcely finalized to a quantitative assessment of hazard despite the important hazard implications they have. Such a lack of multi-disciplinarity and integration of observations and theoretical studies has been strongly prejudicial to the development of a deeper understanding of the volcano dynamics and to the construction of efficient early-warning systems and hazard assessment facilities. Therefore, in the present project, we avoid a thematic approach - which cannot take into account all the constraints of the system – and develop a multi-disciplinary and integrative approach to the hazard assessment in which all participants contribute with a specific methodological approach.

This project gathers the efforts of 41 Research Units (RU) to the project, belonging to 12 Italian Universities, 4 Foreign Institutions, 4 CNR Institutes, and 7 INGV Sections. To assume an efficient management of this consortium and to build a good communication network, this project, though centrally managed by three coordinators, relies upon seven Tasks managed by specific task coordinators:

- Task 1. Plumbing system and structure of the volcano from the lithosphere to the surface;
Domenico Patanè (INGV-Sezione di Catania);
- Task 2. Physical and chemical properties of magma and volcanic rocks;

- Roberto Moretti (INGV-Osservatorio Vesuviano);
- Task 3. Modelling and simulation of pre-eruptive processes;
Giuseppe Puglisi (INGV-Sezione di Catania);
- Task 4. Identification and characterization of precursors;
Stefano Gresta (Università di Catania);
- Task 5. Reconstruction of the eruptive record and characterization of eruptive typologies and probability of the expected events;
Mauro Coltelli (INGV-Sezione di Catania);
- Task 6. Simulation of lava flows and associated hazard;
Ciro Del Negro (INGV-Sezione di Catania);
- Task 7. Simulation of atmospheric dispersal processes and associated hazard;
Augusto Neri (INGV-Sezione di Roma 1).

For each Task several Working Packages (WP) have been identified to respond to the request of the project. These task coordinators are specialists of the WPs involved in their Tasks. The role of these persons is to coordinate the WPs of their Tasks. They will also ensure a tight communication between RUs and they will organise the WPs.

A brief description of each Task will be presented in the next pages together with a list of expected deliverables (according to the activities planned by each Research University) and the inter-connections between them. A detailed description of the scientific activities is left to the forms compiled by the research Universities.

Task 1. Plumbing system and structure of the volcano from the lithosphere to the surface

RU Coordinating: Patanè D. (INGV-CT)

RU Participating: Burton (INGV-CT), Chiocci (Univ. Roma La Sapienza), Corsaro (INGV-CT), Cristofolini (Univ. Catania), Hirn (IPG-Parigi), Monaco (Univ. Catania), Murru (INGV-RM1), Neri (INGV-CT), Patanè G. (Univ. Catania), Siniscalchi (Univ. Bari), Pompilio (INGV-RM1)

Description of the activity

The knowledge of the plumbing system and structure of the volcano plays an important role in order to improve our understanding of its behaviour. The existence, location and properties of deep and shallow magma bodies are indeed fundamental for a correct interpretation of monitoring data and to better forecast the style of future activity. Magmatic properties, such as composition and volatile contents, are also necessary to better constrain the eruption dynamics. Similarly, the characterization of the volcano structure, in terms of major active faults and fractures but also of physical and mechanical properties, is crucial for a better interpretation of monitoring data and production of susceptibility maps. As a consequence, in this task, the processes governing the magmatic feeding system during the time-evolution of Etna and the mechanisms of magma degassing as well as the behaviour of silicates and volatiles during and after eruption processes, from magma chamber to atmospheric levels, will be investigated. To gain new insights into magma storage and transfer processes we will perform geochemical and petrological modelling at Etna to constrain processes affecting magma properties at depth, quantify rates and time-scales of eruptions of Etna in relationship with storage and transport processes, recognize the geochemical fingerprints of “master events”, and improve the present understanding of deep to shallow degassing processes.

Work-Packages:

1.1 Definition of the plumbing and magmatic system

1.2 Definition of the volcano structure

Deliverables:

- 1.1.1 Location and characteristics of the main magma body
- 1.1.2 Definition of feeding structures and shallow magma batches
- 1.1.3 Determination of composition and volatile content of magma
- 1.2.1 Definition of the edifice and basement structure
- 1.2.2 Distribution of active faults, eruptive fractures and vents
- 1.2.3 Definition of the conduit/dike system within the volcanic pile
- 1.2.4 Influence of regional and local tectonic structures in the magma uprising and stocking
- 1.2.5 Susceptibility maps based on geological, geochemical, magnetic, gravimetric, electrical, seismological, and ground deformation data

Task 2. Physical and chemical properties of magma and volcanic rocks

RU Coordinating: Moretti (INGV-OV)

RU Participating: Armienti (Univ. Pisa), Dingwell (Univ. Monaco, Germania), Paonita (INGV-PA)

Description of the activity

The knowledge of the physical and chemical properties of magma and volcanic rocks are necessary to provide realistic constitutive equations to the interpretation of monitoring data and theoretical descriptions of the eruptive phenomena. Rheological properties of the multiphase magmatic mixture, volatile solubility data, but also density, velocity, permeability, porosity, conductivity and magnetization of the volcanic structure are just some examples of fundamental properties used by direct and inverse models that need further investigations. In fact, any attempt of modelling, for instance, the stability of the volcano (sectorial collapse of the edifice, emplacement of dikes, evolution of pre-eruptive crises) requires some knowledge of the mechanical, electric, magnetic properties of the rocks as well as of the circulation of fluids in the system (in terms of porosity, permeability, etc.). Present-day modelling allows to take into account a large number of parameters but only a few data on the physical properties of volcanic rocks and magmas are available, though essential to constrain and use the theoretical models. Sampling will be conducted following precise geo-statistic rules in order to obtain representative samples. Physical properties measurements will be carried out on specimens of size and shape suited for the specific property investigated. These data will be acquired keeping in mind the fundamental need to provide input data and constraints to the physical models developed. Field experiments of limited extension (from a few meters to a few kilometres) will be also conducted to test the scale-dependency of some variables and parameters.

Work-Packages:

- 2.1 Physical and chemical properties of the magmatic mixture
- 2.2 Physical and mechanical properties of volcanic rocks

Deliverables:

- 2.1.1 Viscosity of the magmatic mixture (vs. composition, crystals, bubbles, volatiles, temperature)
- 2.1.2 Yield strength of the magmatic mixture (vs. composition, crystals, bubbles, volatiles, temperature)
- 2.1.3 Volatile solubility data and correlations
- 2.1.4 Gas diffusivity
- 2.2.1 Visco-elasto-plastic properties of the edifice and their variation with T and P
- 2.2.2 Density and velocity models of the volcanic edifice
- 2.2.3 Permeability, porosity, capillary pressure and texture of the rock fabric

2.2.4 Electrical and thermal conductivity models of volcanic rocks

2.2.5 Zeta potential and wettability of the rock surface

Task 3. Modelling and simulation of pre-eruptive processes

RU Coordinating: Puglisi (INGV-CT)

RU Participating: Bonafede (Univ. Bologna), Carbone (INGV-CT), Giunchi (INGV-RM1), Saccorotti (INGV-OV)

Description of the activity

This task is devoted to the development, validation and application of theoretical models of pre-eruptive processes typical of Etna's activity. The models developed will employ the observational and experimental data determined in Tasks 1 and 2 and will represent an effective tool to better interpret the monitoring data during pre-eruptive phases. In fact, in order to identify and interpret correctly the sources of the broad band of geophysical signals associated to volcanic activity, it is of the uttermost importance to properly model the deformation, seismic, gravity, magnetic, and electric fields, as well as their changes with time. To this aim, several advanced numerical tools are available today. Models able to correlate the edifice deformations observed to a specific source, taking into account the perturbations due to the topography and medium elasto-visco-plastic properties, will be developed. Similarly, models describing the dynamics of the intrusion of the multiphase magmatic mixture into the conduit/dike system will provide further constraints in the interpretation of monitoring data and eruptive mechanisms occurring during the magma ascent.

Work-Packages:

3.1 Deformation modelling

3.2 Magma intrusion modelling

Deliverables:

3.1.1 1D/2D Analytical models of medium deformation

3.1.2 2D/3D transient models of stress/strain fields due to the action of conduits, dikes, etc.

3.1.3 Temporal simulation of expected deformation and potential fields

3.1.4 Experimental analogue models of structure deformation and collapse

3.2.1 Multidimensional, multiphase and transient models of magma intrusion in conduit/dikes

3.2.2 Fluid-structure models of magma intrusion with phase-change and heat transfer to conduit walls

Task 4. Identification and characterization of precursors

RU Coordinating: Gresta (Univ. Catania)

RU Participating: Berardino (CNR-Napoli), Burton (INGV-CT), Fedi (Univ. Napoli), Gurrieri (INGV-PA), Meloni (INGV-RM2), Moretti (INGV-OV), Mulargia (Univ. Bologna), Nunnari (Univ. Catania), Pergola (CNR-Potenza), Privitera (INGV-CT), Puglisi (INGV-CT), Ripepe (Univ. Firenze)

Description of the activity

This task is focused on the identification and characterization of precursory signals and therefore is strongly based on the quantitative analysis of data coming from monitoring activity. Complete and long time-series of geophysical, geochemical and petrologic data are indeed available at Mt. Etna. An objective of this task is to combine multi-disciplinary real-time data (such as seismic, geodetic,

magnetic, electric, gravity, electromagnetic, resistivity, gas emissions) and analyzed them applying methods ranging from the classical ones (i.e. cross-correlation analysis) to new pattern recognition algorithms (i.e. neural networks). Blind tests will also be done. Quantitative definition of precursors - in terms of threshold values, time-window of validity, kind of “predicted” eruptions needs - as well as validation of precursors - in terms of number of successes, false alarms, and failed predictions - are the main goals. Attention will be paid to the definition of the “background level” of a given parameter, as well as the “critical levels” that define the transition between different stages of activity of the volcano.

Work-Packages:

4.1 Background levels of signals at Etna

4.2 Identification of precursory signals

Deliverables:

4.1.1 Definition of the ranges of variation of geophysical, geochemical, petrologic, etc. data representing the background levels at Etna

4.1.2 Definition of “critical levels” for each monitoring signal

4.2.1 Creation of a multi-parametric database of monitoring signals

4.2.2 Quantitative statistical models for the identification and quantification of precursory signals

4.2.3 Analysis of Coulomb stress failure (magma intrusions triggering earthquakes and large earthquakes favouring magma intrusions)

4.2.4 Automatic or semi-automatic warning systems for forecasting eruptive events

Task 5. Reconstruction of the eruptive record and characterization of eruptive typologies and probability of the expected events

RU Coordinating: Gresta (Univ. Catania)

RU Participating: Incoronato (Univ. Napoli), Milano (Univ. Napoli), Monaco (Univ. Catania), Pompilio (INGV-RM1, Pisa)

Description of the activity

This task is devoted to the production of an as much as possible complete record of the Etna eruptive history through the completion and integration of existing studies and datasets on the history of the volcano. In particular, it is necessary to integrate the knowledge coming from the detailed reconstructions of deposits with the information deriving from catalogues and historical chronicles. Each eruptive event reported in the so obtained catalogue will also be classified in terms of the main properties characterizing the phenomenon such as its typology, age, magnitude, intensity, composition, product dispersal, and so on. The final dataset will indeed represent the basic information for the carrying out of numerical simulations of the eruptive phenomena and for the quantification of the related probability of occurrence. On the basis of the eruptive record and the analysis on monitoring data it will be possible to identify the scenarios and eruptive typologies that should be investigated for hazard purposes. A formal way to do this is to implement and use statistical tools and techniques, such as the Bayesian approach through the definition of Event and Logic Trees, able to quantify the probability of occurrence of a specific event. By using these techniques is also possible to take into account the uncertainty related to the dynamics of the eruptive process itself as well as the uncertainty related to the lack of knowledge.

Work-Packages:

- 5.1 Reconstruction of the eruptive history on the basis of geological and paleomagnetic studies and of historical chronicles
- 5.2 Characterization of expected eruptive categories
- 5.3 Statistical analysis of the eruptive records and definition of Event Trees (ET)

Deliverables:

- 5.1.1 Database of the eruptive history as reconstructed on the basis stratigraphic and paleomagnetic studies
- 5.1.2 Database of the eruptive history on the basis of historical chronicles and catalogues
- 5.1.3 Integrated database summarizing the whole eruptive history
- 5.2.1 Definition of eruption categories to be considered in the hazard scenarios
- 5.2.2 Characterization of eruption categories in terms of magnitude, intensity, composition, product properties
- 5.3.1 Characterization of the volcano behaviour in terms of recurrence time, steadystate vs. cyclic behaviour

Task 6. Simulation of lava flows and associated hazard

RU Coordinating: Del Negro (INGV-CT)

RU Participating: Crisci (Univ. della Calabria, CS), Dragoni (Univ. Bologna), Fortuna (Univ. Catania), Pareschi (INGV-RM1, Pisa)

Description of the activity

The quantitative description of the dynamics of the eruptive phenomena requires the development, validation and application of accurate and robust physico-mathematical models able to forecast the spatial and temporal evolution of the volcanic processes. In particular, given the most common styles of activity exhibited by Mt. Etna, the development of lava flow models has a high priority. Existing and new models based on different physical formulations and approaches (deterministic versus probabilistic, Eulerian vs Lagrangian, one-dimensional versus multidimensional, homogeneous versus multiphase, etc.) will be developed and applied to real cases in order to make model inter-comparisons and more robust forecasts of the phenomena. Models will also use, as much as possible, data deriving from the other tasks such as observational data, for model validation, and experimental data, for constitutive equations.

This task is also aimed at the carrying out of products able to provide quantitative estimates of the lava flow hazard at Mt. Etna. These include hazard maps able to identify the most dangerous areas surrounding the volcano as well as numerical forecasting simulations to be used during the crisis for the quantitative description of the phenomena. Forecasting simulations should be used in quasi real-time in order to predict the evolution of the phenomena and their hazard on the surroundings. Quantification of hazard in terms of probability according to the lines described in the Task 5 will be possibly pursued.

Work-Packages:

- 6.1 Modelling and simulation of lava flows.
- 6.2 Medium- and long-term hazard mapping.
- 6.3 Hazard forecast simulations.

Deliverables:

- 6.1.1 2D/3D deterministic models of lava flows
- 6.1.2 Numerical simulation results describing the evolution of single lava flows and their dynamics
- 6.1.3 Probabilistic models of lava flow and estimates of invasion areas

- 6.1.4 Inter-comparison between models
- 6.2.1 Hazard maps of lava invasion
- 6.3.1 Simulation forecasts of lava flow invasion areas
- 6.3.2 Simulation forecasts of lava flow evolution

Task 7. Simulation of atmospheric dispersal processes and associated hazard

RU Coordinating: Neri (INGV-RM1, Pisa)

RU Participating: Pareschi (INGV-RM1, Pisa), Taddeucci (INGV-RM1)

Description of the Activity

Etna's activity is characterized by tephra fallout episodes mostly produced by weak ash plumes. During recent eruptions such low-energy ash-generating phases have produced considerable damage and disruption to the surrounding towns as well as major economic losses for the impact on operations at the nearby Fontanarossa Airport. However, in the last 10000 years, Etna has also produced a few basaltic Plinian eruptions with a significant impact on the surrounding environment. Currently, quantitative fallout hazard maps for land-use planning and human hazard assessment, as well as forecasting tools to describe the movements of ash during an eruptive crisis at Etna do not exist. To partially face these needs, a preliminary modelling tool able to describe the dynamic of the atmospheric dispersal process will be developed and applied in the present project. This code will allow to forecast the atmospheric dispersal and ground deposition of ash under the forcing of realistic time-varying and 3D meteorological conditions. Validation of the model will be also carried out through a comparison between model predictions and observations. To this aim, particularly useful will be the collection of remote sensing data able to map in 2D volcanic ash and aerosols using satellite optical data as well as the collection and reconstruction of ground deposition data on a systematic basis. Hazard maps for some selected small-scale scenario and related numerical simulations of ash dispersal will be carried out.

A deeper understanding of the mechanisms leading to the generation of ash during eruptive phases at Etna will be also gained through laboratory experiment of the fragmentation of basaltic melts under different conditions. In particular, experiments will focus on non-hydromagmatic fragmentation mechanisms with variable groundmass crystallization and at various operative conditions.

Finally, substantial experience on the impact of fine ash on health, gained in the eruption of the Soufriere Hills volcano, Montserrat, will be transferred and further extended to Etna. Work is planned on modelling ash hazards for environment and human health effects and for the socio-economic impacts of life-line and transport disruption caused by ash fallout. The long-term aim is to combine new modelling capabilities for these problems and to develop integrated hazard maps and forecasting simulations as output.

Work-Packages:

- 7.1 Modelling and simulation of ash dispersal.
- 7.2 Medium- and long-term hazard mapping.
- 7.3 Hazard forecast simulations

Deliverables:

- 7.1.1 1D/2D/ 3D models of the eruptive plume
- 7.1.2 2D/3D models of ash cloud dispersal
- 7.1.3 Numerical simulation results of the dynamics of the rising plume
- 7.1.4 Numerical simulation results of the dynamics of the ash cloud dispersal
- 7.1.5 Inter-comparison between models

7.2.1 Hazard maps of lava invasion

7.2.2 Hazard maps of ash fallout

7.3.1 Simulation forecasts of ash dispersal in the atmosphere

7.3.2 Simulation forecasts of ash dispersal on the ground

7.3.3 Simulation forecasts of the hazardous actions produced by the ash

List of deliverables

Task 1. Plumbing system and structure of the volcano from the lithosphere to the surface

Deliverables: Location and characteristics of the main magma body - Definition of feeding structures and shallow magma batches - Determination of composition and volatile content of magma - Definition of the edifice and basement structure - Distribution of active faults, eruptive fractures and vents - Definition of the conduit/dike system within the volcanic pile - Influence of regional and local tectonic structures in the magma uprising and stocking - Susceptibility maps based on geological, geochemical, magnetic, gravimetric, electrical, seismological, and ground deformation data.

Task 2. Physical and chemical properties of magma and volcanic rocks

Deliverables: Viscosity of the magmatic mixture (vs. composition, crystals, bubbles, volatiles, temperature) - Yield strength of the magmatic mixture (vs. composition, crystals, bubbles, volatiles, temperature) - Volatile solubility data and correlations - Gas diffusivity - Visco-elasto-plastic properties of the edifice and their variation with T and P - Density and velocity models of the volcanic edifice - Permeability, porosity, capillary pressure and texture of the rock fabric - Electrical and thermal conductivity models of volcanic rocks.

Task 3. Modelling and simulation of pre-eruptive processes

Deliverables: 1D/2D Analytical models of medium deformation - 2D/3D transient models of stress/strain fields due to the action of conduits and dikes. - Temporal simulation of expected deformation and potential fields - Experimental analogue models of structure deformation and collapse - Multidimensional, multiphase and transient models of magma intrusion in conduit/dikes - Fluid-structure models of magma intrusion with phase-change and heat transfer to conduit walls.

Task 4. Identification and characterization of precursors

Deliverables: Definition of the ranges of variation of geophysical, geochemical, petrologic data representing the background levels at Etna - Definition of “critical levels” for each monitoring signal - Creation of a multi-parametric database of monitoring signals - Quantitative statistical models for the identification and quantification of precursory signals - Analysis of Coulomb stress failure - Automatic or semi-automatic warning systems for forecasting eruptive events.

Task 5. Reconstruction of the eruptive record and characterization of eruptive typologies and probability of the expected events

Deliverables: Database of the eruptive history as reconstructed on the basis stratigraphic and paleomagnetic studies - Database of the eruptive history on the basis of historical chronicles and catalogues - Integrated database summarizing the whole eruptive history - Definition of eruption categories to be considered in the hazard scenarios - Characterization of eruption categories in terms of magnitude, intensity, composition, product properties - Characterization of the volcano behaviour in terms of recurrence time, steady-state vs. cyclic behaviour - Definition of logic trees of events - Identification of the probability density distribution of relevant events - Definition of a stability criterion - Characterisation of the volcano in terms of recurrence time.

Task 6. Simulation of lava flows and hazard assessment

Deliverables: Mps of laser scanner intensity - Updated Etna topographies - 2D/3D deterministic models of lava flows - 3D model for the formation of lava tubes - Numerical simulation results describing the evolution of single lava flows and their dynamics - Probabilistic models of lava flow

and estimates of invasion areas - Hazard maps of lava invasion - Simulation forecasts of lava flow invasion areas - Simulation forecasts of lava flow evolution.

Task 7. Simulation of ash clouds and hazard assessment

Deliverables: 1D/2D/ 3D models of the eruptive plume - 2D/3D models of ash cloud dispersal - Numerical simulation results of the dynamics of the rising plume - Numerical simulation results of the dynamics of the ash cloud dispersal - Energy budget for the formation of ash by different eruptive styles - Hazard maps of ash fallout - Simulation forecasts of ash dispersal in the atmosphere and at the ground - Simulation forecasts of the hazardous actions produced by the ash.

UR-9	UniCal, CNR- IRPI, INGV-CT	Crisci						@		46	12 (UniCal)
UR-10	UniCt, INGV-CT	Cristofolini, Ferlito	@							44	
UR-11	INGV-CT, Univ. Paris XIII (FR), Univ. Florida (USA), UniBo, NIED Tsukuba (JP), Shizuoka Univ. (JP), Tohoku Univ. (JP), Soc. Hitachi Ltd (JP), UniRm1	Del Negro, Herault, Coltelli, Napoli, Marsella						@		65	
UR-12	Univ. Muenchen (D), UniRmTre	Dingwell, Hess		@						12	
UR-13	UniBo, UniBa	Dragoni, Tallarico						@		18	18 (UniBo)
UR-14	UniNa	Fedi, Roberti				@				12	
UR-15	UniCt	Fortuna						@		12	
UR-16	UniRm1, UniBo, INGV-CT	Giunchi, Cianetti, Bonafede			@					38	
UR-17	UniCt, INGV-CT, INGV- Rm1, UniUd, Colenco Baden Baden (CH)	Gresta, Privitera, Marzocchi				@				58	24 (UniCt)
UR-18	INGV-PA, UniCt	Gurrieri				@				25	
UR-19	IPG Paris (FR), INGV-CT, CSIC Barcelona (ES)	Hirn, Langer	@							20	24 (IPG Paris)
UR-20	UniNa, CNR- IAMC	Incoronato					@			20	
UR-21	INGV- Rm2	Meloni				@				13	
UR-22	UniNa	Milano, Di Maio					@			42	
UR-23	UniCt	Monaco, Tortorici	@							28	24 (UniCt)

UR-24	INGV-OV, INGV-PA, INGV-CT, INGV-Rm1, UniPa, McGill Univ. (CA)	Moretti, Baker		@		@				40	
UR-25	UniBo, Univ. Montpellier (FR)	Mulargia				@				14	24 (UniBo)
UR-26	INGV-Rm1, ETH Zurich (CH), NIED Tsukuba (JP), INGV-CT, UniCt, UniMe	Murru	@							41	
UR-27	INGV-Rm1, INGV-CT, INGV-OV, Soc. ET Concorde (USA), Univ. Cambridge (UK), Soc. Aspinall (UK), Univ. Bristol (UK), Univ. Libre Bruxelles (B)	Neri A.						@		36	
UR-28	INGV-OV, CNRS-LPS (FR), INGV-OV, INGV-PA, INGV-Rm1, UniRm3, UniPa	Neri M., Allard, Bencke	@							54	
UR-29	UniCt	Nunnari				@				10	
UR-30	INGV-PA, UniPa, CNRS-ISTO (FR)	Paonita, Scaillet B.		@						30	
UR-31	INGV-Rm1, CNR-IGG, INGV-CT, INGV-Rm2, UniRmTre	Pareschi, Mazzarini, Merucci, Favalli	@					@	@	62	

SUB-PROJECT V3_6 – ETNA

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
			2005	2006	Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
					2005	2006	2005	2006				
UR-1	UniPi	Armienti			3000	3000			4000	4000		
UR-2	CNR-IREA	Berardino			1000	1000			2000	2000	2000	2000
UR-3	UniBo	Bonafede	10000	10000	1500	2000	1500	2000	5000	5000	1000	
UR-4	INGV-CT	Carbone			1000	1000	3000	3000	8000	8000	2000	2000
UR-5	INGV-CT	Burton			2000	1000	7000	4000	4000	4000		
UR-6	UniRm1	Chiocci			3000	3000			34000	11500	3000	2500
UR-7	INGV-CT	Coltelli ¹			3000	4000			12000	13000		
UR-8	INGV-CT	Corsaro			2000	2000	4000	4000	5000	4000		
UR-9	UniCal	Crisci		16000	1000	1000	3000	3000	7000	5000	4000	
UR-10	UniCt	Cristofolini			2000	2000	1000	1000	5500	5000	1500	1000
UR-11	INGV-CT	Del Negro ²			1500	1500	4000	4000	12000	13000	5000	5000
UR-12	Uni-Muenchen (D)	Dingwell					2000	2000	6000	6000		
UR-13	UniBo	Dragoni	8000	16000	500	500	1500	1500	1000	1000	2000	2000
UR-14	UniNa	Fedi			2000	2000	2000	2000	4000	4000		
UR-15	UniCt	Fortuna			500	1000	1500	2000	7000	6000		
UR-16	INGV-Rm1	Giunchi			1500	1500	2000	2000	2000	5500	2500	
UR-17	UniCt	Gresta	19000	19000	2000	3000	2000	2000	10000	10000	1000	2000
UR-18	INGV-PA	Gurrieri			500	500	1500	1500	5000	5000	5000	5000
UR-19	IPG Paris	Hirn	16000	16000			2000	2000	2000	2000		
UR-20	UniNa	Incoronato			4000	2500		1500	4000	4000		
UR-21	INGV-Rm2	Meloni			1200	1200	1800	1800	3000	3000	3000	3000
UR-22	UniNa	Milano			2000	2000	1000	1500	2500	3500	1500	
UR-23	UniCt	Monaco	16000	16000	2000	2000			5000	5000	2000	2000
UR-24	INGV-OV	Moretti ³			5000	5000			6000	8000	6000	
UR-25	UniBo	Mulargia	19000	19000	2000	2000	2000	2000	3000	2000		2000
UR-26	INGV-Rm1	Murru			2000	1000		1500	2000	1500		
UR-27	INGV-Rm1	Neri A. ⁴			4000	4000	4000	4000	19500	19000	5000	8000
UR-28	INGV-CT	Neri M.			2000	1500		1500	3000	2000		

UR-29	UniCt	Nunnari		16000	2000	2000			2000	2000		
UR-30	INGV-PA	Paonita ⁵			1500	1500	3000	3000	10000	10000		
UR-31	INGV-Rm1	Pareschi			5000	5000			17000	17000		
UR-32	INGV-CT	Patanè D.			2000	2000	6000	6000	9000	7500	3000	2000
UR-33	CNR-IMAA	Pergola			4000	4000			3500	3500	1500	1500
UR-34	INGV-Rm1	Pompilio			2000	2000	3000	3000	8000	8000		
UR-35	INGV-CT	Privitera			1000	2000	3000	3000	3000	4000	2000	
UR-36	INGV-CT	Puglisi			2000	2000	6000	6000	2500	2000		
UR-37	UniFi	Ripepe	19000		2000	2000			1000		2000	2000
UR-38	INGV-OV	Saccorotti			1000	1000	3000	3000	5000	5000		
UR-39	UniBa	Siniscalchi			7000	5000		2000	6000	6000		
UR-40	INGV-Rm1	Taddeucci ⁶			600	700	1400	1300	9000	9000		
		TOTALE	107000	128000	82300	80400	72200	77100	259500	236000	55000	42000
GRAN TOTALE: 1139500												

¹8000 euros (4000 during the first year, and 4000 during the second year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to CNR-IDPA (Milano) for research activities under the responsibility of D. Groppelli. 5000 euros during the second year, included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the society “Aspinall & Associates (Beaconsfield, UK), for research activities under the responsibility of W. Aspinall.

²8000 euros (4000 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to Dip.to Scienze della Terra, Univ. La Sapienza (Roma) for research activities under the responsibility of M. Marsella.

³8000 euros (4000 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to McGill University (Canada) for research activities under the responsibility of D. Baker.

⁴12000 euros (6000 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to Earth Tech Inc. (USA) for research activities of J. Scire. 12000 euros (6000 each year) under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the society “Aspinall & Associates (Beaconsfield, UK), for research activities under the responsibility of W. Aspinall.

⁵6000 euros (3000 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to CNRS-ISTO (Orleans, FR) for research activities under the responsibility of B. Scaillet.

⁶15000 euros (approx. 7500 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the Physikalisch-Vulcanologisches Labor, Univ. of Wuerzburg (D) for research activities under the responsibility of B. Zimanowski.

PROJECT V3

Sub-Project V3_7 – Pantelleria

Responsibles:

Paolo Papale, INGV Roma1
Stefano Gresta, Univ. Catania

Project V3

Sub-Project V3_7 – Pantelleria

Coordinators:

Walter D'Alessandro, Researcher, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Palermo., via Ugo La Malfa 153, 90146 Palermo, w.dalessandro@pa.ingv.it, tel 091-6809409, fax 091-6809449

Luigi Tortorici, Professore Ordinario, Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Scienze Geologiche, C.so Italia, 55 Catania, tortoric@unict.it, tel.: 0957195721, fax 0957195728

State of the Art

The island of Pantelleria represents the top of a large active volcano developed on the Africa continental crust in front of the Sicilian-Maghrebian thrust system. The volcano is located within a NW-SE trending tectonic depressions related to the opening during the Neogene-Quaternary of a rift system within the Pelagian Block. The area is characterized by a continental crust less than 20 km thick, by a relatively high heat flow (100 mW/m^2) and by positive Bouguer anomalies ranging between +40 and + 80 mGal. The structural setting of the island is strictly related to the rifting processes acting in this area and its large-scale setting is characterized by two main discontinuity systems trending NW-SE and N-S, respectively. The former structures have been interpreted as right-lateral strike-slip faults whereas the latter as normal faults. The overall geometry of these structures, due to Late Quaternary to Present deformation, has been interpreted as a large scale composite pull-apart basin whose general architecture controls the volcanism of Pantelleria. The island is also characterized by an intense ground fracturing associated to both volcanic and tectonic activity. These minor structures show a more complex pattern characterized by the occurrence of four systems of discontinuity that only partially correspond to the regional trends. The volcanism of the island was characterized by both effusive and explosive eruptions fed through time by minor mafic and predominant per-alkaline silicic magmas (pantellerites). The early history of the island (300-45 ka) was dominated by widespread acidic and peralkaline pyroclastic flows, subordinate fall-deposits and lavas, and two concentric caldera collapses. The first formed around 110 ka and the second at 45 ka, just after the emission of the Green Tuff ignimbrite (GTI). The most recent activity (< 25 ka) is characterized by widely diffused intracaldera pantelleritic (and subordinate trachytic) pumice fall deposits and subordinate small-volume pyroclastic flows and surges. Radiocarbon dating gave ages of 4-5 ka for the latest silicic activity, whereas historical records describe a basaltic eruption occurred in 1891, along NW-trending fissures, offshore northwest of the island. Silicic eruptions have mainly produced three types of volcanoes: pumice cones, shield volcanoes and partially collapsed edifices. Pumice cones are composed of fallout beds and pyroclastic-current deposits intercalated with variably welded layers. Shield volcanoes are built up by eruptions which began with explosive phases, continued with generation of spatter-fed agglutinates, and ended with massive lavas. Eruptions of per-alkaline magmas, characterised by high fluidity despite of their high viscosity, are the result of a complex combination of physico-chemical processes. The most recent volcanism is strictly related to the dynamics of the resurgence. Basaltic eruptions have generated cinder cones and lava flows. The island is also characterized by hydrothermal manifestations, including fumaroles and hypothermal to boiling waters, testifying to the existence of an active hydrothermal system. Recent studies highlighted also a huge diffuse CO_2 degassing of the island mainly concentrated in two anomalous degassing areas (Favara Grande area and Specchio di Venere lake). In these areas, located inside the most recent caldera, CO_2 levels lethal to small animals are often reached and worry about human health has sometime been

expressed. Moreover recent surveys evidenced in these areas also high levels in soil Rn, which creates also concern for human health. Furthermore the lake Nyos disaster highlighted the potential hazard connected with lakes in quiescent volcanic areas. The lake Specchio di Venere being located in one of the most exhaling areas could act as a potentially dangerous CO₂ trap. Pantelleria is also affected by recent deformation highlighted by an EDM and GPS monitoring network operating since 1978 by the INGV-Ct and covering the entire island. Strong geological and geophysical evidences, acquired through these geodetic techniques, support a recently proposed model that postulates the presence of a currently deflating shallow magma chamber. In this framework, in 1999 three tilt and GPS permanent stations have also been installed and new short-term ground deformation researches have been carried out to improve the monitoring of the volcanic hazard in this island. Moreover, a successful experiment with InSAR technique has been applied and better informations about the location of the shallow magmatic source have been achieved. Finally, in order to cover an important deficiency in the geophysical dataset, two permanent broadband seismic stations are going to be deployed by INGV-Ct on the island with the aim to classify the volcanic-related seismic aspects of Pantelleria and to improve the geometry of the seismic network in the area of the Sicily Channel.

Description of the Activities

The project is organized in 4 Tasks devoted to define: i) the major volcano-tectonic features of the island, ii) the short and long term ground deformation, iii) the definition of the magmatic and geothermal degassing and iv) the possible hazard scenarios.

Task 1. Volcano-tectonic features and feeding system

The task 1 is organized in two major research lines. The first concerns researches on the volcanic products to define the volcanological history and to evaluate the possible eruptive scenarios occurring in the island, whereas the second line is devoted to define the major volcano-tectonic structures and the lithospheric features of the volcano.

Volcanic products

UR coordinating: Orsi (Osservatorio vesuviano-INGV)

UR Participating: D'Antonio (Univ. Napoli), Landi (INGV-Pisa), Lanzafame (INGV, Catania), Rotolo (Univ. Palermo)

To define the volcanic history of the island, firstly field investigations, carried out using standard field survey techniques, will be performed to reconstruct a detailed stratigraphy of the more recent products (< 20 ky) also revising unpublished geological maps. Relationships between volcanic bodies and palaeomorphology will be also investigated. Field investigations will be aimed to define the shape of the exposed rock bodies and their geometric relations. Studies will be realized to define the sedimentological features and dispersal of pyroclastic deposits (thickness, and maximum pumice and lithic clast of beds) and the rheomorphic characteristics of the variably welded deposits. In particular some key areas such as Mursia cinder cones and basaltic lava flows, and the silicic Cuddia di Mida pumice cone, Cuddia Mueggen shield and Cuddia Randazzo partially collapsed edifice will be accurately investigated. Moreover geo-volcanological investigations of the Agrigento-Sciaccia coast will be carried out to verify the occurrence of volcanoclastic products related to known and unknown submarine eruption occurred on the Pantelleria district.

Laboratory studies on collected samples will include whole rock chemistry (XRF, ICP-AES, ICP-MS) as well as petrographic and compositional study of mineral and glass phases (SEM-EDS, EPMA). The results will permit to identify melt/mineral equilibria and, as a whole, to define the evolutionary history of the studied magmas. A melt inclusions study will be mainly directed to the determination of the volatile abundance. H₂O and CO₂ will be measured by means of FT-IR

spectroscopy in naturally quenched glasses. Chlorine and fluorine abundance, as well as major elements, will be measured in melt inclusions and residual glass by EPMA. Comparison and feedback with the results of experimental petrology obtained by UR-Rotolo will provide further constraints to the chemico-physical parameters of these magmas. The data obtained on the abundance of the different volatile components dissolved in melt in pre-eruptive conditions will be used to estimate the volatile pressure and the depth of storage of the different magmas at the time of crystallisation, taking also into account the contribution of the high abundance of halogens to the total volatile pressure. The relative variations of volatiles with different solubility will give insights into the degassing path of these magmas in pre-eruptive conditions, and will permit to assess the relationships between degassing modality and eruptive style of Pantelleria magmas. Isotopic analyses (Sr, Nd, Pb, B, O) will be also performed by TIMS at O.V., I.N.G.V. (Napoli) and at I.G.G., C.N.R. (Pisa). Rheological and thermodynamic properties will be moreover determined at Munich University measuring viscosity-temperature relationships, glass transition temperature, heat capacity, thermal history and effect of H₂O on viscosity. The shear dry viscosity in the T range 1600-1100°C will be measured using a rotational viscometer. The dry and hydrous viscosity in the T range 400-800°C will be investigated using the micropenetration method. Glass transition temperature and heat capacity will be determined using a Differential Scanning Calorimetry. Volatile contents will be measured to investigate the structural complexity of peralkaline melts. H₂O and CO₂ contents will be determined by FT-IR at the O.V., I.N.G.V. on glass inclusions trapped in crystals and in the matrix glass; Cl and F contents will be determined through EMPA and/or ICP-MS analyses. The distribution of structural units in glass will be studied by experimental determinations of the Si and Al chemical environment through ²⁹Si and ²⁷Al NMR spectroscopy at the University of Trieste, in order to characterize peralkaline melt properties such as the degree of polymerization. The network distribution of hydrous species will be addressed by ¹H NMR experiments in order to evaluate the H₂O permeation and the role of diffusion during magma degassing. The role of F- will be explored by ¹⁹F through synchrotron spectroscopy. Isotopic data will be obtained to investigate the source of volatiles. Grain size analysis of loose pyroclastic rocks; components analyses of pyroclastic deposits; SEM morphoscopic analyses of pumice and ash particles; textural analyses of variably welded deposits and lavas in thin sections; density determinations of variably welded deposits; density-profiles reconstruction of selected pyroclastic units in various locations, also according to the palaeomorphology; aspect ratio determination of juvenile components in variably welded deposits will be also carried out.

Volcano-tectonic features

UR coordinating: Tortorici (Univ. Catania)

UR Participating: Brancolini (OGS, Trieste)

A detailed study will concern the recognition of the geometry and kinematics of the active tectonic features interacting with the landscape evolution and the measurement of parameters useful to reconstruct their evolution and activity vs. time. The expected results will consist of a preliminary mapping of the active structures, by interpretation of 1:5000 scale aerial photographs and elaboration of satellite SPOT and LANDSAT 5 TM imagery. The second step of the analysis will consist of detailed structural analysis that will be carried out along the principal fault segments to define the kinematics of the entire fault system affecting the island. These analyses will be made on the fault developed along the major structures and within the deformed volcanics. The whole deformation pattern of the island will be evaluated by the analysis of the distribution of tectonic fracturing. The fracture pattern will be evaluated by collecting data in structural stations taking into account geometric features, spacing and frequency. The kinematic analysis will be also useful to define the geometry of the main component of the present-day stress field acting on the island. A detailed mapping at scale 1:10000 of the volcano-tectonic features (vent alignments, caldera rims, eruptive fractures ecc.) will be carried out. Lithospheric features will be investigated by the analysis

of several seismic lines acquired in the Sicily Strait between Pantelleria and Malta Islands (MS14, MS 19, MS 111, 116, MS 118-122) together with other seismic profiles acquired in the frame of the CROP (CRosta Profonda) Italian Project (M23A, M23AA, M24, M25, M39). In order to provide a fine reconstruction of the structural and sedimentary setting of the study area a non-conventional processing procedure will be performed (i.e., pre-stack depth migration) on key multichannel seismic lines (both MS and CROP profiles), to image in detail the rift-related structures, to individuate possible sub-surface volcanic bodies, and identify the principal seismogenic faults, particularly those associated with neo-tectonic activity. The identification of the main morpho-structural features will lead then to compile a structural map of the investigated area, to be integrated with available bathymetric information. A gravity (free-air) and magnetic map to recognize and map the distribution of anomalous (volcanic) bodies in the surface and/or sub-surface, which are possibly related to the rift activity characterizing the Sicily Strait region will be created. The structural maps derived from seismic data interpretation, integrated with the geophysical maps (gravity and magnetic maps) will be used to model, through data inversion, the deep structural setting of the island of Pantelleria in the framework of the Sicily Strait lithosphere, and propose a plausible model for the rift system.

Task 2. Ground deformation

UR coordinating: Mattia (INGV, Catania)

UR Participating: Tortrici (Univ. Catania)

Short term and long-term deformation of the island will be investigated with geological and geophysical methods. Geophysical researches will be summarized in the following points:

- 1) Analysis of datasets from tilt and GPS permanent stations and from GPS discrete surveys will be carried out.
- 2) Comparison of the results with other data (geological, geochemical, etc.) finalised to a first model of magma transfer processes from depth to surface.
- 3) Definition of common procedures of data filtering from meteorological and, generally, from exogenous phenomena (tides, antropic environment) in seismic and ground deformation data.
- 4) Creation of a database of seismic events in the area of Pantelleria and, in general, in the channel of Sicily using mainly INGV data from seismic permanent networks but also data from all the mediterranean seismic networks.
- 5) Analysis of the seismic events related to the volcanic activity.
- 6) Modelling of strain fields induced by shallow and deep volcanic sources with InSAR data. A database of ERS and ENVISAT images will be realized in order to realize a complete time serie of ground deformation at the scale of the island since '90th.
- 7) Analysis of seismic data from temporary deployed seismic arrays.

From geological point of view significant information on long-term vertical deformation affecting the island will be derived by detailed study on distribution of marine surfaces and paleoshorelines. Uplifted marine notches, caves and vermetus bio-constructions will be detailed mapped to also define ground deformation curves and velocity diagram of vertical deformation. The analysis of marine terraces will be complemented by absolute dating of deposits sampled on different orders of the studied terraces to obtain precise age constraints necessary to evaluate the different vertical deformation rates. Combining ages and elevations of terraces and paleoshorelines with OIT stages of high sea-level stands and absolute sea-level variations will be thus possible to accurately evaluate the uplift rates affecting the analysed regions. This information will be compared with short term deformation data deriving from GPS and levelling networks. Finally the effects of the vertical uplift on the slope stability will be evaluated classifying the major landslides and rock-fall occurring on the island.

Task 3. Hydrogeological setting and geothermal system

UR coordinating: D'Alessandro (INGV, Palermo)

Reconnaissance soil gas survey covering the entire area of the island with an adequate number of randomly selected soil CO₂ flux measurement sites (4 sites/km²) will be carried out. Soil flux measurements will be made with the method of accumulation chamber. Contemporaneously collected soil gas samples at the depth of 50 cm will be analysed both for chemical (N₂, O₂, CH₄, CO₂, Rn) and isotopic (CO₂-C) composition. The main gas manifestations will be also sampled and the gases analysed for chemical and isotopic composition. Data elaboration with statistical softwares will allow the production of the distribution maps of CO₂-fluxes and gas concentrations (CH₄, CO₂, Rn) and the estimation of the total diffuse CO₂ emission of the island. The obtained CO₂ degassing budget, together with the CO₂ solubility data obtained by the petrologic studies of task 1, will be important for the constrain the magma volumes of the magmatic feeding system. Detailed soil gas surveys of the most exhaling areas, evidenced by the previous surveys, with a higher measurement density (50 points/km²) will be made. Basing on the results of the structural studies of Task 1 the degassing of the main structures will be also studied with a series of perpendicular traverses. Furthermore soil gas distribution maps (CO₂, Rn) will be the necessary basis for some of the thematic hazard maps of task 4. The set up of a continuous monitoring station at lake Specchio di Venere will be made after a preliminary survey around the previously identified high degassing area for the choice of the site. The station will automatically measure and acquire many parameters (CO₂ flux from the soil, soil temperature, CO₂ concentration in air at two (or three) different heights – (10,) 50, 150 cm – and meteorological parameters – temperature, atmospheric pressure, wind speed and direction, rainfall). Gas flux data acquired by the continuous monitoring station, will be compared with seismic data obtained by UR-Mattia to investigate possible correlations, and will be also necessary for the comparison of discrete flux measurements made in different periods. A reconnaissance survey of the waters of Specchio di Venere will be performed. Water samples collected at different depth along a transect of the lake will be analysed for their chemical and isotopic composition and for their dissolved gas content. This first survey will be made in the dry season followed by a second in the wet season. A survey of submarine hydrothermal vents will be carried out with a fishfinder along the coast of the island and in the area of the last underwater eruption. Obtained data will be helpful in correlating subaerial and offshore tectonic structures. Sampling of underwater released fluids will be made by scuba diving.

Task 4. Hazard mapping

UR coordinating: D'Alessandro (INGV, Palermo), Tortrici (Univ. Catania), Orsi (Osservatorio vesuviano-INGV)

UR Participating: Brancolini (OGS, Trieste), D'Antonio (Univ. Napoli), Landi (INGV-Pisa), Lanzafame (INGV, Catania), Mattia (INGV, Catania), Rotolo (Univ. Palermo).

The whole data obtained by the activities of the above mentioned tasks will be elaborated to construct hazard maps. A vents location map with relative magma composition erupted through time will be produced. For each explosive eruption, magnitude and energy will be evaluated. Plots of magnitude and energy variation through time, will be constructed. These eruption parameters, as well as the sequence of variable eruption phenomena during a single eruption, and its relationship with magma composition and vent position, will be statistically analysed to define the probability of occurrence of variable explosive eruption scenarios. For the effusive eruptions, often including low-magnitude explosive phases, the sequence of variable phases will be defined and correlated to the erupted magma composition and vent position. Also these data will be statistically elaborated to

define the probability of occurrence of variable scenarios. All collected data will be integrated to produce a single probability definition of the expected eruption scenarios. Probabilistic hazard maps for tephra fallout, pyroclastic currents and lava domes and flows will be constructed. Maps showing relations between CO₂ degassing and fractures will be performed for key areas.

List of deliverables

Task 1: Volcano-tectonic features and feeding system

Deliverables: - Modelling of the mantle source characteristics - Magma chamber processes before and during eruptions – Physical and chemical parameters, and rheological properties of the erupted magmas – Kind and amount of volatiles in the magmatic reservoir/s - Experimental determination of glass structure and distribution of hydrous species - Relations among magma structure, physical and chemical parameters, and eruption dynamics - Stratigraphic sequence of the exposed deposits - Maps with pattern distribution of surface fractures, eruptive fractures and vent distribution - Data base of available reflection and refraction seismic data -Data base of the gravimetric data in the Sicily Channel-Reinterpreted seismic profiles – Density distribution models based on gravimetric data – Structural map of the offshore Pantelleria island.

Task 2: Ground deformation

Deliverables: Database of seismic events in the area of Pantelleria and Sicily Channel - Model of strain fields induced by shallow and deep volcanic sources with InSAR data - Distribution map of Quaternary paleoshoreline and marine terraces - Late Quaternary-Holocene and present uplift rates - Map of slope stability and landslides.

Task 3: Magmatic and geothermal degassing

Deliverables: - Spatial distribution maps of soil gas concentrations of CO₂ and Rn and soil CO₂ fluxes - Detailed spatial distribution maps of soil gas concentrations of CH₄, CO₂ and Rn and soil CO₂ fluxes of anomalous degassing areas - Map of submarine hydrothermal vents - Identification of relationships between tectonic and volcano-tectonic structures and soil CO₂ outgassing – Gas hazard estimation - Hydrological and geochemical budget of the lake Specchio di Venere with special emphasis on CO₂ accumulation - Quantification of CO₂ outgassing of the island.

Task 4: Hazard mapping:

Deliverables: – Probability hazard map for opening of a new vent - Eruption scenarios - Probability tephra fallout hazard map - Probability pyroclastic currents hazard map – Classification and volume estimation of landslides deposits - Surface gravitational movements hazard map – Gas hazard map.

SUB-PROJECT V3_7 – PANTELLERIA

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Volcano tectonics and feeding system	Task2 Ground deformation	Task3 Magmatic/geothermal degassing	Task4 Volcanic hazard	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	OGS Trieste	Brancolini	@				16	
UR-2	INGV-PA, INGV-Rm1, UniPa	D'Alessandro, Pecoraino, Pizzino, Parelo			@		40	
UR-3	UniNa, UniTri, INGV-OV, CNR-IGG, Uni-Muenchen (D)	D'Antonio, Dini, Petrini	@				44	
UR-4	INGV-Rm1, UniCa, UniPi, CNRS-LPS (FR)	Landi	@				21	
UR-5	INGV-CT, UniFi	Lanzafame, Santo	@				26	
UR-6	INGV-CT	Mattia, Bonaccorso		@			38	
UR-7	INGV-OV, UniTri, UniNa	Orsi, Isaia, Scaillet S.	@			@	49	
UR-8	UniPa, CNRS-Orleans (FR)	Rotolo, Pichavant	@				14	12 (UniPa)
UR-9	UniCt, INGV-CT, INGV-Rm1	Tortorici, Monaco, Grasso, Catalano	@	@			62	24 (UniCt)
Totale							310	36

SUB-PROJECT V3_7 – PANTELLERIA

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
			2005	2006	Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
UR-1	OGS-Tri	Brancolini			2000	2000	1500	1500	7500	7500		
UR-2	INGV-PA	D'Alessandro			8000	8000	2000	2000	15000	14000		
UR-3	UniNa	D'Antonio			4500	2400	1000	600	4000	7500		
UR-4	INGV-Rm1	Landi			3000	1500			3000	4500		
UR-5	INGV-CT	Lanzafame			1700	1700	800	800	6000	6000		
UR-6	INGV-CT	Mattia			2000	2000	4000	4000	7000	7000		
UR-7	INGV-OV	Orsi ¹			4000	4000	1000	1000	7000	11000		
UR-8	UniPa	Rotolo	16000	4000	1000	1000	3000	3000	2000	2000		
UR-9	UniCt	Tortorici	20000	20000	3000	3000	1000		7500	9000		
		TOTALE	36000	24000	29200	25600	14300	12900	59000	68500		
GRAN TOTALE: 269500												

¹8000 euros (4000 each year) included under the voice "Consumi e servizi" will be provided to CEA-CNRS (Gif-Sur-Yvette, FR) for research activities under the responsibility of S. Scaillet.

PROJECT V4

Conception, verification, and application of
innovative techniques to study active
volcanoes

Responsibles:

Warner Marzocchi, INGV Roma1

Aldo Zollo, Univ. Federico II Napoli

Project V4

Conception, verification, and application of innovative techniques to study active volcanoes

Coordinators:

Warner Marzocchi, Chief Researcher, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Roma 1. Via D. Creti 12, 40128 Bologna, Tel.: 051 4151420, Fax: 051 4151498, marzocchi@bo.ingv.it

Aldo Zollo, Full Professor, University of Napoli "Federico II"- Dept. of Physics, via Cinthia, Tel: 081 2420315, Fax: 081 2420334, aldo.zollo@na.infn.it

Objectives:

The development of innovative and quantitative methods is one of the main ingredients for future progresses in volcanic risk assessment and management at long- and short- term time scales. The complexity of volcanic systems originates from the strong heterogeneity of their internal structure (in terms of spatial variation of physical rock properties) and the large variety of thermo-mechanical processes which may precede and accompany the magma rise and eruption. The most comprehensive understanding of volcanic processes necessarily calls for a multi-disciplinary, integrated approach of data acquisition, analysis and modeling.

During the past three decades, we have been witnessing a strong technological development leading to a rapid growth of multidisciplinary studies of volcanoes. The controlled, repeatable experimentation is nowadays replaced by dense monitoring projects, where the analysis strategy is often dictated afterwards, depending on the data produced. Volcano monitoring networks (geophysical, geochemical, geodetical,..) produce terabytes of data, only a small fraction of them is practically used for research and/or survey purposes.

It comes out the need for implementing new strategies of data management able to analyze and mine in the near-real-time huge data flows, having the targets 1/ to exploit the whole available information, 2/ identify and measure quantitative risk indicators useful for volcanic risk monitoring and emergency management and 3/ develop advanced tools for process simulation and event prediction based on the real time analysis and modeling of observed data.

Due to the multi-disciplinary nature of the object under study, innovative approaches and techniques for volcano monitoring may concern an ultra-wide disciplinary domain (geophysics, geochemistry, geology, remote sensing,...). The present project focuses on a restricted number of tasks which are believed to be prior in terms of needed scientific effort and development and possible gain of knowledge about volcanic processes:

- Volcanic hazard estimation based on a quantitative probabilistic approach
- High resolution imaging of the volcanic structure by using advanced seismic tools
- Real-time seismic and thermal monitoring of volcanoes integrating on-land and sea-bottom systems of observation

State of the Art:

Quantitative methods for probabilistic estimation of volcanic hazard

The probability of any particular area being affected by a destructive volcanic event within a given period of time defines the volcanic hazard whose quantitative estimation is actually a challenging

task due to the scarce number of databases collecting sets of seismic variables relative to unrest and eruptive phases of explosive volcanoes. The probabilistic nature of such an important issue derives from the fact that, as the largest part of natural phenomena, volcanic activity is a complex process, characterized by several and usually unknown degrees of freedom that are often linked by nonlinear relationships. The result of this complexity is an intrinsic (and maybe unavoidable, at least over time intervals of more than few days) unpredictability of the time evolution of the volcanic system (except in sporadic cases) from a deterministic point of view. Despite the huge practical importance of this issue, a full probabilistic hazard estimation and quantitative levels of alert have not been yet proposed for almost all the worldwide active volcanoes.

The present project proposes to adopt and implement innovative approaches based on a quantitative estimation of any kind of volcanic hazard and individual risk, by merging theoretical models of the eruptive process, past (historical and geological) data, and data from monitoring of the volcano. At this purpose, we intend to implement quantitative probabilistic schemes such as Bayesian Belief Network (BBN), and “Event Tree”. The methods allow representing all the possible relevant events connected to the volcanic activity and calculating the Bayesian probability and uncertainty. The method also allows aleatoric and epistemic uncertainties of the model to be dealt with in a formal way, and all to be accommodated in a hazard or risk assessment. Notably, this way of thinking and strategy concerns the delicate problem of defining and assigning an appropriate volcanic alert levels, based on rigorous, quantitative analyses of observations, theories, models and expert opinions. The challenge is to formulate an approach that can satisfactorily provide a synthesis of all direct and indirect pieces of information into a framework for supporting alert level decisions.

High resolution imaging of the volcanic structure

Tomographic models inferred from the inversion of first arrival times have not a sufficient resolution to accurately define the morphology and location at depth of the main crustal reflectors (included the top of the magma reservoir) beneath volcanoes. The imaging of complex, in-land, volcanic structures (irregular topography, highly heterogeneous propagation medium) by seismic reflection is a challenging task both from the data acquisition and modeling point of views: unmodeled multi-path arrivals, very energetic direct and ground roll phases, diffraction and scattering phenomena may often lead to poor quality of reflected signals. It is therefore necessary to develop new techniques of data processing and analysis able to work on unconventional data acquisition geometries (sparse, irregular, distribution of source/receivers) and complex waveforms in the complete incidence angle range (from near-vertical to wide-angle). This requires a further step in the analysis of seismic reflection images which implies the modeling of reflection wave amplitudes vs offset (incidence angle) which can give important insights about the physical/lithological nature of the reflectors. The spatial variations of both P and S velocities fields, as represented by tomographic images, can be analyzed and interpreted as lithological and rheological features for characterization of rocks. This interpretation is made by using theoretical modeling of velocities through biphasic structures based on field data as well as from laboratory experiments.

The volcano seismology today aims at the understanding of the dynamics of seismic sources associated with the injection and transport of magma and related hydrothermal fluids. The modeling of the seismic wave field in 3D heterogeneous structures is a key factor in the studies concerning the translation of the seismic observations into quantitative information about the dynamics of the magmatic system. The advances of computational environments allow for the successful applications of numerical algorithms for the simulation of the seismic wave field in 3D heterogeneous velocity structures. The conventional 3D approaches so far applied in non-volcanic areas describe only approximately the dissipative medium and do not account for the possible

anisotropy. Innovative methods for simulating the three-dimensional seismic wave field radiating in a heterogeneous, anisotropic and anelastic volcanic structure will be developed in the present project. It is expected that the hazard evaluation and monitoring of the volcanic activity would be greatly improved by the simulation of the observed seismic signals by means of advanced algorithms that take into account the 3D complex structure.

The volcano structural complexity are well quantified by the parameters of seismic attenuation and anisotropy. New techniques for imaging the attenuation properties, based on non-global linear strategy, reveal their importance especially when a joint interpretation of the (scattering and intrinsic) attenuation and velocity is possible. With this approach high intrinsic attenuation zones may be distinguished from highly heterogeneous zones (strong scattering strength) helping in the detection of possible magma chambers. The detailed study of the crustal anisotropy, moreover, adds important information to the image of the heterogeneities, through the systematic spatial analysis of the splitting parameters. Application of these techniques in volcanic environments may provide useful hints for the location and characterization of buried heterogeneities associated with structural complexities. Based on the availability of advanced seismic waveform modeling techniques, the present project propose the validation and tests on synthetic data of developed tools for measurements of anisotropic and anelastic parameters simulating realistic complexity of the propagation medium and lay-out acquisition.

Real time seismic and thermal monitoring, integration of sea-bottom and on-land seismic networks

The existence of national infrastructures (managed by INGV) for the operation of seismic monitoring tasks in Italian volcanic areas allows the development of new and innovative observational tools. The availability of a truly real-time, seismic system able to process and analyze huge streams of multi-channel data and communicate with remote probes installed on- and offshore (i.e., a sea-bottom observatory continuously linked to the on land network) is of particular relevance for the process of decisions and actions to be taken during emergency phases. Available continuous seismic recordings can be used to develop quantitative almost-real time signal analysis aimed at the measurement of indicators of risk monitoring and emergency management, detection of exceeding alert thresholds and activation of automatic *early-warning* procedures and protocols of decisions-making. The seismological monitoring needs different analysis techniques for covering the wide manifold of seismo-volcanic signals. Locations suffers for the complex structure of volcanoes, so 3D velocity models (from seismic tomography) greatly improves their quality. High resolution tomographic velocity models for several Italian volcanoes are now available, and accurate techniques for earthquake location and mechanism determination have to consider the heterogeneous nature of the propagation medium. The best suited location tools for complex structures are non-linear search based methods such as NonLinLoc developed by A. Lomax. Furthermore, the use of Equal Differential Time technique improves the robustness of locations by neglecting large outliers. The most dangerous Italian volcanoes (Vesuvius and Campi Flegrei) show currently a predominant volcano-tectonic seismicity, but tools for the analysis of LP and VLP signals should be rapidly working in case of unrest and be able to provide a rapid estimation of the source location and mechanism (moment tensor) parameters. In addition, an efficient seismological monitoring system of volcanoes needs both a rapid real-time automatic analysis of data and long term databases for a comparison of the current volcano status with the past activity. This result may be obtained developing procedures that carry out continuous analysis, putting results in a database, accessible via a user-friendly web interface.

Considering that most of Italian active volcanoes have their edifice entirely or partly submerged, seismological instruments deployed on sea bottom with real time data transmission to onshore centers will be an important new tool for volcanic monitoring in the next future. Data acquisition of earthquake waveforms on the sea bottom is performed since several decades using Ocean Bottom

Seismometers (OBS). Usually data are acquired in continuous mode and locally stored over periods from some weeks to more than one year, according to the autonomy of the batteries. A retrieval system controlled by acoustic command, releases the ballast allowing the OBS pop-up. Data are available only after the recover of the instrument. Monitoring of volcanic activity requires data transmission in real or near-real time and new technology to retrieve the data are now in development. Recently data acoustic transmission systems for a sea bottom instruments are under development to extent real time data acquisition to the seafloor in the framework of a cooperative project seeing the partnership of research (INGV, University of Naples) and industrial partners (Alenia WASS). Integrating the experiences and know-how gained by carrying out this and other linked projects for sea bottom observatories conducted at Roma-2 section of INGV, the present project will design, develop and realize in a prototype form, sea bottom seismic station with real time transmission connected to the monitoring system of Neapolitan volcanic area.

Ground-based thermal imaging (direct ground measurements and infra-red imaging) has recently been introduced in volcanology and applied to a number of different volcanic phenomena. Excellent results have been obtained during 2002-03 Etna and Stromboli eruptions, when daily thermal imaging measurements allowed us to observe magma movements within the summit conduits, the opening of fissure systems, the development of fractures on the flanks, and also to discriminate lava flow field structures such as lava tubes, ephemeral vents, tumuli and to distinguish active lava flows. Thermal images can be also used to provide quantitative measures of lava effusion rates. In this project, we intend to develop new measurement techniques, and quantitative computational methods to allow near real-time analysis of thermal imagery based on the already existent observational experiences carried out on several Italian volcanoes. For instance the TIIMNet project (Thermal Infrared Imagery Monitoring Network) allowed to design and to develop a volcanic surveillance system for the continuous monitoring of the shallow thermal structure of active volcanoes. The technological approach was specifically developed for Vesuvius and Solfatara craters, based on the integration of image monitoring systems, in the thermal IR wavelengths range, with the existing geochemical surveillance systems.

Description of the Activities:

The project is organized in 3 Tasks, that will be achieved through the development of research activities coordinated in specific 11 Work-Packages.

The Tasks have been identified to get the global objectives:

- Volcanic hazard assessment based on probabilistic techniques, and eruption forecasting.
- High resolution seismic imaging of volcanic structures.
- Real-time observations and measurements.

Task 1. Estimation of the volcanic hazard based on probabilistic techniques, and eruption forecasting

UR coordinating: W. Marzocchi (INGV, Roma 1)

UR participating: S. Falsaperla (INGV Catania) , R. Campanini (Univ. Bologna), L. Crescentini (univ. Salerno)

This task is mainly focused on developing innovative techniques to estimate quantitatively the long- and short-term volcanic hazard. WP1.1 is mainly devoted to develop probabilistic tools to merge information provided by theoretical models, past geological/historical data, and monitoring observations; WP1.2 aims to identify precursors of volcanic activity on different time scales, by

analyzing with innovative techniques monitored volcanic eruptions. WP1.3 is focused on improving the knowledge of the stress/deformation changes in volcanic areas.

WP1.1: Probabilistic tools to assess short- and long-term volcanic hazard

We propose to implement and to improve the probabilistic method proposed by Marzocchi et al. (JGR 2004) based on the Event Tree (ET) scheme. ET is a powerful quantitative tool that estimates the probability of all the relevant possible outcomes of a volcanic crisis, and, in general, it quantifies VH and risk. The most important improvement is relative to the introduction of the Fuzzy Logic to overcome all the technical, practical, and theoretical problems raised by the use of "rigid" thresholds at the nodes. For instance, the passage to a quiet state to a state of unrest (node 1 of ET) is sharp depending on the overcoming of a threshold for one or more selected parameters. The Fuzzy Logic allows a more gradual transition from one state to the other, replacing the single threshold with a more appropriate interval of values. Another issue to be improved may be the set of probabilistic rules used to merge the monitoring data with past data and theoretical models, and to evaluate the epistemic and aleatoric uncertainties. The implementation of the models is mainly related to the design of a software tool to visualize the outcomes of ET. We plan to design the code for end user with different technical backgrounds. The software code will replace the usual "hazard maps", since it provides an answer for a complete set of possible queries, from the probability to have a generic or specific kind of eruption in the next month, to the probability map of lahars, pyroclastic flows, or tephra for some specific kind of eruption or for a weighted average of all possible scenarios. The code also furnishes a visual representation of the uncertainties of volcanic hazard assessment. In general, this tool allows probabilities to be continuously updated, and therefore both the long- and short-term VH to be estimated. In particular, the long-term VH assessment (years to decades) is usually estimated only from past data it allows different kinds of hazards (volcanic, seismic, industrial, floods, etc.) in the same area to be compared, which is very useful for cost/benefit analysis of risk mitigation actions, and for appropriate land-use planning and location of settlements. In contrast, monitoring on mid- to short-time scales assists with actions for immediate vulnerability (and risk) reduction, for instance through evacuation of people from danger areas.

WP1.2: Precursory patterns at different time scales

We will develop quantitative tools to evaluate volcanic hazard focusing on seismic signals, as they are recorded in several volcanic areas and are excellent markers of changes within the volcano feeder. We have two main targets: first, we will analyze multivariate seismic databases of some monitored recent eruptions in order to recognize possible seismic precursors, and to identify possible patterns indicating the magnitude (VEI) of the impending event. At this aim, we will use a Support Vector Machine (SVM) classifier that is proved to be one of the best tool for a large variety of quite different fields, such as computer-aided diagnosis, gene classification, industrial processes, video surveillance, face detection in digital images, etc. We will also focus our attention on detecting the seismic variables which are the most important ones in order to correctly forecast a volcanic eruption. This problem will be addressed by means of a feature reduction technique known as a Recursive Feature Elimination (RFE) in collaboration with a Genetic Algorithm (GA): the classification performance will be explored recursively eliminating some of the less discriminant seismic variables according to the cost function of SVM, thus ending up with a restricted set of seismic variables. This reduction is very important in practice, because it may lead to a faster analysis of seismic signals during unrest. Our second target is the application of the Bayesian Belief Network (BBN) technique to structured information stemming from monitoring system combined with: geostatistical analysis and stochastic methods contained in the Deducing Eruptions of Volcanoes In Near Future program (Jaquet et al. 2005), Hidden Multi-state Markov models (Aspinall et al. 2005), Dynamical Systems parameters (Carniel et al. 2003), Material Failure Forecasts (Ortiz et al. 2003), or other multivariate time series statistics. Accommodating the various

strands of evidence - from the classification and characterization of seismic signals to statistical data and results of the above listed methods - into the BBN, we will develop an integrated tool which, by indicating probabilistically the progression of state of the volcano unrest, may be used to support alert level decisions. To review precedents, the integrated analysis method will be applied and “tuned” on basaltic volcanoes with persistent activity like Mt. Etna and Stromboli, using past and recent eruptive events, for which continuous data are available. Successive near real time applications for monitoring will then be possible. We will also test applications to volcanoes like Soufrière Hills, Montserrat and Tenerife, Spain.

WP1.3: Mapping and monitoring stress/deformation changes in a volcano

The inversion of geodetic and seismic data is intrinsically nonlinear and results in cost functions with a rough landscape and several local minima. Local optimization techniques can fall into a local minimum, which depends strongly on the starting model. Among the global optimization techniques, we have used ASA (adaptive simulating annealing) to invert geodetic and seismic data for the sources of strong Italian earthquakes occurred last century. Other researchers have used GA (genetic algorithm) to determine the parameters of a volcanic intrusion. As global optimization techniques require to solve many forward problems, time-consuming techniques like 3D finite-element modeling can not be integrated in the inversion codes, but can be used to generate synthetic data sets to test them. On the other hand, it is unrealistic to model the magma chamber as a point source of volume change and a dike as an opening-mode dislocation, assuming that the earth is a homogeneous, isotropic, elastic half-space. We propose to develop two numerical codes for the inversion of geodetic and seismic data and check their feasibility for alert systems. The two codes will use two different optimization techniques, based on ASA and GA, to reinforce results. Besides taking into account the possibility of faulting, we will compute ground deformation and gravity changes using an elasto-gravitational layered Earth model, including a topmost water layer to calculate sea level changes, and a spherical volcanic intrusion. Possible dike intrusion will be modeled as a rectangular tensile fault in a layered earth, using ad hoc variants of the codes by Pollitz (1997) and Wang et al. (2003), originally developed for calculating coseismic deformation. In this case we will estimate the zeroth-order gravity effects due to uplift, water table fluctuation, and density change inside the dike. The inversion codes will be calibrated using synthetic data sets (which we will generate by finite-element modeling) and tested using data from the Campi Flegrei area, which is presently monitored by means of seismic and ground deformation networks and three high-sensitivity Sacks-Evertson dilatometers (installed in 2004), as well as the Monserrat and Long Valley volcanic areas.

Task 2. High resolution seismic imaging of volcanic structures

UR coordinating: A. Zollo (Univ. Napoli, Federico II)

UR participating: J. Virieux (Geoscience Azur), E. Priolo (OGS), A. Piersanti (INGV, Roma 1), F. Bianco (Roma 1).

This task is devoted to investigate, develop and apply innovative tools for a refined seismic imaging of the volcanic structure, which uses the whole waveform amplitude information retrievable on seismic data (arrival times and amplitudes of primary and reflected/converted phases). The rugged model of the volcanic structure can be estimated by seismic reflection methods adapted to work in highly heterogeneous media and non-standard acquisition lay-outs. Rock physical parameters will be studied at the seismological scale by inverting the tomographic images using the medium effective theory, as well as modeling amplitude variation with offset of reflected/converted arrivals. Numerical simulations of the seismic wave-field in a heterogeneous, anisotropic, anelastic medium will allow to analyze the effects of medium complexity on seismic waveforms and calibrate tools for imaging velocity discontinuities, spatial variation of anisotropy and anelastic attenuation

parameters. Techniques for the measurement of time and spatial variation of anisotropy/attenuation parameters from local earthquake seismograms will be developed and tested using real and synthetic data.

WP2.1: Reflection seismics in strongly heterogeneous media: application to the detection / modeling of interfaces beneath volcanoes

1/ Processing and analysis of seismic reflection data acquired in unconventional lay-out geometries, global offset ranges and heterogeneous structure environment.

It is proposed the development of methods for move-out and stack(semblance) analysis of reflected and converted arrivals in 2D/3D media which includes the design of ‘ad hoc’ time and frequency/wavenumber filters able to remove multi-path and coherent noise signals from record sections. It will be investigated the implementation of techniques for the estimate of stack velocity models (based on tomographic models) in lateral heterogeneous structure to be used for the velocity analysis of global-offset data.

2/ Reflector morphology from modeling/migration of reflected/converted phases for global offset data. We propose the development and implementation of a 2D/3D technique for reconstructing the reflector morphology based on depth migration/modeling of reflected/converted arrivals and an ‘a priori’ knowledge of the heterogeneous background velocity medium. The technique operates on active seismic data, acquired on volcanoes in unconventional lay-outs and is able to work in presence of strong lateral velocity gradients. The method will be based on dynamic ray tracing for heterogeneous velocity models. The possibility to export the technique to passive seismic data acquired by a local network will be also explored.

3/ Converted phases analysis from local earthquake seismograms

Considering this smooth recovered velocity structure, we shall perform scattering analysis for oriented scatterers inside the medium. These oriented points might help us to draw a geological interpretation of the subsurface beneath a volcano. Converted phases will be identified and travel-times will be picked for stacking the converted phase energy. By introducing this new data set, one may hope to improve the resolution of the background model, especially in volcanic zones where complexity is expected.

4/ Amplitude waveform inversion

Linearized waveform inversion might even go further especially for initial waveforms in order to improve our model reconstruction. Only 2D investigation will be performed taking into account the rather numerical intensive task of the forward modeling. We shall design a tool for this optimization which expect the initial model to be nearby the final one.

WP2.2: From tomography/reflection seismic images to rock physical properties and lithology

1/ Characterization of impedance contrasts at discontinuities in a volcanic structure.

The measurement of amplitude variation of the reflected/converted wave field vs offset allows for investigating the physical properties of the reflecting body by modeling the impedance contrast at the interface. A generalization of this approach to earthquake and active seismic data collected in volcanic area, would require refined source location and mechanism estimations, in addition to an adequate waveform amplitude modeling which accounts for lateral elastic/anelastic medium heterogeneities. We propose the development of a technique for the estimation of the impedance contrast at buried interfaces beneath volcanoes (basement top, magma chamber top) to be used for a physical/lithological characterization of the seismic discontinuity. The amplitudes of principal and secondary (reflected/converted) phases will be computed through a multi-phase seismogram based on the ray-theory.

2/ Retrieval of rock physical parameters from tomographic images.

We shall investigate our to extract information from seismograms in complex zones as volcanic structures. In order to do so, we must design specific tools for first-arrival delayed-time tomography in 3D smooth heterogeneous medium.

We must combine accurate travel-time estimator (Podvin & Lecomte Finite-Difference Eikonal solver) with iterative LSQR matrix inversion technique. We shall introduce Fresnel zones in our tomographic tool for improving resolution. Volcanic rocks are complex with at least two phases at small scales (Forward biphasic formulation). We shall introduce effective medium theory to model this complexity. We shall calibrate these parameters on measured data on rock samples collected in wells through laboratory experiments under well-controlled pressure and temperature. This forward tool will be the kernel of our interpretation in term of rock physics. Recovered seismic velocity images will be interpreted in terms of rock properties by using a simple grid approach which will scan potential values of acceptable rock parameters. This extraction of rock parameters must both reconstructed velocity structures and therefore will be compatible with travel-time data. This interpretation tool will help us to understand what kind of rocks we may expect at depth inside a volcano.

WP2.3: Realistic simulation of volcanic earthquake wave motion

The objectives of this WP will be pursued by two independent RUs through different techniques. The first one will perform the simulations by means of an improved version of the 3D seismic wave field simulation code developed by the same RU. The software is based on the staggered-grid Fourier pseudo-spectral scheme which, using a coarser sampling of the spatial domain, allows the accomplishment of large scale simulations on massively parallel supercomputers. The existing code, written in Fortran 90 with MPI protocol, will be improved in order to account for both medium viscosity and anisotropy in the elasto-dynamic equation and to solve the seismic wave propagation accurately also in the presence of sharp impedance contrasts and irregular topography. Volcanic earthquake sources with arbitrary geometry, size and mechanism will be considered. The reciprocity principle will be exploited in the computation of the Green's functions to simulate a large number of source points. The simulations will be performed using a set of kinematical source models described by space-time functions consistent with the state of the art knowledge of the volcanic seismic sources (fluid-filled crack models). The structural models to be used as input for the simulations will be build up using the Gocad commercial software. The output will consists in snapshots of the seismic wave field as well as in time series collected by arrays of receivers at surface. The maximum effort will be put in pursuing not only a qualitative but also a quantitative reproduction of the volcanic earthquakes, in order to provide a tool for the refinement of the interpretation of the seismic observations in terms of the activity of magmatic systems.

The second RU will develop and modify the Tromp original SEM (Spectral Elements Method) code in order to make it suitable for extremely small scale applications. Then, it is planned to use the Etna and Vesuvio topographic and tomographic models as an input for the modified SEM code in order to simulate the complete wave field produced by an arbitrary volcanic earthquake source in a heterogeneous, anelastic, anisotropic 3D structure. One of the major achievements of SEM approach is the possibility of considering a complete anisotropy of the medium. Therefore, the SEM could be used to test if the shear-wave splitting may become an important indicator of volcanic activity. After modifying it, we plan to run the SEM code both at Caltech and in the parallel linux cluster implemented at INGV by the RU (Hydra). Presently, the SEM code is optimized to run in 32 bit architectures. At INGV we are planning to start the test of 64 bit architectures. The MPI optimization of the SEM code for 64 bit architectures will be one of our goal for the second year of the project. This development would allow us to simulate wavefield with a greater high frequency content.

WP2.4: Estimation of anelastic attenuation and anisotropy parameters

In the first year of the project the attenuation studies will be addressed to the following activities: i) development of a new tomographic inversion technique based on the linearization of the Zollo and de Lorenzo (JGR., 2001) method; ii) implementation of a new technique of Rayleigh waves inversion, based on the semblance among synthetic and observed waveforms, to infer the 1D

anelastic Q_p and Q_s structure of surface layers from high resolution seismic shots; iii) formulation of a Bayesian method to jointly invert P polarities and P pulse widths to obtain source and Q parameters; iv) development of a technique to model P body waves with different rupture velocity time histories and Q models. In the same period the studies on anisotropy will be addressed to the following activities: i) definition of quantitative criteria for automatic data selection and quality detection of splitting measurements; ii) development of a methodology to measure both the splitting parameters simultaneously in a (quasi)automatic way; iii) development of an array technique to measure the splitting parameters; iv) accurate definition of the measure errors on both the splitting parameters.; v) individuation of the spatial (depth and lateral) extent of the crustal anisotropy in some test areas (possibly Vesuvio/Etna).; vi) definition of the fracture criticality level for the test areas. In the second year of the project the attenuation studies will be addressed to the following activities: i) application to synthetic and real cases (Flegrei, Serapis, Etna, Vesuvio) of the techniques implemented in the first year. In the same year, the studies on anisotropy will be addressed to the following activities: i) time variation of crustal anisotropy in some test areas (possibly Vesuvio/Etna); ii) Quantification of the average pore pressure from splitting measurements.

Task 3. Real-time observations and measurements

UR coordinating: G. Iannaccone (INGV-OV)

UR participating: M. Martini (INGV-OV), G. Vilardo (INGV-OV), G. Romeo (INGV-Roma 1), L. Lodato (INGV-Catania)

The task 3 aims to provide new tools of real-time analysis of seismic and thermal monitoring data, an to design and test of a prototype, sea-bottom multi-parametric station integrated to an on-land existing monitoring network. The real time seismological monitoring needs different analysis techniques for covering the wide manifold of seismo-volcanic signals. Automatic techniques for real-time detection, location and moment tensor estimation of seismic events (short-period, long- and very long- period signals) will be developed and made able to work in 3D heterogeneous volcanic structures. Concerning the experimentation of prototypes for data acquisition in hostile environments it will be developed and tested a sea bottom seismic station with real time transmission connected to the monitoring system of Neapolitan volcanic area. New instruments for thermal monitoring will be conceived and tools to analyze thermal images in near real-time.

WP3.1: Real-time estimation of earthquake source parameters

Major efforts will be devoted in 2005 for the adoption of 3D velocity models in hypocenter location. First existing 3D tomographic models will be collected and eventually merged together and adapted to fit region of interest around Neapolitan volcanic areas. Then the whole existing database (together with the new data from 1984 data reprocessing) will be relocated using a non-linear EDT approach. In a second stage this technique will be implemented as a standard in automatic location procedure of the monitoring system.

A seismological multiparametric database, containing information as tremor amplitude, wavefield spectra, polarization, array slowness estimates and raw waveforms, will be developed and joined together with the pre-existing hypocenters database. The new system will be designed according to the experience acquired on the Stromboli data analysis (EOLo system). The seismic data contained in this global database, coming from different subnetworks, will be stored adopting standard data formats, useful for data exchange with other monitoring centers. The system will be able to automatically recover data possibly lost during network downtimes. All of the data, both stored and real-time, will be available to the users with a common and coherent interface.

In 2006, two more tools will be added to the Neapolitan volcanic area monitoring system. The first will be a neural network based seismic discrimination system, based on an algorithm has shown to be efficient in Vesuvius area in discriminating true earthquakes from thunders and artificial explosions. The second is a moment-tensor inversion system based on non-linear search algorithms. The access to the whole database will be implemented using an user-friendly web interface that will allows an efficient check of the temporal variations, the cross-correlations and the statistical analysis of the seismic source parameters.

WP3.2: Design and test of a prototype, sea-bottom multi-parametric station integrated to an on-land existing monitoring network.

The main objective of the two years project is to develop and test an OBS with real time transmission connected to the monitoring system of Neapolitan volcanic area. In the frame of the PON project an OBS with standard seismological instruments will be acquired and modified to monitor in real time data collected at the sea bottom. The instrument will be connected by means of a cable to an existing large floating platform (fishing farm). A free-wave radio provides I.P.-based telemetry between the platform and a control center in order to transfer in real time the seismic information recorded at the sea bottom. On the platform a power supply system with solar panels and rechargeable batteries will provide the necessary energy for continuous operation of the sea bottom instruments. The platform operate in the Gulf of Pozzuoli at about two miles offshore where depth of the sea is about 100m.

The first year will be devoted to:

- identify the OBS model to acquire
- define the technical specifications for the cable connection
- define the technical specification of the cable
- propose solutions to connect cable to the floating platform
- test the complete system (OBS+cable+radio transmission) in laboratory
- install the necessary equipments on the platform
- install the OBS on the sea bottom and test all components
- plan and develop of an electronic prototype data logger system for OBS case equipment (OB-GILDA)

The activity of the second year will be:

- testing of OB-GILDA
- to experiment the acoustic link developed by WASS in the frame of the PON project
- to develop and test a software management of the acquisition system. This software will be able to request any time slice of interest, regardless of when the data were recorded. The time slices will be defined on the basis of a daily/weekly catalogue published by UF Centro di Monitoraggio of OV-INGV; and by an event list generated by the data logger. All digitized data could be also telemetered to the control center.

For a practical application we will evaluate the possibility of integrating the undersea system on Campi Flegrei or Stromboli monitoring networks.

WP3.3: Surface thermal imaging

The work inside this WP consists of different activities, ranging from the conception of new instruments for thermal monitoring, and tools to analyze thermal images in real-time (or near real-time). As regards the first activity, we plan to improve the design of the thermal head, the production of two arrays, and the permanent installation of one of them in a site (i.e., Campi Flegrei) for a continuous thermal gradient measurement and to allow the calibration of the existing IR imaging system. As regards the second objective, the planned activities will involve i) the collection of a comprehensive database of TIR images to characterize the background level of the thermal emissions at Vesuvius, Campi Flegrei; ii) TIR images calibration to account for absorption

and atmospheric parameters variations due to normal seasonal variations and local weather conditions; iii) complete automation of the processes of extraction from the TIR image data of numerical parameters; iv) development of programs for real-time data analysis and information visualization for the continuous monitoring of the space-time evolution of both the temperatures field and the associated geochemical and atmospheric parameters; v) development of new quantitative computational advanced methods to allow near real-time analysis of thermal imagery for estimation of lava effusion rates during volcanic crises. Part of the planned work on these issues will be devoted to apply and verify the methods to real cases.

Deliverables list

Task 1. Estimation of the volcanic hazard based on probabilistic techniques, and eruption forecasting: - Implementation of the Event Tree scheme including Fuzzy Logic - Visualization and computation code to estimate volcanic hazard - Development of quantitative tools to analyze multivariate seismic database in order to recognize potential precursory patterns of volcanic eruptions - A software pattern recognition package, aimed to find precursory patterns of volcanic eruptions - Definition of probabilistic rules to quantify short-term volcanic hazard - Results from finite element modeling of ground deformation and gravity - Inversion codes for near real-time applications to study ground deformation and gravity.

Task 2. High resolution seismic imaging of volcanic structures: - Development of methods for processing and analysis of seismic reflection data and converted phases analysis from local earthquake seismograms - Testing (application to synthetic/real data sets) of methods for determining reflector morphology from modelling/migration of reflected/converted phases and for linearized amplitude waveform inversion - Development of methods for the characterisation of impedance contrasts at discontinuities in a volcanic structure and retrieval of rock physical parameters from tomographic images - Testing (application to synthetic/real data sets) of methods for the characterisation of impedance contrasts at discontinuities in a volcanic structure and retrieval of rock physical parameters from tomographic images - Implementation of Komatish and Tromp SEM code to volcanic application - Simulation of the complete wave field produced by volcanic earthquake sources (double- and not double couple sources, low frequency events, tremor,...) in heterogeneous, anelastic, anisotropic 3D structures - Database of synthetic wave field - Development and implementation of Fortran Codes to infer 3D Anelastic attenuation and rheological models of volcanic structures - Development and implementation of Fortran, Matlab and Mathcad Codes to measure space and time variation of the anelastic attenuation and anisotropy properties of the volcanic rocks - Results from the application of the methodologies to real and synthetic data and, consequently, definition of 3D Anelastic attenuation and rheological models.

Task 3. Real-time observations and measurements: - Developments of techniques aimed at automatic classification and discrimination of seismic signals - An integrated multiparametric seismic database - Real-time estimation of earthquake source parameters in a volcanic area (Earthquake location, magnitude/moment, moment tensor) - System Architecture design of OBS - Implementation and test in a volcanic area - Continuous real-time surface thermal measurements at the Vesuvius and Solfatara sites, and background assessment – Database of TIR images with associated parameters, and of gradiometer arrays measurements - Integrated report on the implementation and test in a volcanic area of data acquisition, analysis and modelling of surface thermal images - System Architecture design of gradiometer arrays.

PROJECT V4 – NEW TECHNIQUES

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Coordination	Task2 Probabilistic techniques for volcanic hazard	Task3 High resolution seismic imaging	Task4 Real time observations and measurements	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	INGV-Rm1	Marzocchi	@	@			17	
UR-2	INGV-CT, Soc. Aspinall (UK), UniUd, Colenco Baden (CH), Univ. Leeds (UK), NIIK St. Petersburg (RU)	Falsaperla, Aspinall, Carmiel, Neuberg, Psenichny		@			79	
UR-3	UniBo	Campanini		@			24	24 (UniBo)
UR-4	UniSa, INGV-Rm, CIW (USA)	Crescentini, Amoroso, Scarpa		@			34	24 (UniSa)
UR-5	UniNa, UniSan	Zollo, De Matteis	@		@		24	24 (UniNa)
UR-6	Geosciences Azur (FR)	Virieux, Vanorio			@		48	
UR-7	OGS Tri	Priolo			@		8	24 (OGS)
UR-8	INGV-Rm1, Caltech Inst. (USA)	Piersanti			@		34	
UR-9	INGV-OV, UniBa, INGV-CT, Univ. Edinburgh (UK)	Bianco, Del Pezzo, De Lorenzo			@		97	12 (borsa di studio INGV-OV)
UR-10	INGV-OV, UniSa, USGS (USA)	Martini, Chouet				@	35	
UR-11	INGV-OV, UniNa	Iannaccone				@	50	

PROJECT V4 – NEW TECHNIQUES

Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
			2005	2006	Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
UR-1	INGV-Rm1	Marzocchi			2000	3000	3000	3000	13000	13000	13000	10000
UR-2	INGV-CT	Falsaperla ¹			2000	2000	3000	3000	32000	32000		
UR-3	UniBo	Campanini	16000	16000	1000	1000	1000	1000	4000	4000	2000	2000
UR-4	UniSa	Crescentini	19000	19000	1500	1500	2500	2500	3000	4000	3000	2000
UR-5	UniNa	Zollo ²	38500	38500	1000	1000	3000	3000	19800	19800	2500	2500
UR-6	Geoazur	Virieux					12000	12000	14000	14000	4000	4000
UR-7	OGS Tri	Priolo	25300	25300	2000	2000	2000	2000	4700	4700		
UR-8	INGV-Rm1	Piersanti			1000	1000	5000	5000	1000	1000	8000	8000
UR-9	INGV-OV	Bianco			2000	2000	3000	3000	13000	17000	4000	
UR-10	INGV-OV	Martini				2000			4000	7000	20000	
UR-11	INGV-OV	Iannaccone			2000	2000	2000	6000	20000	16000	20000	10000
UR-12	INGV-Rm1	Romeo			2000	6000			21100	2000	3400	
UR-13	INGV-OV	Vilardo			3000	3000	2000	2000	11000	11000		
UR-14	INGV-CT	Lodato			1000	1000	3000	3000	14000	14000		
		TOTALE	98800	98800	20500	27500	41500	45500	174600	159500	79900	38500
GRAN TOTALE: 785100												

¹32000 euros (16000 each year) included under the voice “Consumi e servizi” will be provided to the Univ. of Udine for research activities under the responsibility of R. Carniel.

²The cost for personnel (38500 euros per year) corresponds to the full cost per year of a European post-doc researcher (35000 euros) with a “CoCoCo” contract, and includes the costs under the voice “IRAP” which must be covered by the engaging institution.

PROJECT V5

Research on the diffuse degassing in Italy

Responsibles:

Giovanni Chiodini, INGV-OV Napoli
Mariano Valenza, Univ. Palermo

Project V5

Diffuse Degassing in Italy

Coordinators:

Chiodini Giovanni, Dirigente di Ricerca
Osservatorio Vesuviano INGV, via Diocleziano 328, 80124, Napoli
Tel. 081.6108448; Fax 081.6108466
e-mail: chiod@ov.ingv.it

Mariano Valenza
Dip. di Chimica e Fisica della Terra –Università di Palermo, Via Archirafi 36, 90100-Palermo
Tel. 091-6161574; Fax 091 6168376
e-mail: mvale@unipa.it

Objective of the project

The emission of endogenous gases from the soil (mainly CO₂) is a phenomena which affects large areas of the Italian territory. Gas emissions characterize areas of active and extinct volcanism, volcanism, geothermal areas and non volcanic regions. The gas is emitted both by diffuse degassing along active structures or by focused vents forming mofete, mud volcanoes, bubbling pools etc..

In most of the cases the main component of the gases is CO₂ whose density is much higher of air density and which in absence of wind accumulate in the morphological depressions forming river and lakes of gas. The humans and the animals which fortuity enter these invisible traps are destined to a secure death. Many accidents involved in the past not only domestic and wild animals but also people. The periodical occurrence of such accidents alerted the Civil Defense which financed this project whose main objective is the mitigation of gas hazard in Italy trough a coordinated and multidisciplinary study of the earth degassing in Italy.

The numerous data acquired during the project will be useful also for the achievement of important scientific results concerning the origin of the anomalous gas emission which affect the Italian territory, the global carbon budget and the relations between Earth degassing and geodynamics.

State of the Art

A general map of CO₂ earth degassing in Central South Italy has been recently elaborated on the base of the geochemical and isotopic characterization of the carbon dissolved in the main aquifer of the region (Chiodini et al., 2000 JGR; 2004 GRL; Fig. 2.1)

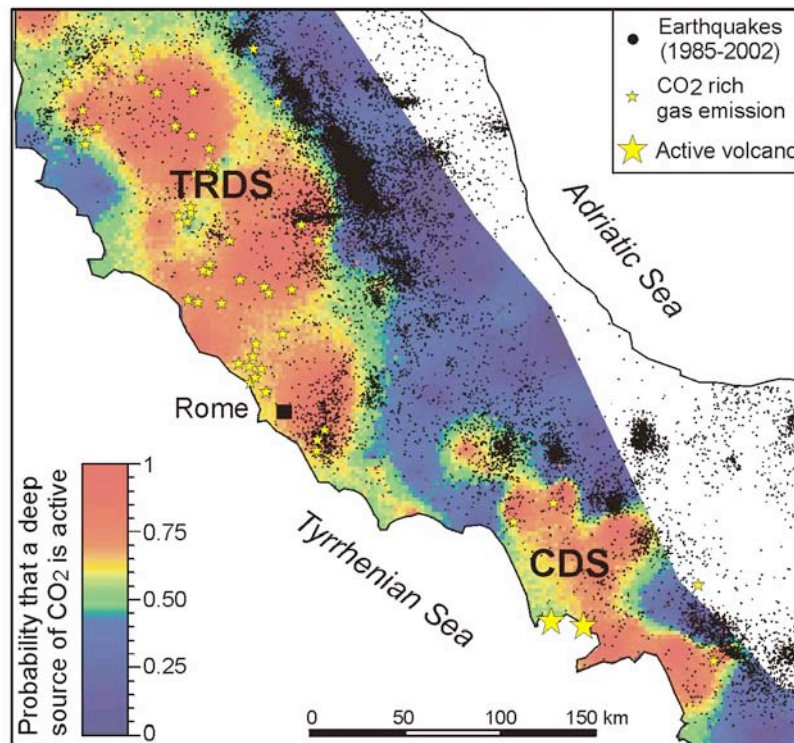


Fig. 2.1 Map of Earth degassing in central south Italy. The figure shows the probability that a deep source of carbon is present at any location (Chiodini et al., 2004 GRL). The map is compared with the recent seismic activity recorded by the National Seismic Network of INGV; the large historical earthquakes in the region are also concentrated in the same belt. The location of active volcanoes and of the main gas emissions is reported for comparison.

The map highlights the presence of two large degassing structures in the Tyrrhenian sector of Italy.

The first is bordered by the Tyrrhenian sea at W, by the Apennine at E and includes Tuscany, Latium and Umbria regions while the second coincides with the Tyrrhenian sector of the Campania region. These are two regional structures degassing deeply derived CO₂ as evidenced also by the widespread occurrence of strong gas emissions and Quaternary travertine deposited by CO₂ rich groundwater. The northern structure partially overlaps the Tuscany, Roman magmatic province (TRDS, Tuscan Roman degassing structure) while the southern structure relates to the Campanian volcanism (CDS, Campanian degassing structure). The two volcanic provinces are characterised by quaternary potassic and ultrapotassic magmas rich in fluids with high CO₂/H₂O ratios (Foley, 1992 Lithos). Geochemical features of the magmas are consistent with the melting of a mantle source metasomatized by crustal material (Peccerillo, 1999 Geology). It is reasonable that the TRDS and CDS reflect the degassing process of this metasomatized, uprising mantle. In the eastern sector of Italy, where the CO₂ anomaly disappears, the process of Earth degassing is characterized by gas emissions rich in hydrocarbons. Also these emissions will be investigated during the project.

The total amounts of deeply derived CO₂ released from TRDS and CDS have been estimated to be 1.4×10^{11} mol/y and 0.7×10^{11} mol/y respectively (Chiodini et al., 2004 GRL). The total CO₂

released by TRSD and CDS is globally significant, being ~ 10% of the present-day total CO₂ discharge from subaerial volcanoes of the Earth (Kerrick, 2001 Reviews in Geophysics). This result suggests an underestimation on CO₂ globally released by the Earth, because unquantified processes of CO₂ earth degassing from non-volcanic environment affect almost all the tectonically active areas of the world.

Both TRSD and CDS are characterized by the presence of numerous emissions of gas rich in CO₂ (Fig. 2.2).

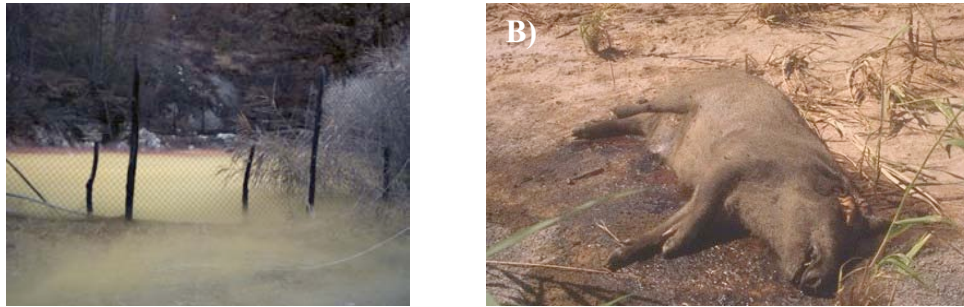


Fig. 2.2 A) CO₂ 'lake' in the Amiata region. The gas accumulation has been made visible by igniting a smoke bomb in the morphological depression. The yellow color highlights the zone where CO₂ concentration is lethal. The manifestation caused the death of a person the 20th November 2003. B) The animals and the persons which fortuitly enter in this invisible gas traps are destined to secure death. The picture shows a wild pork killed by the gas emitted at Palidoro, a gas emission located few kilometers north of Rome.

Normally these gas emissions are characterized by both focused vents and diffuse soil degassing. The gas emitted by some of these manifestations caused in the past lethal accidents. At Mefite d'Anseno (Avellino) two young archeologists died during 1990's; at Tivoli, near Rome, the gas emitted by a river saturated in CO₂ killed some boys; at Colli Albani (Rome), many lethal accidents involved in the past animals and people; at Veiano the gas killed some fishermen along a river affected by strong gas emissions; some people died at Mt Amiata (Siena) where the last lethal accident occurred in November 2003; at Manziana many people died during the second world war entering in a cave full of CO₂; the drilling of wells in some areas constitute a continuous risk because often CO₂ pressurized levels are encountered; etc.

This list is largely incomplete because a specific research on the accidents caused by the gas has never been done. Furthermore a catalogue of the gas emissions, and in particular of the dangerous areas where accidents periodically occur, is still missing. In non-volcanic areas and in areas of extinct volcanism, the flux of only few gas emissions have been already measured (Rogie et al., 2001 JGR; Chiodini et al., 1999 Chem. Geol.). Contrary many Italian volcanic areas have been already the objective of detailed studies of CO₂ soil diffuse degassing such as Vulcano (Badalamenti et al., 1991 Nature; Chiodini 1996 Bull. Volcanol.; Diliberto et al., 2002 Bull. Volcanol.), Stromboli (Carapezza e Federico, 2000 JVGR), Etna (Badalamenti et al., 1994 Acta Volcanol.; Giammanco et al., 1998 Bull. Volcanol.), Campi Flegrei (Chiodini et al., 2001 JGR), Ischia (Chiodini et al., 2004 JVGR), Vesuvio (Frondini et al., 2004 Bull. Volcanol.) and Colli Albani (Chiodini e Frondini 2001 Bull. Volcanol.; Carapezza et al., 2003 JVGR; Pizzino et al., 2002 Natural Hazard). As an example of volcanic active area, the diffuse soil CO₂ degassing of Mt Etna is reported in fig.2.3.

However, excluding few works on Colli Albani, most of these studies were aimed to the volcanic surveillance rather than to define the hazard related to the presence of the gas emissions. In

any cases these studies confirmed the presence of numerous zones where CO₂ (and sometimes H₂S) fluxes are so high that represent a serious danger for people and animals.

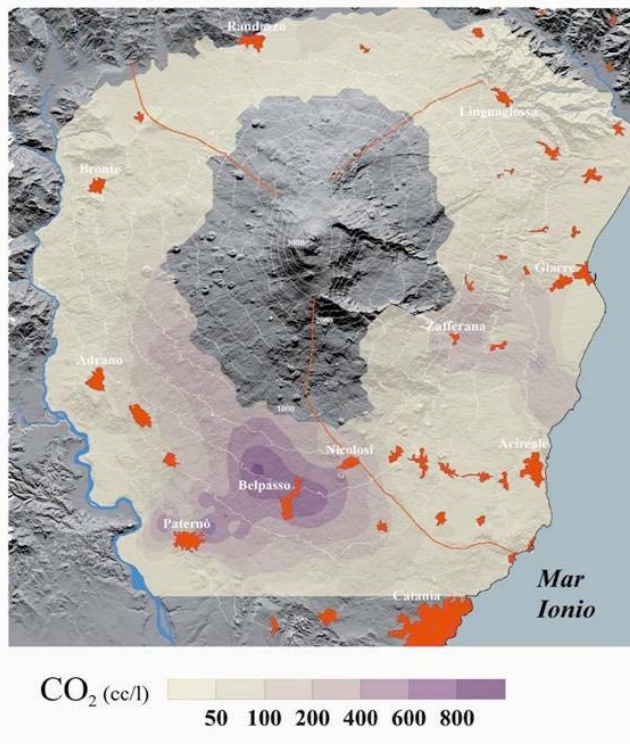


Fig. 2.3 Diffuse soil CO₂ degassing at Mt. Etna volcano. Two areas of intense soil degassing are respectively located in the South and East side of the volcanic edifice (Parelo et al.2001 GNDCI-CNR, pubbl. n. 2190).

In the geothermal areas (Larderello, Amiata, Latera) there are many geochemical studies both of the fluids emitted by natural manifestations and of the geothermal fluids founded by the geothermal wells. However also in this case detailed researches on the danger of the natural manifestations are missing as well as studies on the relations among the flow rates of the natural emissions and the amount of fluids extracted by the geothermal activity.

This project has the aim to cover this lack of knowledge trough the constitution of the catalogue of the Italian gas emissions which will comprehend the accurate location of the gas emissions, the chemical and isotopic composition of the gases, the extension of the degassing areas, a rough evaluation of the fluxes, the relations with the geological and hydrogeological setting, the relations with the anthropological feature (i.e. distance from houses, villages, town etc.), the possible presence of dead animals, the possible record of historical accidents involving humans and finally, where possible, the evaluation of the gas hazard. The more dangerous manifestations will be investigated in greater details with specific gas flux campaigns while physical numerical modeling of the process including the genesis of the gas emission and the gas dispersion in air will be applied in few selected manifestations.

Is our opinion that the proposed objectives are within the capacity of the Italian scientific community and in particular of the team proposing this project. People of this team set up methods for gas flux measurements (Guerrieri e Valenza, 1998 Rend. Soc. It. Mineral. Petrol; Chiodini et al., 1998 Appl. Geochem.), developed portable measurement instruments and automatic stations (Badalamenti et al. 1994 Acta Vulcanol, Chiodini et al., 1996 Bull. Vulcanol.), performed methodological studies for the comparison of different measurement techniques (Carapezza e Granieri, 2004 Appl. Geochem.), investigated statistical and geo-statistical tools suitable for the gas flux data treatment, for the production of maps, ecc. (Cardellini et al., 2003 JGR; Granieri et al., 2003 EPSL).

Description of the Activities

The project is organised in 4 tasks grouped in two Research lines. The research lines are: a) Italian Catalogue of the gas emissions and b) gas hazard and risk mitigation. The specific tasks are devoted to 1) Identification and characterisation of the gas emissions, relations with the structural and hydrogeological setting and with seismic activity in Central Italy and in Campania regions, 2) Identification and characterisation of the gas emissions, relations with the structural and hydrogeological setting and with seismic activity in Basilicata, Calabria and Sicily regions; 3) Definition of the scenarios and estimation of the gas hazard; 4) Evaluation of the vulnerability and risk, and risk mitigation.

The activities will be done by 15 different research units (RU) whose distribution in the 3 Tasks of the project is reported in Table 1.

Research Line 1 Italian Catalogue of the gas emissions		Research Line 2 Gas hazard and risk mitigation			
TASK 1 and 2		TASK 3		TASK 4	
UniRM3-Capelli	RU1	INGVRM1-Carapezza	RU2	UNIRM3-Barberi	RU15
INGVRM1-Carapezza	RU2	INGVOV-Chiodini	RU4		
UNINA-Castaldi	RU3				
INGVOV-Chiodini	RU4				
INGVRM2-Etiopie	RU5				
INGVPA-Favara	RU6				
UNIPG-Frondini	RU7				
INGVPA-Giammanco	RU8				
INGVPA-Italiano	RU9				
UNIPA-Parello	RU10				
INGVRM1-Quattrocchi	RU11				
CNRPI-Raco	RU12				
UNIPA-Valenza	RU13				
UNIFI-Vaselli	RU14				

Research Line 1. Italian Catalogue of the gas emissions

For a better coordination this research line has been divided in two tasks which refer to different areas but which are characterised by the same activities.

TASK 1 Identification and characterisation of the gas emissions, relations with the structural and hydrogeological setting and with seismic activity (Central Italy and Campania)

RU Coordinating: Chiodini (INGVOV)

RU Participating: Capelli (UniRM3), Carapezza (INGVRM1), Castaldi (UNINA), Etiopie (INGVRM2), Frondini (UNIPG), Quattrocchi (INGVRM1), Raco (CNRPI), Vaselli (UNIFI)

TASK 2 Identification and characterisation of the gas emissions, relations with the structural and hydrogeological setting and with seismic activity (Basilicata, Calabria and Sicily)

RU Coordinating: Valenza (UNIPA)

RU Participating: Favara (INGVPA), Giammanco (INGVPA), Italiano (INGVPA), Parello (UNIPA)

The main objective is the production of the catalogue of the Italian gas emissions (CIGE). The main questions to answer for a better knowledge of the degassing process magnitude, of the natural processes controlling the degassing, and to provide data for the definition of hazard connected to the gas emissions and for the risk mitigation are:

- which and where are the areas characterised by a potentially hazardous soil gas emissions?
- What is the magnitude of gas flux?

- What are the chemical and isotopic compositions of the released gas? And, in particular, what are the concentrations of the gas species potentially dangerous for humans and animals?
- What is the origin of the gas emitted, what are the relations between the gas and the geodynamic and structural regional setting and what are the relation with the local hydrological setting and the local ambient parameter?
- What are the correlation between the degassing and other processes in the study areas? In particular, what is the relation between degassing and the seismicity?

To answer the questions listed above, the following activities, grouped in 5 different workpackages (WP), will be performed.

WP 1 - Exploration and production of the catalogue of the Italian gas emissions: the activities related to WP 1 are: localisation and characterisation of the areas characterised by anomalous gas emission (also with collection of the existing specific bibliography); sampling and analysis of chemical and isotopic composition of the gas released; characterisation of the geological, structural and hydrogeological setting of the studied areas; collection of data about compositions of deep drilling fluids eventually present in the area and comparison with the gas emitted at the surface; inventory of lethal accident occurred in the areas.



Fig. 3.1 Areas investigated in the project and involved RU

To create an archive of the degassing areas, every RU will fill an electronic form including: name of the area, geographical position, typology of the gas emission, physical and chemical parameters of fluid released, qualitative information about the morphology, records of accidents, presence of dead animals, qualitative estimation of the hazard connected, video documentation. The distribution in

the territory of the RU is shown in Fig. 3.1. This WP will start at the beginning of the project and will continue until the end. The CIGE will be continuously updated with the information acquired by the RU during the two years of the project.

WP 2- Gas flux measurements: in the main and/or more hazardous degassing areas (20-40), specific surveys of the diffuse degassing from soil will be performed. These surveys will be devoted to the definition of the degassing structures (i.e., detailed mapping of gas flux from soil) and to the quantification of the gas release, through appropriate statistical and geostatistical tools. Furthermore, a quantification of the gas released by vents (e.g., fumaroles, dry vents, bubbling pool etc.) will be performed. Where the gas forms ‘gas rivers’ or ‘gas lakes’ the flow and/or the accumulation of the gas will be highlighted by tracers (smoke bombs) and documented with videos. The results will be included in the CIGE. During the first year project all the data already available will be inserted in the CIGE and specific campaigns will be done in the anomalous zones of Amiata and Latera (Monti Vulsini) where the investigations started before the beginning of the project. During the second year of the project new areas selected in the CIGE will be investigated.

WP 3 Conceptual and physical-numerical models of the gas emissions: in order to better understand the origin of the manifestations and the mechanisms controlling the process, some gas emissions, selected among the most dangerous, will be investigated in great detail in order to define a conceptual geochemical model. The development and evolution of gas emissions at these selected locations (Mt. Amiata, Latera, Mefite d’Ansanto), will be then simulated by applying the TOUGH2 coupled heat and fluid flow model (Pruess et al., 1999 LBNL report). Following a procedure successfully applied in volcanic areas (Todesco, 1997 JVGR; Chiodini et al., 2003 GRL; Todesco et al., 2003 JVGR; 2004 Geothermics), the physical model will be set up based on available knowledge of subsurface geology, and incorporating all information deriving from the geochemical conceptual model, and from measurements carried out in WP 1 and 2. Simulation of multi-phase and multi-component fluid flow through heterogeneous porous media will describe the degassing process according to different scenario. Results will be used to investigate the origin of gas emissions and their relation with the geological structures in the subsurface. Results will provide also boundary conditions for gas dispersion models (task 3) and will contribute to risk evaluation (task 4).

WP 4 Sink-holes and CO₂ degassing: the term “sinkhole” refers to collapse phenomena of the subsoil. Often sinkhole phenomena occurs in alluvium terrains overlaying carbonatic formations and in most cases has been noted the presence of fluids in the subsoil (CO₂, H₂S, etc.) which could favour the phenomena forming acidic solutions which dissolve the carbonatic rocks. This WP is aimed to improve the catalogue of the sinkholes of the Latium region which already was produced. This new catalogue will have more information than the older, it will have data of localization, information on geological and hydrogeological setting of the sites, on the shape of the collapsed structures, and on the geochemistry of the fluids circulating in the sinkhole areas. The catalogued phenomena will be classify in relation to the four genetics typology already defined from previous studies (Cover subsidence sinkhole, Cover collapse sinkhole, Cave collapse sinkhole and “Spring sinkhole typical of the Latium region”). The catalogue will place at “Dipartimento della Protezione Civile” disposal. Main characteristic of the research will be the study of the interaction between rock-water-gas in relation to the specific features of two areas (geological structural and hydrogeological setting, anthropic activity). In particular, during the first year it will inquire the knowledges about the area of Doganella-Laghi del Vescovo (LT), while during the second, the area of Cotilia-Peschiera (RI), as regard about 15 sinkholes. In one of the studied sinkhole will be installed probes that will check the parameters of gas and water. The research main aim is the definition of evolution modelling that could help in the individuation of precursor elements of the collapse events.

WP 5 Hydrogeochemical studies of CO₂ – water interaction; the map of Fig. 2.1 and Fig. 2.3 has been derived by a detailed hydrogeochemical study of the groundwaters finalised to quantify the input of deeply derived CO₂ in the aquifers. This kind of study will continue during the project in areas not already investigated. In particular the aquifers of Sicily will be investigated by RU 13, while the aquifers located in Tuscany will be studied by RU7 and RU4. In total 200-300 samples of groundwater will be collected and analysed. The areas characterized by high anomalous gas content in the aquifers will be investigated for the diffuse soil degassing. Furthermore the relationship between the soil gas distribution and the active tectonic structures will be investigated. General maps of CO₂ earth degassing of the investigated areas will be produced at the end of the project. The results of these studies, integrated with those of previous investigations, will contribute to the definition of the origin of the released gas in volcanic and non-volcanic environments and to define the relation between degassing and seismic activity, in particular comparing the distribution of the gas anomalies with the distribution of the recent and historical seismicity.

Research Line 2. Gas hazard and risk mitigation

TASK 3 Definition of the scenarios and estimation of the gas hazard

RU Coordinating: Carapezza (INGVRMI)

RU Participating: Chiodini (INGVOV)

The hazard related to the gas emissions mainly depends on the high concentration of dangerous gases (CO₂ and H₂S) in the air near the manifestations. The accumulation and the dispersion of the gases in the air depend on many factors such as the flow rate of the gas emission, the morphology of the emission area, the meteorological conditions, etc.. In particular relevant questions are:

- How the CO₂ and H₂S concentration in air depends on the degassing rate and on the type of emission (i.e. focused vents, diffuse degassing areas, ecc.)?
- What are the space-temporal variation on the gas concentration in air and in groundwaters, and what factors control such variations?
- What is the area of influence of a gas emission?

In order to give an answer to such questions, the activities of TASK 2 are divided in two WPs.

WP1 Implementation of specific gas dispersion codes: gas emissions develop in regions where a gas source exists at depth and hydrogeological conditions and human intervention, such as drillings and excavations, allow for gas propagation to the surface. Gas propagation through porous media can be described by a multi-phase version of Darcy's law, accounting for the coupled transport of heat and fluid through heterogeneous and anisotropic media. Once the surface is reached, the dispersion of the gas cloud denser than air is governed by the gravity and by the effects of lateral eddies which increase the mixing with air around the edges of the plume, decreasing the density. In the initial phase, the negative buoyancy controls the gas dispersion and the cloud follows the ground (gravitational phase). In this phase, the dispersion of heavy gas is markedly different from a passive or a positively buoyant gas dispersion. When the density contrast is not important, gas dispersion is basically governed by the wind and atmospheric turbulence (passive dispersion). Simulations of these phenomena can be achieved by using physical-numerical models based on the transport equations for mass, momentum, energy and species. Gas emission rate and temperature will derive from both field measurements and from modeling of subsurface gas flow (TASK 1 -2, WP3). Physical modeling of coupled heat and fluid transfer through porous media will be performed by applying the TOUGH2 model (Pruess et al., 1999 LBNL Report). According to selected scenarios, different conditions will be considered to characterize feeding of main gas emissions, also accounting for CO₂ transitions from super- to subcritical conditions, where required (Pruess, 2004

Soc. Pet. Eng. J.,). Then modeling of gas dispersion into the atmosphere will be performed, based on previous experiences derived from studies on geologic carbon sequestration sites (Oldenburg and Unger, 2003; 2004 Vadose Zone Journal). Complete and computationally expensive models are based on the transport theory (Macedonio & Costa, 2002 Proceedings of the Arezzo Seminar in fluids Geochemistry). This approach is able to simulate dispersion of a heavy gas accounting for obstacles, topographic effects, and variation of atmospheric conditions. An alternative method is given by the shallow layer approach which uses depth-averaged variables to describe the flow behavior (Hankin et al., 1999 J. Hazard. Mater; Venetsanos et al., 2003 J. Hazard. Mater). These models will also be used to describe gravity driven flows of dense gas over complex topographies at selected sites. Finally the main product of this WP will be the evaluation of gas dispersion in air within different scenarios, and as a function given controlling parameters such as gas flow rate, morphology, meteorological conditions. Modeling results will be integrated with expert judgment, case histories and measured data to contribute to risk evaluation, together with RU involved in Task4.

WP2 Selection of testing sites and validation of the gas dispersion codes: surveys carried out within the WP1 will allow to identify and characterize the main and most hazardous sites of gas emissions. At some of these sites (2-3), to be defined together with the other URs involved in Task 1 and 3 (risk evaluation), modeling of carbon dioxide dispersion will be performed to evaluate possible flow patterns as a function of local topography, gas emission rate through the soil, and atmospheric conditions. Local topography and site features, as well as meteorological conditions, will be determined during the project. The first test site will be Cava dei Selci. Cava dei Selci, on the NW slope of the Colli Albani volcanic complex, is a site of very high gas emission. The emitted gas mainly consists of CO₂ (over 98%vol) with about 1 vol% of H₂S. CO₂ soil flux has been regularly measured since the year 2000 on a fixed grid of 120 measurements points over a surface of 6350 m². Flux variation of about one order of magnitude have been recorded, apparently in relation with local and regional seismicity and variations in the water table depth. CO₂ soil flux, CO₂ and H₂S air concentration, environmental parameters such as wind direction and speed, air and soil T, soil moisture, atmospheric P have been continuously recorded since the end of 2003. As several lethal accident have occurred to animals (and to a man), this site deserves a special attention and thank to previous studies, almost all data needed for a physical-numerical model of gas dispersion in the atmosphere are available and this will permit the definition of an hazard scenario. We plan to complete the existing automatic station by installing a new sensor for CO₂ air concentration so to have a simultaneous recording of CO₂ and H₂S, air concentration at the same height from the soil. CO₂ soil flux and environmental parameters will be also measured so that at the end of the first year of the project we will have two years of continuous record of the data needed for a physical-numerical modeling of gas dispersion. The model will be elaborated taking also into account the detailed morphology of the site. All data will be statistically processed in order to recognize the conditions under which gas concentration in air reaches dangerous values. Furthermore the results of the modelling will be validated by the data of CO₂ and H₂S air concentrations from the above automatic stations. (NOTA: Model set up and scenario simulations carried out for the above mentioned site will allow for a quick hazard evaluation in case of peculiar episodes; similar application will be possible also at different sites, after appropriate model set up and providing enough information will be available to characterize the site)

TASK 4 Evaluation of the vulnerability and mitigation of the risk

RU Coordinating and participating: Barberi (UNIRM3)

Much has still to be learned about the human hazard of natural soil gas emissions in particular CO₂ and H₂S. This is increasingly becoming a problem in Italy, where many dangerous high degassing areas exist. Marked increases of soil CO₂ flux, sometimes with lethal consequences,

have occurred in association with volcanic unrest or eruption, as observed at Vesuvio, Campi Flegrei, Mammoth Mountain, Nyragongo, Vulcano. Catastrophic release of huge masses of CO₂ stored in hydrothermal systems occur in phreatic explosions such as at Dieng, Indonesia, and by crater lake rollover, such as at Monoum and Nyos, Cameroon. The most common and diffuse hazard is CO₂ accumulation in dwellings by diffuse degassing from the ground. In closed spaces, without ventilation, concentration can reach fatal threshold very quickly. Devices have been developed to measure CO₂ soil flux and environmental parameters and to control gas concentration in air. At Cava dei Selci and Vigna Fiorita (Colli Albani), houses have been built over high gas emission grounds. Here any excavation or well crossing a surface impermeable layer, produces a strong gas emission that may dangerously accumulate in cellars. The same situation occurs in the inhabited area of Vulcano Porto, where fatal accidents have also occurred. A somewhat different situation occurs at Fiumicino (Rome). Here apparently there are no relevant natural gas manifestations at the surface, but shallow wells crossing an impervious clay layer at a depth of only a few tens of meters cause frequently emission of CO₂, that diffusing into porous surficial sands may reach dangerous concentrations in dwellings. In an accident of this kind occurred on February 2005 seven persons were hospitalized and only by chance they escaped death. The toxicology of CO₂ and H₂S needs a review aimed at a more precise definition of the tolerable risk levels. An almost entirely new research fields is that of the remediation measures to reduce gas exposure risk in houses, although some examples can be extrapolated from Rn risk reduction.

A full and comprehensive review of the CO₂ toxicology will be delivered. The report will provide the scientific basis for setting indoor hazard levels and should allow civil protection to define tolerable risk levels for the population. As far as H₂S is concerned, the work done by regulatory agencies worldwide will be reviewed and the report applicable to indoor air exposure will be delivered. Results will serve also for the selection of the dangerous areas which should be enclosed, for the predisposition of the text for danger signals and for the formulation of rules for the access and for living in areas near the dangerous gas emissions. Cava dei Selci, Vigna Fiorita, Fiumicino and Vulcano Porto have been selected as study areas. At Cava dei Selci there is a good background information on CO₂ soil flux and gas air concentrations, that will be continuously recorded during the project by the automatic station run by the RU working on Task 2. Here a feasibility study for risk mitigation will be carried out, investigating the possibility of drilling a well that could disperse the gas into the atmosphere drastically reducing the ground gas emission. Accidental gas blowout occurred at geothermal or water wells will be studied as potential analogues. Chemical devices developed by Enel to reduce the H₂S release from geothermal plants will also be considered for environmental purpose. Vigna Fiorita, Fiumicino and Vulcano Porto appear as ideal sites to address the problem of indoor gas hazard as many houses are located on high gas emissive grounds. To this scope low-cost devices will be selected and tested to control the gas concentration of indoor air, with an alert signal calibrated to selected concentration levels. A report will be delivered on soil gas remediation technologies and their applicability specifically for CO₂, with recommendation for the specific house construction types of the studied areas. Two prototypes for indoor CO₂ and H₂S automatic concentration measurement with alert calibrated to selected thresholds will be tested in the frame of the project. Technical precautionary prescriptions will be formulated for drillings and excavations in gas hazard prone areas.

List of deliverables

The deliverables of the project, divided per task and wordpackages are listed here below.

TASK 1 & 2 Identification and characterisation of the gas emissions, relations with the structural and hydrogeological setting and with seismic activity

- Deliverable 1.1.1 (*WP1*) Set up of the electronic form for gas emissions. The form will be used during the project by each involved RU and will contain the following information: Latitude and Longitude; Name; Type; Description of the access; Description of the structural- geological-hydrogeological features; Qualitative flow rate, Qualitative extension; Presence of dangerous topographic depressions; Record of accidents involving people and, if yes, details of the accidents; Record of accidents involving animals and, if yes, details of the accidents; presence of dead animals and, if yes, description of the animals (number, type, etc.); Photo of the emission (in electronic format); Specific bibliography
- Deliverable 1.1.2 (*WP1*) Results of gas emission field surveys (electronic forms and reports)
- Deliverable 1.1.3 (*WP1*) Chemical and isotopic analyses of the gases (reports and gas emission forms) Chemical analyses: (H₂O), CO₂, H₂S, CH₄, N₂, Ar, O₂, He, H₂, CO. Chemical analyses of hydrocarbons. Isotopic analyses of C (CO₂, CH₄). Isotopic analyses of He (³He, ⁴He)
- Deliverable 1.2.1 (*WP2*) Diffuse soil CO₂ flux surveys (reports, thematic maps, total output estimation, gas emission forms)
- Deliverable 1.2.2 (*WP2*) Measurements of CO₂ flux from vents (reports, gas emission forms)
- Deliverable 1.3.1 (*WP3*) Identification of relevant gas emission sites for which conceptual models will be designed. Set up of physical model of subsurface gas flow feeding the selected gas emissions (i.e.: definition of domain's geometry and properties, initial, and boundary conditions which enable to describe of observed surface degassing), report and simulation results
- Deliverable 1.4.1 (*WP 4*) Catalogue of sinkholes in Latium
- Deliverable 1.4.2 (*WP 4*) Sinkholes, geology, structures and geochemical study of the fluids, reports
- Deliverable 1.4.3 (*WP 4*) Sinkholes, individuation of precursor elements of the catastrophic events
- Deliverable 1.5.1 (*WP 5*) Chemical and isotopic composition of groundwaters, reports
- Deliverable 1.5.2 (*WP 5*) Thematic maps of CO₂ water interaction, reports
- Deliverable 1.6.1 (*ALL WP*) Catalogue of Italian gas emissions (final product, data base in electronic form)

TASK 3 Definition of the scenarios and estimation of the hazard

- Deliverable 3.1.1 (*WP 1*) Set up of physical models of gas dispersion in air at selected gas emission sites; coupling of subsurface-surface flow models; comparison among results and performance of different models.
- Deliverable 3.2.1 (*WP 2*) Modeling of gas dispersion in air within different scenarios, at selected gas emission sites (i.e. Cava dei Selci and possibly others); identification of system conditions leading to hazardous gas concentration in the air; set up and validation of an effective procedure (data collection, model set up, and process simulation) to be applied for hazard assessment where dangerous gas emission occur.

TASK 4 Evaluation of the vulnerability and mitigation of the risk

Deliverable 4.1.1 Review of CO₂ toxicology, report

Deliverable 4.1.2 Soil gas (CO₂) remediation technologies, report

Deliverable 4.1.3 Feasibility study for risk mitigation at Cava dei Selci

Deliverable 4.1.4 Tests of prototypes for indoor CO₂ and H₂S automatic concentration, report

Deliverable 4.1.5 Remediation techniques for gas leakage caused by shallow drillings, report

PROJECT V5 – DIFFUSE DEGASSING

TABLE MAN/MONTHS

U.R	Institutions	Principal Responsible	Task1 Inventory of gas emissions – Central Italy and Campania	Task2 Inventory of gas emissions – Basilicata, Calabria, Sicilia	Task3 Scenarios and hazard	Task4 Vulnerability and risk	Mesi p. cofin.	Mesi p. rich.
UR-1	UniRmTre, INGV-Rm1	Capelli, Mazza, Delitala	@				54	24 (UniRmTre)
UR-2	INGV-Rm1, UniRmTre, INGV-PA, CNR-IGG	Carapezza, Barberi	@		@		52	
UR-3	UniNaII, CNR-IGAG, UniFi, Univ. Rochester (USA), GFZ Potsdam (D)	Castaldi, Tedesco, Gianfrani, Voltaggio, Minissale	@				72	
UR-4	INGV-OV, INGV_Rm1	Chiodini, Granieri, Caliro	@		@		68	
UR-5	INGV-Rm2, INGV-PA, UniRmTre, Univ. Cluj (RO), UniChi, UniRm1, CNR-IGAG, ARPA Emilia Romagna, IBIMET Fi	Etiopie	@				27	
UR-6	INGV-PA, UniPa, UniRm1	Favara		@			28	
UR-7	UniPg	Froncini, Cardellini, Collettini		@			72	18 (UniPgS)
UR-8	INGV-PA, CNRS-LPS (FR), UniPa, JSI Lubiana (SL)	Giammanco, Badalamenti		@			42	
UR-9	INGV-PA, UniRm1, Russian	Italiano, Caracausi		@			46	

PROJECT V5 – DIFFUSE DEGASSING

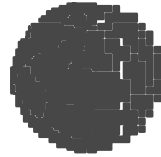
Table RU and related funding request

N. UR	Istituz.	Resp UR	Personale		Missioni				Consumi servizi		Inventariabile	
					Italia		Estero		2005	2006	2005	2006
			2005	2006	2005	2006	2005	2006				
UR-1	UniRmTre	Capelli	16500	18500	2000	2000			3000	4000	3000	1000
UR-2	INGV-Rm1	Carapezza			3000	4000	2000	2000	20500	20500	5500	2000
UR-3	UniNaII	Castaldi			4500	4500	1500	1500	5000	5000		
UR-4	INGV-OV	Chiodini			9000	9000	6000	6000	11500	12500	5000	2000
UR-5	INGV-Rm2	Etiope			4000	4000	3000	3000	9000	10000		
UR-6	INGV-PA	Favara			2500	4000			6500	7000		
UR-7	UniPg	Froncini	12000	20000	7500	4000		3000	6500	5000	4000	
UR-8	INGV-PA	Giammanco			2000	2000	3000	3000	10500	11000	3500	
UR-9	INGV-PA	Italiano			2000	2500		2500	16000	16000		
UR-10	UniPa	Parello			7000	7000	2000	2000	11500	14500	5000	
UR-11	INGV-Rm1	Quattrocchi			1500	1500	1500	1500	19000	16000	2000	
UR-12	CNR-IGG	Raco	16000	4000	2500	2500			3500	3500	3000	3000
UR-13	UniPa	Valenza	12000	12000	7000	9000	3000	3000	20000	20000	5000	2000
UR-14	UniFi	Vaselli	6000	12000	8000	9000			3000	3500		
UR-15	UniRmTre	Barberi	18000	18000	2000	2000	1500	1500	23000	12000	1000	1000
		TOTALE	80500	84500	64500	67000	23500	29000	168500	160500	37000	11000
GRAN TOTALE: 726000												

ALL. 3

Sottoprogetto "Vulcanologia storica dell'area campana" (V3_8) e Progetto EduRisk
(All. 1 al Decreto 484 del 29 luglio 2005)

I - 00143 ROMA
Via di Vigna Murata, 605
Tel.: (39)-6-518601
Telex: 625835 GEOROM
Telefax: (39)-6-5041181



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

Avvio attività di integrazione dei progetti di ricerca previsti dalla Convenzione ProCiv-INGV 2004-2006

Allegato 1 al Decreto 484 del 29 luglio 2005

Dettaglio delle attività previste

Roma, luglio 2005

Con Decreto n. 179 del 18 maggio 2005 il Presidente dell'INGV ha avviato formalmente i progetti sismologici e vulcanologici previsti dalla Convenzione 2004-2006 siglata dall'INGV con il Dipartimento per la Protezione Civile (DPC). Si tratta di 10 progetti di ricerca, 5 a carattere sismologico e 5 a carattere vulcanologico, ideati per rispondere a specifiche istanze e necessità del DPC. I progetti vengono finanziati con i fondi riservati da tale Convenzione per "attività di studio e ricerca" (art. 5c della Convenzione) e coinvolgono circa 260 Unità di Ricerca e oltre 1.500 ricercatori distribuiti in un ampio spettro di enti ed istituzioni di ricerca italiani e stranieri, secondo lo schema che segue:

	Progetti Sismologici	Progetti Vulcanologici	Totali (Euro)	% su totale finanziamenti
INGV	1.473.500	2.842.500	4.316.000	39
CNR	214.000	256.500	470.500	4
OGS	568.500	90.000	658.500	6
Università	1.912.330	3.375.600	5.287.930	48
Altri Enti	106.000	47.000	153.000	1
Estero	0	239.000	239.000	2
Totali (Euro)	4.274.330	6.850.600	11.124.930	100

I progetti rappresentano un notevole sforzo della comunità scientifica nazionale verso il raggiungimento di risultati utili per un immediato utilizzo da parte del DPC. Tutti i dettagli sulla struttura scientifica e finanziaria dei progetti sono contenuti negli allegati al citato Decreto n. 179/05 (disponibili in rete sul sito <http://www.ingv.it>).

Successivamente all'elaborazione dei progetti si è manifestata la necessità di avviare due ulteriori iniziative, che per ragioni diverse non potevano ricadere all'interno dei progetti stessi o che, pur potendo rappresentare parti di uno o più progetti, hanno un carattere pre-competitivo diverso da quello che caratterizza le altre attività finanziate. In particolare, l'iniziativa EduRisk appartiene alla prima di queste due categorie, sia perché si tratta di un progetto di divulgazione scientifica e non di ricerca in senso stretto, sia perché tratta allo stesso tempo il rischio sismico e quello vulcanico. Per questa ragione EduRisk viene avviato come un progetto indipendente analogo ai progetti sismologici e vulcanologici. Tuttavia, i coordinatori di EduRisk non fanno parte dei Comitati di Gestione insediati per i progetti sismologici e vulcanologici, ma operano sotto la supervisione di tali Comitati. La seconda iniziativa, quella relativa alle ricerche a carattere storico sulle eruzioni dei vulcani italiani, rappresenta invece uno sforzo di ricerca che integra e completa un'attività già proficuamente avviata dalla SGA per conto dell'INGV. Per questa ragione tale attività viene avviata costituendo la SGA come una UR aggiuntiva del progetto V3 "Ricerche sui vulcani attivi, precursori, scenari, pericolosità e rischio", coordinato da P. Papale e S. Gresta.

Il dettaglio delle attività proposte è fornito nelle pagine successive. La validazione scientifica delle attività e il loro coordinamento saranno garantiti dai Comitati di Gestione dei Progetti INGV-DPC o da uno o più sottoinsiemi di tali comitati. Tutti i costi presentati si riferiscono all'intera durata operativa e finanziaria della Convenzione 2004-2006.

I coordinatori dei Comitati di Gestione

Paolo Papale

Gianluca Valensise

Riepilogo attività proposte

	Tema	Costo (k€)	Note
1	Progetto EDURISK - Percorsi educativi per la riduzione del rischio	330	Configurato come progetto indipendente coordinato da R. Camassi e C. Nostro
2	Ricerche a carattere storico per l'integrazione e il completamento della banca dati georeferenziata sulle eruzioni vulcaniche in Italia.	250	Configurato come due UR aggiuntive del Progetto V3 (UR SGA e UR INGV-CT)
	Totale generale	580	

I costi si riferiscono all'intero biennio che finisce con la conclusione dei progetti di cui al Decreto n. 179/05 (luglio 2007).

|

1. Progetto EDURISK - Percorsi educativi per la riduzione del rischio

Nell'ambito del Programma Quadro 2000-2002 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti il DPC ha finanziato EduRisk, un progetto di sviluppo di attività di formazione e informazione al rischio sismico rivolto al mondo della scuola di base. Il progetto si è materialmente sviluppato tra il 2003 e il 2004 e ha portato a importanti risultati il cui valore è stato entusiasticamente riconosciuto in diverse sedi scientifiche, oltre che dal gruppo di esperti designati dal DPC per la valutazione dei progetti svolti nel quadro del citato Programma Quadro.

Si propone qui di avviare una nuova fase di EduRisk, estendendo esplicitamente il campo di azione a diverse tipologie di rischio (non solo sismico ma anche vulcanico e da maremoto). In virtù di questa sua ampiezza di intenti EduRisk si presta ad essere finanziato al di fuori dei progetti sismologici e vulcanologici in senso stretto, ma in ovvia sinergia con essi. Il progetto intende migliorare e completare l'offerta formativa per la scuola e per gli utenti dei percorsi di visita presso le sedi dell'INGV e i centri di divulgazione che l'INGV gestisce. Tale offerta formativa è costituita da materiali e strumenti didattici realizzati appositamente per il mondo della scuola e il pubblico (percorsi espositivi, volumi informativi, prodotti multimediali, volumi didattici) e da proposte formative per gli insegnanti (corsi di formazione e aggiornamento, sistema di formazione a distanza). In particolare il progetto intende sistematizzare sul piano metodologico e organizzativo il processo formativo per gli insegnanti sperimentato negli anni 2003-2005, estendendolo alla scala nazionale.

Il nuovo progetto EduRisk (il cui testo è fornito come Appendice A) viene proposto dal qualificato *staff* di ricercatori e tecnici che originariamente lo ha avviato, mantenendo le collaborazioni attive con il mondo editoriale (Giunti Progetti Educativi, Firenze, e Prospero, Trieste) integrate da una collaborazione con il centro LUPT dell'Università di Napoli sul tema della vulnerabilità sismica e vulcanica. Ad esso contribuirà personale delle sezioni INGV di Milano, Roma, Napoli e Catania, con lo specifico obiettivo di affiancare alla competenze in campo sismologico, già ben rappresentate nella prima fase di EduRisk, anche competenze nel settore del rischio vulcanico. Il progetto intende mantenere un collegamento costante con le iniziative di ricerca finalizzate all'aggiornamento delle conoscenze nei settori della pericolosità sismica e vulcanica, espresse in particolare dai progetti sismologici e vulcanologici promossi nell'ambito della convenzione con il DPC. Per questa ragione al progetto partecipano con un ruolo di osservatori e interlocutori diretti i due coordinatori dei Comitati di Gestione dei progetti INGV-DPC.

Costo: 330 k€

2. Ricerche a carattere storico per l'integrazione e il completamento della banca dati georeferenziata sulle eruzioni vulcaniche in Italia.

La consapevolezza dell'importanza delle ricerche a carattere storico nel campo delle Scienze della Terra nasce da una visione più matura dei fenomeni catastrofici naturali e dei legami che intercorrono tra di essi. Tali legami implicano una difficoltà nell'isolare un fenomeno rispetto ad altri; si pensi solo alla combinazione di attività sismica e vulcanica nei grandi parossismi del Vesuvio e dell'Etna, o alla possibile combinazione tra attività erutiva e maremoti a Stromboli. L'osservazione che le fonti storiche e le relative metodiche d'indagine sono le stesse per tutti i fenomeni naturali rende efficiente sul piano pratico e opportuno sotto il piano scientifico far convergere progressivamente gli approcci utilizzati nello studio di attività sismica e vulcanica e i relativi prodotti.

Questa premessa consente di comprendere meglio il senso della ricerca qui proposta, che ha come oggetto i vulcani campani - il Vesuvio, i Campi Flegrei e Ischia - e si inserisce nella ricerca in corso presso l'INGV già da alcuni anni sull'attività dei vulcani mediterranei in tempi storici. La ricerca è dettagliata in Appendice B, che contiene anche le schede delle UR che concorrono alle attività finanziate. Oggetto dell'indagine storica sono eruzioni, tracce di attività vulcanica sottomarina, attività sismica connessa, degassamento ed eventuali tracce di deformazioni, ricaduta di ceneri in area mediterranea, con possibilità di datazione storica precisa. E' importante sottolineare che, come già nel caso della sismologia storica, si tratta di ricerche non attuabili all'interno di progetti di ricerca vulcanologica convenzionali e con gli strumenti di osservazione e studio correnti, ma che richiedono invece un contributo specialistico *ad hoc*, per il quale l'INGV si avvale ormai da molti anni della società Storia Geofisica Ambiente di Bologna (SGA). Dalla collaborazione tra INGV e SGA sono già nati diversi prodotti, il principale dei quali è rappresentato da una banca-dati georeferenziata modellata sullo schema del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, che descrivono l'attività storica dell'Etna e di altri vulcani siciliani.

Tenendo conto delle ricerche già svolte e dell'attuale contenuto della banca dati, la tranche di ricerche qui avviate riguarderà nello specifico le seguenti linee di ricerca:

1. integrazioni di fonti storiche: fonti arabe, fonti bizantine dal XIII al XV secolo, fonti archivistiche spagnole per il secoli XVI-XVII (*Archivo General de Simancas*);
2. schedatura informatica delle nuove fonti reperite (secondo i codici della banca dati in corso);
3. analisi critica dei cataloghi e della tradizione vulcanologica storica;
4. elaborazioni di commenti storici e filologi, per ogni eruzione o fenomeno individuati, secondo i criteri del progetto generale in corso;
5. avanzamento dell'analisi di trattati del XVII secolo (scritti dopo l'eruzione del 1631): almeno tre opere, da concordare;
6. eventi sismici vulcanici: schedatura di testimonianze storiche e inserimento nella banca dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, gestita da SGA per conto dell'INGV;
7. avanzamento della ricerca iconografica e cartografica storica (schedatura, digitalizzazione e codificazione per la banca dati).

I risultati di questa ricerca saranno resi disponibili ai responsabili dei progetti vulcanologici all'inizio della seconda fase dei progetti stessi. E' prevista la costituzione di un piccolo gruppo di lavoro formato da vulcanologi esperti nell'area campana, come supporto alle attività di ricerca qui descritte.

Costo: 250 k€

Appendice A

Progetto EDURISK

**PERCORSI EDUCATIVI
PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO**

coordinatori:

Camassi Romano D. (INGV, Milano), Nostro Concetta (INGV, Roma)

1. Obiettivo

L'obiettivo di questo progetto è lo sviluppo di attività di formazione e informazione al rischio sismico e vulcanico per il mondo della scuola, sulla base delle esperienze condotte fra il 2003 e il 2004 con la realizzazione dell'omonimo progetto, nell'ambito del programma quadro 2000-02 del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti [GNDT], finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile [DPC].

Il progetto intende migliorare e integrare l'offerta formativa per la scuola e per gli utenti dei percorsi di visita presso le sedi dell'Istituto e i centri di divulgazione gestiti dall'Istituto. Tale offerta formativa è costituita da materiali e strumenti didattici realizzati appositamente per la scuola e per il pubblico (percorsi espositivi, volumi informativi, prodotti multimediali, volumi didattici) e da proposte formative per gli insegnanti (corsi di formazione e aggiornamento, sistema di formazione a distanza). In particolare il progetto intende sistematizzare sul piano metodologico e organizzativo un processo formativo per gli insegnanti, sulla base di quello sperimentato negli anni 2003-2005, estendendolo a scala nazionale.

Il progetto viene proposto dallo staff che originariamente lo ha avviato, mantenendo le collaborazioni attive (Giunti Progetti Educativi, Firenze e Prospero, Trieste), integrate da una collaborazione con il centro LUPT dell'Università di Napoli sul tema della vulnerabilità sismica e vulcanica, e viene inserito a pieno titolo nelle attività coordinate dal Tema Trasversale Coordinato "Formazione e Informazione" (coordinatori R. Camassi e C. Nostro), con il contributo di personale delle sezioni INGV di Milano, Roma, Napoli e Catania e l'integrazione, in particolare, di competenze nel settore del rischio vulcanico. Il progetto intende mantenere un collegamento costante con le iniziative di ricerca finalizzate all'aggiornamento delle conoscenze nei settori della pericolosità sismica e vulcanica, espresse in particolare dai progetti sismologici e vulcanologici promossi nell'ambito della convenzione con il DPC: per questa ragione al progetto partecipano con un ruolo di osservatori e interlocutori diretti i coordinatori dei progetti, Gianluca Valensise e Paolo Papale.

2. Stato dell'arte delle iniziative in corso nell'ambito dell'argomento proposto

La consapevolezza che informazione e educazione al terremoto sono strumenti importanti per la riduzione del rischio sismico (e in genere dei rischi naturali) si afferma relativamente di recente presso la comunità scientifica e il ristretto gruppo di tecnici e politici che si occupano di Protezione Civile in Italia.

Le prime esperienze in questo campo furono avviate alla fine degli anni Settanta dal Gruppo di Lavoro "Educazione di massa" del Progetto Finalizzato Geodinamica e proseguite negli anni Ottanta dal Gruppo di Lavoro "Educazione e Informazione" del GNDT, coordinato da Daniele Postpischl. Le iniziative di respiro nazionale persero progressivamente slancio all'inizio degli anni Novanta: l'ultimo momento di confronto pubblico sul tema fu il seminario "Educazione ai rischi naturali" (Genova, settembre 1991) e l'attività del GdL "Educazione e Informazione" si interruppe formalmente con la morte di Daniele Postpischl nel 1992. A livello locale, invece, l'esperienza avviata in ambito GNDT ebbe ancora alcuni sviluppi negli anni Novanta: furono realizzati l'opuscolo "Conoscere per difendersi. Il terremoto" (Raccichini, 1990) e alcune campagne informative di largo respiro indirizzate soprattutto alle scuole (Repubblica di S. Marino, 1989-1994; Bolognese, 1992-1997). Nel quadro di queste iniziative furono pubblicati l'opuscolo "10 domande sui terremoti" (Postpischl, 1994), il "Manuale di Protezione Civile. Cosa sapere e come comportarsi in casa, in città, in vacanza" (1995), diffuso in circa 40.000 copie, e il volume "... e per compagna di banco la sicurezza" (Giunti, 1997), contenente unità didattiche sulle tematiche di protezione civile ed elaborati degli allievi di alcune delle scuole che avevano partecipato alle campagne informative.

Nel settore della riduzione del rischio vulcanico, esperienze analoghe venivano promosse dall'Osservatorio Vesuviano e dal Gruppo Nazionale di Vulcanologia (GNV) con progetti finanziati

dal MIUR e da singoli Provveditorati agli Studi. La Commissione incaricata di redigere il primo Piano Vesuvio (pubblicato nel 1995) e le Commissioni successivamente incaricate del suo aggiornamento, prevedevano gruppi di lavoro e iniziative finalizzati alla divulgazione, intesa sia come supporto alle azioni di mitigazione del rischio vulcanico e come strumento di mitigazione essa stessa.

Nel 1996, su richiesta del DPC, un gruppo di ricercatori facenti capo al GNDT, all'ING e al SSN (Camassi et al., 1996) realizza una versione aggiornata dell'opuscolo ideato da D. Postpischl "10 domande sui Terremoti", completa di una serie di appendici a carattere regionale ("Prepararsi al terremoto"). Tale nuova versione resta però inedita.

Nella seconda metà degli anni Novanta il SSN cura alcune iniziative promosse dal DPC: tra esse figurano sia campagne su vasta scala (il dépliant "conoscere per prevenire", diffuso come supplemento di un quotidiano a tiratura nazionale; la scheda informativa "...se arriva il terremoto", inserita nelle bollette ENEL; una pagina dell'avantielenco Telecom che illustra le norme di comportamento in caso di terremoto), sia iniziative di carattere elitario e limitato impatto informativo (il progetto "Cinema e terremoti"). Le iniziative più recenti del SSN in campo educativo comprendono: il finanziamento di un opuscolo informativo per bambini ("Alla riscossa... contro il terremoto!"), realizzato in collaborazione con la Walt-Disney Italia e diffuso attraverso alcune riviste e in alcuni ambiti regionali; la produzione di un opuscolo informativo di carattere più generale ("Quando arriva il terremoto"); la promozione del progetto "Arianna", avviato con la realizzazione di una guida turistica interregionale e un DVD-ROM; quest'ultimo progetto è attualmente sospeso e la guida non risulta essere stata distribuita al pubblico. Tutte queste iniziative, onerose dal punto di vista finanziario, benché potenzialmente di notevole rilievo, hanno risentito della mancanza di un adeguato e organico progetto di diffusione e di valutazione del loro reale impatto sul pubblico.

Le realizzazioni editoriali dell'Istituto Nazionale di Geofisica in tema di informazione comprendono il fascicolo "Conoscere il terremoto" (Di Stefano e Riposati, 1998) e il volume "Tutto quello che dovete sapere sul terremoto" (Boschi e Dragoni, 2005), recente riproposta di un testo precedente (Boschi e Dragoni, 1988).

Dalla seconda metà degli anni Novanta, il diffondersi dell'uso massiccio della rete Internet ha rivoluzionato le tecniche di disseminazione dei dati sismologici e vulcanologici. La rete ha progressivamente assunto un ruolo sempre più strategico, sia come veicolo privilegiato di informazione scientifica sulla pericolosità (sismica e vulcanica) e sul rischio, sia in termini formativi ed educativi. Alcuni esperimenti di uso della rete con funzioni informative (soprattutto) e formative sono stati realizzati dagli istituti confluiti nell'INGV e più recentemente dal web istituzionale INGV (www.ingv.it), la cui strutturazione è in corso di ripensamento.

Delle esperienze maturate dal GNDT negli anni Novanta si è fatto erede il gruppo di lavoro che nel 1999 ha proposto - nell'ambito del progetto Quadro del GNDT-INGV - il progetto EDURISK (approvato e finanziato dal DPC nel 2002).

Il progetto EDURISK ha realizzato alcuni strumenti formativi per la scuola di base, finalizzati alla riduzione del rischio sismico. Questi strumenti sono stati sperimentati durante gli AA.SS. 2003-04 e 2004-05, in una selezione significativa di Istituti Comprensivi italiani. Gli strumenti didattici realizzati sono:

- un kit per la scuola dell'infanzia "*Se arriva il terremoto*", che illustra quattro diverse situazioni della vita del bambino in caso di terremoto, con una guida per l'insegnante che suggerisce tredici diverse attività di gioco finalizzate a rinforzare la capacità del gruppo di bambini ad affrontare una situazione di emergenza;
- un quadernone per la scuola elementare "*A lezione di terremoto*", che attraverso quattordici unità tematiche introduce alla conoscenza del fenomeno terremoto e del suo ruolo nella vita quotidiana, indicando tutti gli elementi che portano a limitare il rischio e consentono di convivere serenamente con questo problema;

- un volume per la scuola media *"Terremoti come e perchè"*, che in dieci sezioni risponde in modo approfondito e scientificamente accurato alle principali domande che ci possiamo porre sul terremoto, con una particolare attenzione agli aspetti che consentono alle persone di rapportarsi correttamente al problema e a limitare il fattore di rischio.
- un prodotto multimediale (DVD-Rom) *"Terremoti e città fantasma in Sicilia, un viaggio attraverso i luoghi della memoria"*, che propone in itinerario virtuale nella storia sismica siciliana, attraverso le tracce degli effetti distruttivi di terremoti del passato in 17 località abbandonate.



Fig. 1 - Copertine dei volumi didattici per la scuola di base e della guida per gli insegnanti, realizzati dal progetto EDURISK (2003-05).

Questi strumenti sono stati ideati e realizzati con il contributo diretto del mondo della ricerca (ricercatori esperti di diversi settori disciplinari: geologia, sismologia, pericolosità sismica, ingegneria sismica, sismologia storica, psicologia dell'emergenza) in collaborazione e con il contributo di due società leader nei settori della progettazione educativa e multimediale (Giunti Progetti Educativi, Prospero), autori di libri per ragazzi, disegnatori, illustratori, fumettisti ed esperti di didattica, e rappresentano gli strumenti formativi più avanzati e aggiornati disponibili attualmente sul mercato.

A partire dalle esperienze realizzate dalle diverse scuole che hanno partecipato e partecipano al progetto, a progetto formalmente concluso, è stato ultimato un volume di percorsi didattici per gli insegnanti "A prova di terremoto: laboratori e attività per la scuola", che fornisce 24 proposte di attività sul tema della riduzione del rischio sismico.

I prodotti realizzati da questo progetto e la successiva fase di sperimentazione hanno suscitato un notevole interesse nel mondo della scuola; il progetto stesso è stato selezionato dalla rivista "La Vita Scolastica", che raggiunge in abbonamento 80.000 insegnanti italiani, e proposto, in tre puntate, come progetto di rilievo nazionale nell'Anno scolastico 2004-05. Lusinghiere recensioni del progetto e dei suoi prodotti sono state proposte da alcune riviste di settore o di grande diffusione, quali "Andersen, Il giornale dei libri per ragazzi" (maggio 2005), "Il Pepeverde, rivista di letture e letterature per ragazzi" (gennaio-marzo 2005), ".eco l'educazione sostenibile" (aprile 2005), "Famiglia cristiana" (febbraio 2005).

Nel settore del rischio vulcanico, lo sviluppo di attività formative indirizzate al mondo della scuola ha avuto carattere regionale ma non per questo meno significativo. Gli istituti vulcanologici confluiti nell'INGV (Istituto Internazionale di Vulcanologia e Osservatorio Vesuviano, oggi sezioni di Catania e Napoli) hanno una lunga tradizione di interazione col territorio attraverso iniziative informative, espositive e formative. L'Osservatorio Vesuviano, in particolare, è un irrinunciabile punto di riferimento per i cittadini dell'area vesuviana e napoletana, caratterizzata dalla presenza di tre complessi vulcanici (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia) ed esposta ad un elevatissimo rischio vulcanico non solo per la pericolosità dei probabili eventi eruttivi ma soprattutto per la sua densità demografica e la vulnerabilità del suo patrimonio edilizio. Il ruolo dell'Osservatorio Vesuviano nella promozione del rispetto per il territorio e della conoscenza delle sue problematiche intesa come azione intesa alla mitigazione del rischio si esplica tradizionalmente attraverso le seguenti iniziative: attività di informazione e divulgazione, svolta dal 1990 presso il Museo della sede storica dell'Osservatorio Vesuviano, dove è allestita, la mostra "Vesuvio: 2000 anni di osservazione", realizzata nel 2000 in collaborazione e con finanziamento del Dipartimento Protezione Civile e che vanta più di 13.000 visitatori l'anno; la consulenza scientifica per la realizzazione di percorsi espositivi itineranti (Università La Sapienza Roma, Parco Letterario Vesuvio) e di spazi espositivi permanenti (Città della Scienza); la partecipazione a progetti formativi per docenti, associazioni ed enti; la partecipazione alla realizzazione di filmati e documentari a carattere divulgativo; la produzione di materiale editoriale divulgativo; la pubblicazione di informazioni attraverso il sito web (www.ov.ingv.it).

Fra i progetti di maggiore rilievo va ricordato il corso di formazione dei docenti svolto nel 1997-1998 nell'ambito delle iniziative sviluppate dalla Commissione Aggiornamento Piani Vesuvio e Flegrei, e il Progetto Speciale per l'Educazione Scientifica e Tecnologica (Progetto SET) promosso e finanziato dal MIUR (2000-02). Tra i prodotti editoriali di carattere divulgativo (generalmente autoprodotti senza il contributo di significative competenze didattiche ed editoriali) una rilevante e interessante eccezione è rappresentata dal volumetto "Dicchi e Pomix alla scoperta dei vulcani. Un viaggio fantastico" e dal gioco didattico ad esso collegato (Orsi et al., 2003), realizzati in collaborazione con: Dipartimento di Scienze dell'Educazione, Università Roma3; Dipartimenti di Scienze Relazionali e di Filologia Classica, Università Federico II di Napoli; Servizio Educativo della Sovrintendenza per i Beni Archeologici delle Province di Napoli e Caserta.

Attività divulgative per le scuole elementari, medie e medie superiori nonché per studenti universitari italiani e stranieri sono realizzate da oltre un ventennio presso l'attuale sede storica INGV di Catania e più recentemente presso il Centro Acquisizione Dati (CUAD), il centro di Nicolosi e l'Osservatorio di Lipari. Queste ultime due sedi sono in fase di riallestimento dopo una sostanziale ristrutturazione degli ambienti. Il personale della Sezione ha inoltre partecipato al funzionamento dei centri GNV di Vulcano e Stromboli, ed ha allestito spazi espositivi a convegni e manifestazioni nazionali e internazionali. Ha realizzato corsi di formazione sul rischio sismico per

insegnanti ed ingegneri. e ha in atto collaborazioni sulla divulgazione con la Protezione Civile e l'Ente Parco dell'Etna.

Le Sezioni INGV di Roma propongono da diversi anni un servizio di accoglienza per le scuole: a supporto di questa attività sono stati realizzati di recente il CD-Rom "Un viaggio attraverso la Terra", opuscoli informativi, brochures e un calendario scolastico.

3. Descrizione del progetto

Con questo progetto si intende consolidare e implementare l'attività formativa e informativa avviata nel 2002 da EDURISK, secondo tre principali linee di sviluppo:

1. Il miglioramento degli strumenti formativi per la scuola (relativi al rischio sismico) attraverso la revisione e riedizione dei testi realizzati dal progetto precedente, sulla base degli esiti del complesso e accurato processo di valutazione cui sono stati sottoposti, e la realizzazione di inserti di carattere regionale.
2. La realizzazione di nuovi prodotti informativi per la scuola dell'obbligo sul tema della pericolosità e del rischio vulcanico.
3. La realizzazione di campagne formative nella scuola di base su ampia scala, estendendo il lavoro ad altre realtà regionali (Liguria, Toscana, Campania, Sicilia) e sviluppando un sistema integrato di formazione a distanza per i docenti, sui temi del rischio sismico e vulcanico.

La realizzazione di questi obiettivi sarà perseguita attraverso il coinvolgimento di amministrazioni regionali che hanno manifestato la disponibilità al cofinanziamento dell'iniziativa (accordi formali, in proposito, sono in corso di definizione con la Regione Toscana e la Regione Sicilia) e dei relativi Uffici Scolastici Regionali, cui verrà chiesto di sostenere il processo di formazione degli insegnanti.

Task 1 - Sviluppo strumenti formativi

La sperimentazione realizzata nell'A. S. 2003-04 ha consentito di verificare l'efficacia formativa dei tre volumetti realizzati per la Scuola dell'Infanzia ("*Se arriva il terremoto*"), la Scuola Primaria ("*A lezione di terremoto*") e la Scuola Secondaria di primo grado ("*Terremoti come e perchè*"): gli insegnanti che hanno contribuito al progetto hanno segnalato qualche occasionale difficoltà di fronte alla complessità del testo per la Scuola Secondaria di primo grado, ma complessivamente hanno valutato molto positivamente i tre testi proposti, ritenuti chiari, accattivanti ed estremamente utili per il lavoro scolastico.

Mantenendo sostanzialmente invariata la struttura attuale dei sussidi didattici, si possono comunque ipotizzare miglioramenti significativi di questi prodotti formativi.

Si prevede pertanto di avviare le seguenti iniziative:

- Riedizione dei volumi con piccole correzioni o modifiche, suggerite dalla sperimentazione, e diverse soluzioni di stampa (ad es. grammatura carta più leggera, formato puzzle per la Scuola dell'Infanzia, rilegatura a schede per la Scuola Secondaria di primo grado, ecc.); eventuale realizzazione di appendici di verifica.
- Facendo seguito alle istanze delle amministrazioni regionali e coerentemente con le attività formative proposte regionalmente dal progetto, sarà realizzato un inserto regionale per il volume per la Scuola Secondaria, ed eventualmente un adattamento dell'attuale quartino fuori testo per la Scuola Primaria, in modo da fornire un approfondimento sulla sismicità regionale, la pericolosità sismica e la normativa sismica;
- Realizzazione di una edizione (in tiratura limitata) dei volumi per la Scuola dell'Infanzia e della Scuola Primaria in lingua inglese (con possibile edizione in francese e spagnolo) per consentire una più ampia diffusione dei materiali, ma soprattutto per fornire uno spunto di

lavoro ulteriore, particolarmente nella Scuola Primaria, agli insegnanti di lingue che partecipano al progetto.

Questi prodotti saranno realizzati entro la fine del 2005, in modo da essere utilizzabili, in via sperimentale, nelle attività formative progettate per l'A.S. 2005-06, e in modo più ampio nell'A.S. 2006-07. Oltre alle realizzazioni sopra citate, quindi, sono previsti ulteriori sviluppi dell'offerta formativa, in particolare legati a:

- Studio e progettazione di nuovi strumenti formativi su pericolosità e rischio vulcanico (Campania e Sicilia), raccogliendo, integrando e sviluppando materiali ed esperienze realizzate negli ultimi anni, particolarmente (ma non solo) presso le sezioni INGV di Napoli e Catania. Sul tema del rischio vulcanico sarà avviata, con il contributo del gruppo di lavoro Giunti Progetti Educativi, la progettazione di uno strumento formativo per la Scuola Primaria, che si prevede di realizzare entro la conclusione del progetto. Contestualmente saranno comunque progettati alcuni percorsi formativi per gli insegnanti, riprendendo i risultati di alcune recenti esperienze realizzate dalla Sezione OV, integrate dalla consolidata esperienza sviluppata in questi anni nel settore del rischio sismico; questi percorsi formativi saranno proposti a una selezione di Istituti Comprensivi dell'area napoletana ed etnea.
- Realizzazione di una mostra interattiva itinerante, basata su un insieme di strumenti/gioco e di attività laboratoriali collegate, progettate da un staff esperto di progettazione didattica (che lavora principalmente sull'uso didattico del gioco) attraverso le quali i bambini/ragazzi saranno guidati attraverso l'esperienza della percezione del rischio (saper essere), la dimensione della conoscenza (sapere) e le azioni utili alla protezione dal rischio (saper fare).
- Sarà completamente aggiornato e integrato il percorso espositivo-didattico dei centri operativi di Vulcano e Stromboli, creati dal Gruppo Nazionale di Vulcanologia rispettivamente nel 1990 e 1997, visitati annualmente da circa 10.000 utenti, italiani e stranieri.
- Nel corso del precedente progetto è stato sperimentato con successo l'utilizzo del volume per la Scuola Secondaria di primo grado nel biennio della Scuola Secondaria di secondo grado. Le richieste di adesione al progetto e di materiali informativi da parte di Istituti e insegnanti della Scuola Secondaria di secondo grado sono state numerose, per cui si ritiene opportuno sviluppare un progetto di formazione per questo tipo di utenza, attraverso l'adattamento di materiali formativi già disponibili e l'ideazione di prodotti specifici, compresi prodotti multimediali realizzati a livello di prototipo nel precedente progetto (progetto di itinerari virtuali nella storia sismica italiana): nel corso del presente progetto, quindi sarà studiata la possibilità di valorizzare alcuni strumenti formativi già disponibili, inserendoli all'interno di percorsi formativi nelle scuole.
- Sarà ripreso e completato il progetto di prodotto multimediale per la formazione professionale (scuole edili, Istituti per Geometri, professionisti), in collaborazione con i servizi regionali che operano nel settore della prevenzione e della riduzione del rischio.
- Attraverso il web del progetto, che sarà rinnovato e potenziato, saranno resi disponibili ulteriori materiali informativi e proposte didattiche per gli insegnanti su alcune tematiche prossime a quelle sviluppate direttamente dal progetto, con particolare riferimento al rischio tsunami e al rischio idrogeologico.

Questi prodotti saranno realizzati entro la prima metà del 2006, in modo da essere inseribili nella programmazione delle attività formative per il successivo anno scolastico.

Task 2 - Attività formative per gli insegnanti

Le attività di formazione realizzate dal progetto hanno interessato, nell'A. S. 2003-04, 13 Istituti Comprensivi delle Regioni Friuli-Venezia Giulia, Emilia Romagna e Calabria, 185 insegnanti e

circa 3000 alunni; nel successivo A. S. 2004-05 si sono aggiunti al lavoro 4 Istituti Comprensivi della Provincia di Bologna, con oltre un centinaio di insegnanti e circa 2000 alunni.

Nel corso del progetto sarà continuata l'attività con gli istituti già coinvolti, considerando che per l'A.S. 2005-06 non è più possibile avviare iniziative di ampio respiro, inseribili come tali nei Piani dell'Offerta Formativa degli Istituti: tuttavia agli Istituti che continueranno l'attività nell'ambito del progetto, si aggiungeranno alcuni nuovi Istituti della Provincia di Bologna, della Regione Toscana e della Regione Sicilia. Per l'A.S. 2006-07 si prevede invece di avviare campagne formative più consistenti in Campania, Calabria, Sicilia e Liguria. In qualche caso (Liguria,) queste iniziative avranno ancora un carattere di sperimentazione limitata ad un numero ridotto di Istituti. In Campania e Sicilia saranno sperimentate iniziative a carattere più articolato - estese al tema del rischio vulcanico - con modalità di interazione differenziate (formazione diretta e formazione a distanza), in modo da verificare la praticabilità di campagne formative su larga scala.

A questo scopo un porzione rilevante del lavoro sarà dedicata allo sviluppo di un sistema integrato di formazione a distanza dei docenti della scuola di base, mediante l'utilizzo di tecnologie informatiche (rete Internet, prodotti multimediali) e l'integrazione di materiali informativi strettamente finalizzati (realizzazione di una Newsletter professionale di progetto e di dispense per l'aggiornamento degli insegnanti).

4. Deliverables attesi

I risultati che il progetto prefigura sono essenzialmente di due tipi: strumenti formativi e informativi per la scuola di base e per i visitatori delle sedi e dei centri divulgativi dell'Istituto e un sistema formativo per la scuola (insegnanti) sul tema dei rischi naturali, sperimentato su vasta scala. Entrambe le categorie di prodotti saranno realizzati da competenze specialistiche nel settore della progettazione educativa e nella progettazione multimediale.

D1	riedizione rivista e corretta del kit per la Scuola dell'infanzia " <i>Se arriva il terremoto</i> ", in formato editoriale semplificato, in italiano e inglese;	dic. 2005
D2	riedizione rivista e corretta del quadernone per la Scuola Primaria " <i>A lezione di terremoto</i> ", in italiano e inglese;	dic. 2005
D3	riedizione rivista e corretta del volume " <i>Terremoti come e perchè</i> ", per la Scuola Secondaria di primo grado, in formato editoriale modificato, e con un inserto regionale di approfondimento;	dic. 2005
D4	aggiornamento e potenziamento del web del progetto (www.edurisk.it) con materiale didattico sui rischi naturali;	giu. 2006
D5	ideazione e progettazione di un prodotto formativo per la Scuola Primaria (8-10 anni) sul rischio vulcanico, strutturalmente congruente con i prodotti precedenti;	dic. 2006
D6	aggiornamento del percorso informativo sul rischio vulcanico nei centri operativi di Vulcano e Stromboli;	mag. 2006
D7	sperimentazione di percorsi formativi per gli insegnanti della scuola di base (Scuola dell'Infanzia-Scuola Secondaria di primo grado) sul rischio vulcanico, in alcuni Istituti Comprensivi di area napoletana ed etnea;	giu. 2006
D8	sperimentazione di un percorso formativo sul rischio sismico e vulcanico per la Scuola Secondaria di secondo grado, attraverso l'integrazione e l'aggiornamento di materiali informativi già disponibili, in formato cartaceo e su supporto informatico;	giu. 2007
D9	laboratorio interattivo itinerante sui rischi naturali per la scuola di base;	set. 2006

- | | | |
|------------|--|-----------|
| D10 | prodotto multimediale formativo per la scuola professionale (Istituti per Geometri e Periti Edili) sul tema della vulnerabilità sismica. | set. 2006 |
| D11 | sistema di formazione (diretta) degli insegnanti sul tema del rischio (principalmente sismico e vulcanico), basato sull'offerta di corsi e materiali di approfondimento tematico caratterizzati regionalmente: valutazione costi/benefici; | giu. 2007 |
| D12 | un sistema di formazione a distanza via Internet, e su supporto multimediale (CD-Rom) sul rischio sismico e vulcanico: valutazione costi/benefici. | giu. 2007 |

5. Riferimenti bibliografici

- Agenzia di Protezione Civile - Servizio Sismico Nazionale (2000). Alla riscossa... contro il terremoto!, Walt Disney, Roma
- Angiolino A. (2003). Terremoti come e perchè. Itinerari per la riduzione del rischio sismico. R. Camassi and L. Peruzza (eds.), EDURISK, INGV-Giunti Progetti Educativi, Firenze-Milano.
- Azzaro R., A. Amantia, M. Cascone, R. Camassi, F. Guglielmino, S. Mangiagli e L. Peruzza (2005). Itinerari virtuali attraverso la storia sismica d'Italia: la Sicilia. Convegno GNDT, Genova, 15-16 febbraio 2005, poster.
- Azzaro R., Camassi R., Cascone M., Castelli V., Pessina V. and Peruzza L. (2004). Deserted localities by earthquakes: an educational tool for seismic risk reduction. XXIX General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Potsdam (Germany), 12-17 September 2004, Abstracts, 17.
- Barberi F., Santacroce R. e Carapezza M. L. (2005). Terra pericolosa. Terremoti, eruzioni vulcaniche, frane, alluvioni, tsunami. Perché avvengono e come possiamo difenderci, Pisa.
- Bertolaso G., Galanti E., Cardaci C., Ciavela S., Postiglione I., Nave R., Macedonio G. 2003. *Vesuvius 2001 exercise: training, information and education*, "Cities on Volcanoes 3", Hilo, Hawaii, July 14-18 2003, Abstract Volume: 12.
- Bobbio A., Cantore L., Di Martino F., Miranda N. and Zollo A. (2004). Experimentation of new tools for scientific learning in the Eduseis project. XXIX General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Potsdam (Germany), 12-17 September 2004, Abstracts, 17.
- Bobbio A., Cantore L., Di Martino F., Miranda N., Simini M., Zollo A. (2004). The EduSeis project in Italy: a tool for training and awareness on the seismic risk, Proc. of the workshop on Multidisciplinary Approach to Seismic Risk Problem: "The Many Facets of Seismic Risk"; edited by M. Pecce, G. Manfredi and A. Zollo.
- Boschi E. e Dragoni M. (1988). L'ira di Poseidone. Cos'è un terremoto e come difendersi, Ed. Galileo Galilei, Lausanne, 252 pp.
- Boschi E. e Dragoni M. (2005). Tutto quello che dovete sapere sul terremoto, INGV, Roma.
- Burrato P., Casale P., Cultrera G., Landi P., Nappi R., Nostro C., Scarlato P., Scotto C., Stramondo S., Tertulliani A. and Winkler A. (2003). Geophysics for Kids: The Experience of the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Italy), Seismological Research Letters vol. 74, n.5 (sept.-oct. 2003).
- Burrato P., Casale P., Cultrera G., Landi P., Nappi R., Nostro C., Scarlato P., Scotto C., Stramondo S., Tertulliani A. and Winkler A. (2004). Educational Geophysics at ING Rome, Italy. -Poster presentato a S. Francisco, convegno Internazionale AGU Fall Meeting, 6-10 dicembre 2002.
- Camassi R. (2004). I paesi abbandonati. Parametro. Rivista Internazionale di Architettura e Urbanistica, 34 (251), 50-55.
- Camassi R. (2004). Il progetto educazione alla sicurezza. Il cerchio della paura. La Vita Scolastica, 59 (8), 23-26.
- Camassi R. (2004). Il progetto educazione alla sicurezza. Se la terra trema... La Vita Scolastica, 59 (7), 22-25.
- Camassi R. (2005). Il progetto educazione alla sicurezza. Abc di un terremoto. La Vita Scolastica, 59 (9), 26-29.
- Camassi R. e Brugnara R. (2004). A lezione di terremoto. La Vita Scolastica, 58 (3), 22-23.
- Camassi R. e Ercolani E. (2001). Virtual EarthQuake, Bologna. CD-ROM.

- Camassi R., Azzaro R., Castelli V., La Longa F., Meletti C., Pessina V. and Peruzza L. (2004). The EDURISK Project: a recent experience in earthquake education in Italy. XXIX General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Potsdam (Germany), 12-17 September 2004, Abstracts, 17.
- Camassi R., Azzaro R., Castelli V., La Longa F., Meletti C., Pessina V., Peruzza L. (2005). Educazione al terremoto, *eco l'educazione sostenibile*, 4 (aprile 2005).
- Camassi R., Ercolani E., Papa F. e Zuccaro G. (2000). Esercitazioni Virtuali di Agibilità. Università di Napoli - centro LUPT e Servizio Sismico Nazionale, Bologna. CD-ROM.
- Camassi R., Morelli G., e Stucchi M. (eds) (1996). 10 domande sui terremoti, da un'idea di Daniele Postpischl sviluppata nell'ambito del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, inedito.
- Cantore L., Bobbio A., Di Martino F., Simini M. and Zollo A. (2004). The "Sismalab" educational laboratory: an outreach activity of the eduseis project. , XXIX General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Potsdam (Germany), 12-17 September 2004, Abstracts, 17-18.
- Cantore L., Zollo A., Bobbio A., De Martino F. Amodio L. (2004). SISMALAB: a interactive laboratory for "learning by doing" in seismology and seismic risk, *Orfeus Newsletter*, 6, no2.
- Che disastri. Manuale di protezione civile, Firenze 1994.
- Civetta L, Nave R., Orsi G., 2001 - Education as a measure to mitigate volcanic risk: the experience in the Neapolitan area. *Cities on Volcanoes 2*, New Zealand 12-16 February 2001
- Comune di Bologna (1995). Manuale di Protezione Civile. Cosa sapere e come comportarsi in casa, in città, in vacanza, Bologna.
- Comune di Bologna (1997). ... e per compagna di banco la sicurezza, Firenze.
- Costa N., Giraldo M.L. e Sidoti B. (2003). Se arriva il terremoto. Itinerari per la riduzione del rischio sismico. R. Camassi e L. Peruzza (eds.), EDURISK, INGV-Giunti Progetti Educativi, Firenze-Milano.
- Danna M.P. (1998). La terra sul monitor. *Geologia e tecnologie digitali*. *Virtual*, 52, 62-67.
- De Lucia M., Iannella A., Ottaiano F., Siviglia V. (2004). A museum in the shadow of Vesuvius. The museum of Osservatorio Vesuviano-INGV. ECSITE Annual Conference 2004, Barcellona, 4-6 novembre.
- Di Stefano F. e Riposati D. (eds) (1998). *Conoscere il terremoto*, Roma.
- Eudes Y., e Lubrano S. (1997). www.nettuno.it/eventi/terremoto. Deux sismologues proposent une visite de villages italiens touchés par les tremblements de terre. *Le Monde*, 22 ottobre 1997, p. 33.
- Ferraris M, Midoro V., Ott M. e Stucchi M. (1984). *Che cosa sono i terremoti e come possiamo difenderci*, SEI, Torino.
- Gasparini P. e Musella S. (1991). *Un viaggio al Vesuvio. Il Vesuvio visto attraverso diari, lettere e resoconti di viaggiatori*, Liguori Napoli.
- Giacomelli L e Scandone R. (2002) *Vulcani e Eruzioni*, Pitagora Bologna
- Giacomelli L. e Scandone R. (2001). *Vesuvio, Pompei, Ercolano:eruzioni ed escursioni*. Be-Ma ed. Milano,
- Giacomelli L., Scandone R., 1992, *Campi Flegrei-Campania Felix: I) Il Golfo di Napoli fra Storia ed Eruzioni; II) Guida alle escursioni ai Vulcani Napoletani*; Liguori Editore, Napoli pp. 140+57
- Il terremoto*, Sapere, agosto 1979, 821
- Lirer L., Chiroasca M.C., Munno R., Petrosino P. e Grimaldi M. (2005) *Il Vesuvio ieri, oggi e domani*, Regione Campania, Napoli.
- Luciani R. (2003). A lezione di terremoto. Itinerari per la riduzione del rischio sismico. R. Camassi e L. Peruzza (eds.), EDURISK, INGV-Giunti Progetti Educativi, Firenze-Milano.
- Luongo G., Cubellis E. e Obrizzo F. (1987). *Ischia. Storia di un'isola vulcanica*, Liguori Napoli.
- Luongo G., Sardella F. M. e Montinari G. (2001) *Il Vesuvio*, Bonechi Ed.
- Marotta C. (2005). Se la terra trema. *Edurisk, il rischio sismico*, *Il Pepeverde*, rivista di letture e letterature per ragazzi, 23, gennaio-marzo 2005, 23-24.
- Mastrolorenzo G. (2003) *Vesuvio: dentro il vulcano*, Osservatorio Vesuviano-INGV, Napoli.
- Nave A., Nave R., Orsi G. 2003. *Fairy tales and experiments as tools for educating primary-school children on volcanic risk mitigation in the Neapolitan area*. "Cities on Volcanoes 3", , Hilo, Hawaii, July 14-18 2003. Abstract volume: 35
- Nostro C., Tertulliani A., Macrì P., Winkler A., Castellano C., Piscini A., Burrato P., Casale P., Cultrera G., Di Felice F., Doumaz F., Vallocchia M., Badiali L., Scarlato P., Stramondo S., Alfonsi L., Baroux E., Ciaccio M. G. and Frepoli A. (2004). Using earthquakes to uncover the Earth's inner secrets: interactive exhibits for geophysical education, *Advances in Geosciences*, (accepted).

- Nostro C., Tertulliani A., Macrì P., Winkler A., Castellano C., Piscini A., Burrato P., Casale P., Cultrera G., Di Felice F., Doumaz F., Vallocchia M., Badiali L., Scarlato P., Stramondo S., Alfonsi L., Baroux E., Ciaccio M. G., Frepoli A. and Marsili A. (2004). Interactive exhibit for geophysical education: earthquakes! XXIX General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Potsdam (Germany), 12-17 September 2004, Abstracts, 19-20.
- Novelli L. (2005). Lezione di terremoto, Andersen, Il giornale dei libri per ragazzi, 24 (214), maggio 2005
- Orsi G., Cuna L., De Astis G., de Vita S., Di Vito M., Isaia R., Nave R., Pappalardo L., Piochi M., Postiglione C. e Sansivero F. (2001). I Vulcani Napoletani: Pericolosità e Rischio. Osservatorio Vesuviano, Napoli. 47 pp.
- Orsi G., de Vita S., Di Vito M., Nave R., Heiken G., 2003 - *Facing volcanic and related hazards in the Neapolitan area*. In: Earth Sciences in Cities (Heiken G., Fakundiny R, Sutter J., Eds), American Geophysical Union, Washington,
- Orsi G., Nave R., De Angelis C. e Muzi M. (2003). Il Gioco dell'O.C.A. di Dicchi e Pomix alla scoperta dei vulcani. Un viaggio fantastico. Gioco didattico. Unità Funzionale Vulcanologia e Petrologia, Osservatorio Vesuviano-INGV, Napoli.
- Orsi G., Nave R., Panico M., Pirozzi C. e Muzi M. (2003).- Dicchi e Pomix alla scoperta dei vulcani. Un viaggio fantastico. Unità Funzionale Vulcanologia e Petrologia, Osservatorio Vesuviano-INGV, Napoli.
- Peruzza L. (1998). Il terremoto può fare meno paura. Villaggio Globale, 1/3, 65-67, Bari.
- Peruzza L. e Slejko D. (eds) (2001). Friuli 1976: viaggio nel terremoto. CD-Rom, OGS- Prot. Civ. Regionale, Trieste.
- Peruzza L., Slejko D. e Riuscetti M. (2000). iTinERaRionElMillenOvecenTO76 viaggio nella storia sismica del Friuli, Trieste. CD-ROM, vers. 0.5.
- Postpischl D. (ed) (1994). 10 domande sui terremoti, Bologna.
- Raccichini S. (ed) (1990). Conoscere per difendersi. Il Terremoto, Macerata.
- Ricciardi G.P. (2005). Vesuvio, tu vuoi che io ti narri, DVD, Napoli.
- Rosi M., Papale P., Lupi L. e Stoppato M. (1999). Tutto Vulcani, Mondadori.
- Servizio Sismico Nazionale (2001). Quando arriva il terremoto, Roma.
- Stucchi M., Benedetti D., Bonafede M., Gasperini M., Midoro V. e Sanna R. (1978). Progetto di educazione di massa nel settore ambiente e territorio con particolare riferimento ai fenomeni sismici e vulcanici, Roma.
- Thier H D. e Midoro V. (1993). "Seismic education: two experiences compared", Annali di Geofisica, XXXVI, 1, 219-224.
- USA Today hot Sites (1997). Online tremors, october 29.
- Zuccaro G., Camassi R. e Papa F. (2004). eRreVu. Rilievo Virtuale di Agibilità e valutazione di Vulnerabilità Sismica, SSN, Formez, CAR, Roma. CD-ROM.

6. Tabella mesi/persona per il 2005 e 2006, suddivisa per task e UR

UR		2005		2006	
		Task 1	Task 2	Task 1	Task 2
UR1 INGV MI	R. Camassi	2	2	2	2
	V. Castelli	2	1	1	2
	E. Ercolani		1		1
	F. Bernardini		1		1
	V. Pessina	1	1	1	1
	W. Marzocchi	0,5		0,5	
	M. Todesco	1		1	
	UR2 INGV CNT	C. Nostro	2		1
	F. La Longa	3	6	1	8
	A. Tertulliani	1			1
	A. Marsili	1			1
	E. Baroux	1			1
	A. Frepoli	1			1
	M. L. Carapezza	2			2
	P. Scarlato	1		1	
	M. Crescimbene		1		1
	D. Riposati		1		1
	C. Freda	1		1	
	J. Taddeucci	1		1	
	M. De Lucia	1		1	
	C. Piccione	1	3	1	3
	L. Pruiti	1	3	1	3
UR3 INGV NA	R. Nave	2	1	1	2
	G. Ricciardi	1		1	
	G. Vilaro	1		1	
	R. Isaia	1	1	1	1
UR4 INGV CT	R. Azzaro	1	1	1	2
	M. Cascone		1		1
	S. Falsaperla	1			1
	A. Amantia	1		1	
	S. Mangiagli	1		1	

	A. Mostaccio	1		1	
	S. Rapisarda	1		1	
UR5 UNI NA	G. Zuccaro	1		1	
	F. Cacace	1		1	
	M. Della Bella	1		1	
	P. Taglienti	1		1	
	P. Pedalino	1		1	
	A. Venezia	1		1	
UR6 INOGS	L. Peruzza	2	1	2	1
	A. Marchetto		1		1
	V. Mosetti	1		1	
	G. Rossi			1	
	C. Barnaba	1	1	1	1

Tabella 1 - Mesi/persona per il biennio 2005-2006.

7. Tabelle UR e relativi finanziamenti richiesti

UR	Resp.
UR1 INGV, Sezione di Milano	R. Camassi
UR2 INGV, Sezione CNT	C. Nostro
UR3 INGV, Sezione OV	R. Nave
UR4 INGV, Sezione di Catania	R. Azzaro
UR5 Università di Napoli	G. Zuccaro
UR6 INOGS, Trieste	L. Peruzza

Tabella 2 - Unità di Ricerca partecipanti al progetto: Giunti Progetti Educativi e Prospero Group afferiscono, rispettivamente, alle UR 1 e UR 6.

UR	Istituzione	Personale		Missioni Italia		Missioni estero		Consum. servizi		Materiale durevole		Totale		tot
		05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	05	06	
1	INGV MI	0	0	5	5	3	0	45	37	0	0	53	42	95
2	INGV CNT	0	0	8	10	0	4	25	14	7	2	40	30	70
3	INGV OV	0	0	4	4	0	2	14	11	0	0	18	17	35
4	INGV CT	0	0	4	6	2	0	8	3	6	6	20	15	35
5	UNI NA	0	0	4	5	0	0	11	15	0	0	15	20	35
6	INOGS	0	0	4	5	0	0	31	20	0	0	35	25	60
	Totale	0	0	29	35	5	6	134	100	13	8	181	149	330
Totale (Euro): 330.000														
Totale INGV: 195.000														
Totale altri enti (inclusi Giunti Progetti Educativi e Prospero Group): 135.000														

Tabella 3 - Finanziamenti richiesti per il biennio 2005-2006.

I fondi richiesti sono distribuiti prevalentemente su due voci: consumo e servizi (234.000 €) e missioni Italia (64.000 €). La ragione di questa articolazione del piano di spesa sta nel ricorso importante, per quanto doveroso, a competenze professionali esterne per la progettazione editoriale e didattica dei prodotti formativi (progettisti, esperti di didattica, redattori, autori, disegnatori, vignettisti ecc. dello staff della Giunti Progetti Educativi) e per la progettazione multimediale (Prospero Group), oltre che per la realizzazione di tutti i prodotti intermedi (percorsi espositivi, dispense, brochures, depliant, ecc.) e di corredo utilizzati nella realizzazione delle impegnative campagne formative previste dal progetto. I costi delle missioni sono previsti prevalentemente per la realizzazione dei corsi regionali di formazione per gli insegnanti, che saranno gestiti direttamente dal personale inserito nelle unità di ricerca.

Appendice B

INGV-DPC Progetto 2004-2006 Ricerche storiche: Vulcani campani

Coordinatore:

Paolo Papale, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sez. Roma1 "Sismologia e Tettonofisica", via della Faggiola 32, 56126 Pisa. Tel 050 8311931, Fax 050 8311942, papale@pi.ingv.it

Stato dell'Arte

Le eruzioni storiche dei vulcani italiani sono state, e sono, oggetto di studi e di pregevolissimi contributi scientifici, tuttavia si è ancora lontani dall'avere un quadro di riferimento di dettaglio come è stato fatto per i terremoti storici. Dato che, a differenza degli studi di sismologia storica, questo settore mancava di una banca dati che consentisse di accedere in modo unificato alle conoscenze acquisite, e di programmare le nuove ricerche storiche, finalizzandole a specifici obiettivi, nonché di gestire i risultati, l'INGV, a partire dal 2001, ha sviluppato un progetto, in collaborazione con l'SGA, Storia Geofisica Ambiente, per la stesura di un nuovo catalogo delle eruzioni storiche dei vulcani italiani e mediterranei e della relativa banca dati. Il sistema informativo ricalca, arricchendolo e modificandolo dove necessario, quello già utilizzato per il *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia*.

Il nuovo catalogo sistematico delle eruzioni vulcaniche conterà su di un consistente incremento di dati storici reperiti attraverso una ricerca sul lungo periodo che precede le osservazioni scientifiche, ossia dal mondo antico al XVIII secolo, che è quindi in corso. Nell'ambito di questa ricerca sono stati analizzati temi di particolare interesse vulcanologico (eruzioni di particolare impatto ambientale, correlazioni fra eruzioni e terremoti ecc.). Tutti i dati sono e saranno archiviati entro un sistema informativo unico e centralizzato che sarà reso accessibile a tutti i ricercatori dell'ente, e agli esterni, per mezzo delle risorse informatiche dell'INGV.

A partire dal 2001 è stata avviata una collaborazione tra la sezione INGV di Catania e la SGA, focalizzandola inizialmente sulla storia dell'Etna attraverso nuove ricerche storiche in archivi e biblioteche italiane e straniere e la successiva elaborazione informatica per costruire una banca dati, compatibile con lo standard dei *Sistemi Informativi Territoriali* (SIT o GIS) delle fonti, della cartografia e dell'iconografia selezionata per i vulcani italiani. Le elaborazioni sono state finalizzate anche alla pubblicazione del Catalogo dell'Eruzioni dell'Etna dall'XI secolo a.C. al XVII secolo, attualmente in fase di stesura finale.

Obiettivi del Progetto in corso

Questo progetto ha l'obiettivo di produrre un database, attraverso un consistente incremento di dati storici, finalizzando la ricerca al periodo che precede le osservazioni scientifiche, in assoluto il meno noto, ossia a partire dal mondo antico fino al XVIII secolo compreso. In particolare si pone l'obiettivo di:

- 1) dotare i ricercatori del settore vulcanologico di cataloghi storici di nuova generazione, i) rivedendo in modo sistematico i dati attualmente in uso e ii) parallelamente individuare nuovi dati nelle fonti storiche sia per completare le serie note, sia per meglio dettagliare e analizzare le eruzioni note;
- 2) garantire la fruibilità dei risultati attraverso prodotti mirati, sia attraverso la consultazione di una banca dati, sia attraverso pubblicazioni scientifiche;

3) inserire i dati in un sistema di consultazione a interrogazione territoriale, che contiene anche altre banche dati già disponibili, ossia:

- il Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, giunto alla sua terza edizione e divulgato dall'INGV via CD-ROM e Internet e continuamente aggiornato in rete;
- il Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy, la cui prima versione è stata pubblicata nel luglio 2001 e che viene anch'esso divulgato dall'INGV via CD-ROM e Internet e continuamente aggiornato;
- il Sistema Informativo Geografico Relativo ai Fluidi di Interesse Sismologico e Vulcano-tettonico di cui è stata realizzata della SGA la prima parte già disponibile (INGV).

Metodo

Il metodo applicato per la revisione e la ricerca dei dati storici è quello messo a punto dalla SGA in ormai più di venti anni di ricerche storico-ambientali finalizzate alla geodinamica terrestre e agli eventi estremi di origine naturale nel lungo periodo (oltre due millenni). Tale metodo si sostanzia in un approccio rigorosamente specialistico (storico e filologico) per quanto riguarda gli strumenti di indagine con cui è applicata la ricerca. Per quanto attiene alla interpretazione e valutazione dei dati selezionati si tiene conto di specifici quadri cognitivi, sociali ed economici entro cui sono prodotte le fonti di informazione storiche.

Fasi della ricerca già svolta

Le ricerche condotte hanno riguardato le seguenti fasi, relativamente alle quali sono stati consegnati all'INGV sei Rapporti Tecnici specifici, in cui sono sviluppate le varie fasi, spesso in parallelo, secondo le esigenze della ricerca e la disponibilità finanziaria degli incarichi:

- Periodo antico: fonti latine e greche. E' conclusa la ricerca storica e filologica sistematica delle fonti latine e greche, dal V secolo a.C. all'XI. Questa fase ha compreso la selezione dei testi, il loro inquadramento critico, la traduzione in italiano, la schedatura e l'inserimento di codici per la banca dati. I risultati riguardano tutti i vulcani italiani.
- Periodo medievale: fonti arabe. La ricerca ha riguardato tutti i vulcani italiani.
- Periodo medievale e moderno: fonti ebraiche. La ricerca ha riguardato tutti i vulcani italiani.
- Periodo medievale: fonti bizantine fino al XII secolo. La ricerca ha riguardato tutti i vulcani italiani.
- Periodo medievale: fonti latine e in volgare edite (cronache), secoli XIII-XV. La ricerca ha riguardato tutti i vulcani italiani.
- Periodo moderno (dal XVI al XVII secolo – periodo spagnolo) / fonti archivistiche. La ricerca ha riguardato solo l'Etna.
- Periodo dal XVI al XVIII secolo / manoscritti, edizioni rare, trattati. La ricerca svolta in sedi italiane ed europee e ha avuto come oggetto privilegiato l'Etna.
- Fonti archeologiche: le fonti archeologiche e la relativa letteratura sono state prese in esame solo per l'Etna.
- Cartografia storica dei vulcani italiani: una ricerca parallela ha riguardato la cartografia e l'iconografia storica dei vulcani italiani. Complessivamente sono state elaborate e schedate circa 300 immagini.

Sono state inoltre eseguite le seguenti integrazioni:

- a) Terremoti dell'area etnea dal 1693 al 1831 (INGV di Catania): lo studio è stato fatto su richiesta dell'INGV di Catania per l'individuazione di terremoti dell'Etna sotto la soglia del CFTI (VIII-IX grado MCS).

- b) Revisione, integrazione e inserimento in banca dati di tre eruzioni del Vesuvio, già oggetto di analisi da parte della SGA per INGV nel 1995: precisamente le eruzioni del 1760, 1794 e 1861.
- c) Analisi di tre trattati (INGV di Pisa, progetto EXPLORIS: Analisi, traduzione selezionata e commento sinottico di tre trattati: Mascolo 1632; Varone 1634; Carafa 1632).

Risultati a breve termine

I risultati della complessa ricerca portata avanti in questi tre anni hanno consentito di poter rivedere criticamente le informazioni storiche usate dai vulcanologi (ossia evidenziare i dati scorretti o non supportati da fonti) e di integrarli con nuovi elementi. In questa fase la schedatura e la revisione dei cataloghi storici in uso è stata finalizzata all'Etna, con l'obiettivo di completare entro il 2005 un nuovo catalogo storico, con fonti e interpretazioni (in versione inglese). In questo ambito sono state revisionate tutte le informazioni dei cataloghi storici e in uso per l'Etna : queste analisi hanno evidenziato che oltre il 55% delle eruzioni dell'Etna elencate è errato: o è un evento completamente falso, o ha la data sbagliata o non è supportata da alcuna fonte.

Per il nuovo Catalogo dell'Etna è stato elaborato uno schema che consente di rendere trasparente all'utente tutto il percorso fatto, dall'analisi delle fonti alla loro interpretazione, evidenziando anche, eventuali problemi aperti o non risolti.

Per ogni eruzione sono inoltre disponibili i testi nelle lingue originali con relativa traduzione.

Ricerca - Linea 1.

Coordinatore : Emanuela Guidoboni

UR Partecipante : Emanuela Guidoboni (SGA, Bologna)

Questa linea provvederà a sviluppare una ricerca storica e filologica mirata a reperire dati storici sull'attività dei vulcani campani e descrizioni del loro stato su fonti non ancora vagliate dal XII secolo AD al XVII, con relativi commenti storico-critici. Per il periodo precedente al XII secolo la ricerca è da ritenersi completata (vedi sopra).

Ricerca - Linea 2:

Coordinatore: Mauro Coltelli

UR Partecipante : Mauro Coltelli (INGV-Catania), Emanuela Guidoboni (SGA, Bologna)

Questa linea provvederà a sviluppare un confronto multidisciplinare sui dati reperiti nella linea 1, ossia sviluppando osservazioni, correlazioni e/o deduzioni dal punto di vista vulcanologico.

Con questo contributo i dati storici saranno saldamente ancorati a un utilizzo immediato vulcanologico e di protezione civile.

Risultati attesi

Ricerca - Linea 1.

Relazione sul bilancio della ricerca per ogni punto indicato sopra; schedatura dei materiali storici (trascrizioni e traduzioni). Osservazioni dal punto di vista storico.

Bilancio dei risultati e confronto con i dati precedenti la ricerca, desunti dall'analisi dei cataloghi in uso e della letteratura scientifica recente.

Ricerca - Linea 1.

Una relazione di lavoro a bilancio dei risultati storici ottenuti.

Scheda della UR # 1

Responsabile Scientifico: Emanuela Guidoboni
SGA, Storia Geofisica Ambiente
via del Battiferro 10 B 40129 Bologna
email: guidoboni@sga-storiageo.it
tel 051 33 332 82
fax 051 33 27 41

Composizione della UR:

Resp. Scientifico	Posizione	Ente di appartenenza	Mesi/uomo 1° anno	Mesi/uomo 2° anno
Emanuela Guidoboni	responsabile della ricerca	SGA	6	6

Partecipante	Posizione	Ente di appartenenza	Mesi/uomo 1° anno	Mesi/uomo 2° anno
Alberto Comastri	coll. di ricerca	SGA	8	8
Cecilia Ciuccarelli	ricercatore	SGA	9	9
Dante Mariotti	coll. di ricerca	SGA	8	8
Gabriele Tarabusi	tecnologo	SGA	4	4
M. Giovanna Bianchi	tecnologo	SGA	9	9

Descrizione delle attività

Sia nel primo che nel secondo anno saranno attivi gruppi di lavoro paralleli, nelle diverse sedi di ricerca (archivi e biblioteche), utilizzando le diverse specializzazioni dei collaboratori. Questo consentirà di massimizzare i tempi e la qualità del lavoro storico. La ricerca sarà fatta secondo diversi criteri ordinatori: cronologici (per approfondire eruzioni già note), topografici (per vagliare in modo sistematico documenti o manoscritti riguardanti aree specifiche), tipologici (carteggi, trattati, diari ecc.). Saranno selezionati anche descrizioni dei vulcani campani come furono osservati in determinati periodi. Tali osservazioni naturalistiche, finora scarsamente note in ambito scientifico, potranno migliorare la conoscenza dell'attività storica dei vulcani in esame.

I materiali selezionati saranno riprodotti e trascritti entro il sistema di schedatura già predisposto della banca dati in corso

Primo anno

Questa nuova ricerca ha come oggetto i vulcani campani: Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia, su cui le ricerche precedenti e in corso non hanno previsto ricerca su fonti, per alcuni settori cronologici e tipologici. Questa nuova ricerca costituisce una linea tematica specifica.

Oggetto dell'indagine storica sono: eruzioni, tracce di attività vulcanica sottomarina, attività sismica connessa, degassazioni ed eventuali tracce di deformazioni, ricaduta di ceneri in area mediterranea, con possibilità di datazione storica precisa.

Tenendo quindi conto delle ricerche già svolte, saranno sviluppati i seguenti temi:

- integrazioni di fonti storiche medievali: fonti arabe dal IX al XIV secolo;
- fonti bizantine dal XIII al XV secolo;

- fonti archivistiche relative al periodo XVI-XVII secolo: la ricerca sarà svolta *all'Archivio General de Simancas*; all' *Archivio di Stato di Napoli*;
- fonti memorialistiche edite e inedite riguardanti i secoli XV-XVII: nuovi approfondimenti alla *Biblioteca Nazionale di Napoli*;
- schedatura informatica delle nuove fonti reperite (secondo i codici della banca data in corso, ossia con la completa memorizzazione dei testi e la loro traduzione se in lingue diverse dall'italiano).

Prodotti attesi 1° anno

Relazione sul bilancio della ricerca per ogni punto indicato sopra; schedatura dei materiali storici (trascrizioni e traduzioni). Osservazioni dal punto di vista storico.

Secondo anno

Le ricerche storiche proseguiranno, completando la parte critica e di commento per ogni singola descrizione di attività o dello stato dei vulcani campani; saranno completate le seguenti fasi:

- analisi critica dei cataloghi e della tradizione vulcanologica storica;
- elaborazioni di commenti storici e filologici, per ogni eruzione o fenomeno individuati, secondo i criteri del progetto generale in corso;
- avanzamento dell'analisi di trattati del XVII secolo (scritti dopo l'eruzione del 1631): almeno tre opere (se tutte in latino) o più (se anche in italiano) da concordare con il gruppo di lavoro;
- eventi sismici vulcanici: schedatura di testimonianze storiche e inserimento nella banca dati CFTI di scosse locali, anche senza danni;
- avanzamento della ricerca iconografica e cartografica storica (schedatura, digitalizzazione e codificazione secondo i criteri della per la banca dati in corso).

Prodotti attesi 2° anno

Relazione sul bilancio della ricerca per ogni punto indicato sopra; schedatura dei materiali storici (trascrizioni e traduzioni). Osservazioni dal punto di vista storico.

Bilancio dei risultati e confronto con i dati precedenti la ricerca, desunti dall'analisi dei cataloghi in uso e della letteratura scientifica recente.

Richiesta finanziaria (in Euro) 1° anno

1. Borsisti, assegnisti, personale a contratto:	70.000
2. Missioni in Italia:	5.000
3. Missioni all'estero:	7.500
4. Acquisizione di beni di consumo e servizi (+spese generali)	35.000
5. Beni durevoli:	2.500
Totale:	120.000

Richiesta finanziaria (in Euro) 2° anno

1. Borsisti, assegnisti, personale a contratto:	70.000
2. Missioni in Italia:	5.000
3. Missioni all'estero:	7.500
4. Acquisizione di beni di consumo e servizi (+spese generali)	35.000
5. Beni durevoli:	2.500
Totale:	120.000

Curriculum del Responsabile Scientifico

Emanuela Guidoboni, laureata in Storia medievale (Università di Bologna) e diplomata in Archivistica e Diplomatica, ha partecipato al progetto Finalizzato Geodinamica del CNR nella fase 1979-82. Nel 1983 ha fondato la società di ricerca SGA Storia Geofisica Ambiente srl, di cui è presidente fino ad oggi. Ha progettato e diretto le ricerche storiche realizzate da SGA per l'ENEL dal 1983 al 1987, nell'ambito degli studi per la sicurezza di nove siti nucleari italiani. Ha inoltre effettuato ricerche finalizzate a problemi di pericolosità sismica nel settore della sicurezza nucleare: per la riqualificazione della centrale di Sholkino (Crimea, 1989-90); per la revisione dei criteri applicati alla centrale di Caorso (1992-93) e per la centrale idroelettrica di Gilgel Gibe (Etiopia, 1997-98). E' stata inoltre consulente della *International Atomic Energy Agency* per la revisione del progetto della centrale nucleare del Marocco (1994) e per i parametri di sicurezza sismica per la centrale dell'Armenia (1995). Ha diretto le ricerche storiche per il progetto GIANO (per ENEA, 1987-1990), riguardante eventi estremi di origine naturale in Italia dall'XI al XX secolo. Ha inoltre condotto per ENEA ricerche di storia ambientale sulla genesi dei processi di desertificazione in corso in Calabria.

Dal 1987 ad oggi è responsabile delle ricerche storiche per il *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia* per l'INGV. Dal 2000 è responsabile delle ricerche storiche del progetto riguardante l'analisi di lungo periodo dell'attività dei vulcani mediterranei (INGV, dr Coltelli). Dal 1986 al 2004 EG ha svolto attività didattica come professore a contratto in università italiane e in scuole di specializzazione. Nel 2003 è stata nominata membro della *Academia Europaea* (assemblea di Londra). Ha in corso un handbook di Sismologia storica per la Cambridge University Press.

5 pubblicazioni più rilevanti della UR #1

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P. 1997, *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 497 a.C. al 1997*, Bologna, 2000 con CDROM; altre edizioni: 1995 e 2000.

Guidoboni E., Comastri A., Traina G, 1994, *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to 10th century*, vol. I, pp. 504, Bologna, 1994.

Guidoboni E. and Comastri A., 2005, *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to 15th century*, vol. II, INGV&SGA, Bologna, pp. 950.

Boschi E. e Guidoboni E., *Catania Terremoti e Lave, dal mondo antico al XX secolo*, pp.414, Bologna, 2002.

Guidoboni E., Comastri A., Boschi E. 2005, The "exceptional" earthquake of 3 January 1117 in Verona area (northern Italy): a critical time review and detection of two lost earthquakes (Lower Germany and Tuscany), *J. Geophys. Res.* (in stampa).

Scheda della UR # 2

Responsabile Scientifico: Mauro Coltelli
Senior Researcher
INGV sezione di Catania
Piazza Roma 2 95123 Catania
coltelli@ct.ingv.it
tel 0957165850
fax 095435801

Composizione della UR 2:

Resp. Scientifico	Posizione	Ente di appartenenza	Mesi/uomo 1° anno	Mesi/uomo 2° anno
Mauro Coltelli	Senior Researcher	INGV-CT	1	1

Partecipante	Posizione	Ente di appartenenza	Mesi/uomo 1° anno	Mesi/uomo 2° anno
Antonella Bertagnini	Senior Researcher	INGV-PI	1	1
Raffaello Cioni	Associate Professor	Univ. Cagliari	1	1
Claudia Principe	Senior Researcher	CNR-IGG Pisa	1	1

Descrizione delle attività

La UR2 avrà una funzione di supporto della UR1 nella direzione dell'analisi multidisciplinare dei dati storici selezionati; il suo contributo si sostanzierà in riunioni di lavoro, in cui saranno discussi i dati reperiti dal punto di vista vulcanologico, ossia indicando eventuali correlazioni stratigrafiche e di terreno. La UR2 darà il suo contributo nella stesura delle relazioni conclusive, per evidenziare il senso vulcanologico dei dati storici selezionati.

Prodotti attesi 1° anno

Una relazione di lavoro a bilancio dei risultati storici ottenuti.

Prodotti attesi 2° anno

Una relazione di lavoro a bilancio dei risultati storici ottenuti.

Richiesta finanziaria (in Euro) 1° anno

1. Borsisti, assegnisti, personale a contratto	0
2. Missioni in Italia:	5.000
3. Missioni all'estero	0
4. Acquisizione di beni di consumo e servizi	0
5. Beni durevoli:	0
Totale:	5.000

Richiesta finanziaria (in Euro) 2° anno

1. Borsisti, assegnisti, personale a contratto	0
2. Missioni in Italia:	5.000
3. Missioni all'estero	0
4. Acquisizione di beni di consumo e servizi	0
5. Beni durevoli:	0
Totale:	5.000

Curriculum del Responsabile Scientifico

Mauro Coltelli

Date of birth: 18 May 1959

Nationality: Italian

Degrees: July 1984, degree in Geological Sciences with full marks

Work experience:

- 2002-present Senior Researcher at Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania, Catania, Italy.
- 1988 to 2002 Researcher at the Istituto Internazionale di Vulcanologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Catania (Italy)
- 1994-present: Director of the geological mapping of Acireale sheet for the Italian New Geological Mapping Project (CARG)
- 2002-present: Scientific responsible of the INGV project for the realization of the new Catalogue of the Historical eruption of the Italian and Mediterranean volcanoes.
- 1991-1992: Visiting scientist at Hawaii Volcano Observatory, US Geological Survey, Hawaii (USA)

Current and recent research interests: mechanisms of eruptive activity in basaltic volcanoes and monitoring; processes related to the basaltic explosive eruption; processes related to the emplacement of lava flows; stratigraphy of pyroclastic deposits; stratigraphy and geological mapping in volcanic areas; reconstruction of the historical eruption of the Italian volcanoes.

5 pubblicazioni più rilevanti della UR #2

Andronico D., Cioni R. (2002). Contrasting styles of Mt.Vesuvius activity in the period between the Avellino and Pompeii Plinian eruptions, and some implications for assessment of future hazards. *Bull. Volcanol.* 64: 372-391

Cioni, R., A. Longo, G. Macedonio, R. Santacroce, A. Sbrana, R. Sulpizio, and D. Andronico (2003) Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simulations: Example from Vesuvius, *J. Geophys. Res.*, 108(B2), 2063, doi:10.1029/2001JB000642, 2003; ECV 2-1/11.

Gurioli L. Houghton B., Cashman K., Cioni R. (2004). Complex changes in eruption dynamics and the transition between Plinian and phreatomagmatic activity during the 79 AD eruption of Vesuvius. *Bull. Volcanol.* DOI: 10.1007/s00445-004-0368-4

Principe C., Tanguy J.C., Arrighi S., Paiotti A., Le Goff M., Zoppi U. (2004) Chronology of Vesuvius' activity from A.D. 79 to 1631 based on archeomagnetism of lavas and historical sources. *Bulletin of Volcanology*, v. 66, pp. 703-724.

Tanguy J.C., Le Goff M., Principe C., Arrighi S., Chillemi V., Paiotti A., La Delfa S., Patanè G. (2003). Archeomagnetic dating of Mediterranean volcanics of the last 2100 years - validity and limits. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 211, pp. 111-124.

ALL. 4

Studio finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile

Compression along the northern Apennines? Evidence from the
Mw 5.3 Monghidoro earthquake

D. Piccinini, C. Chiarabba, P. Augliera and Monghidoro Earthquake Group (M.E.G.)

Terra Nova, Vol 18, No. 2, 89–94

© 2006 Blackwell Publishing Ltd

Compression along the northern Apennines? Evidence from the Mw 5.3 Monghidoro earthquake

D. Piccinini, C. Chiarabba, P. Augliera and Monghidoro Earthquake Group (M.E.G.)

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy

ABSTRACT

In this paper, we present the seismological data recorded during the deployment of a dense three-component seismic network installed a few hours after the 2003 Mw 5.3 Monghidoro earthquake, in northern Apennines. The main shock focal solutions derived from polarities distribution and body wave modelling of regional broadband data show a NE–SW striking reverse mechanism. Accurate relative locations of aftershocks and the inversion of focal mechanisms show that earthquakes

occurred on a NW-dipping backthrust within the Adria lithosphere under a NW-trending horizontal compression. The observed compression is a secondary process possibly explained by differential motion within the Adriatic lithosphere. Fault geometry and kinematics is controlled by pre-existing structures.

Terra Nova, 18, 89–94, 2006

Introduction and tectonic settings

The northern Apennines (Italy) are a NE-verging thrust and fold belt, presently characterized by a crustal extension of about 2.5 mm yr^{-1} (Hunstad *et al.* 2003) accommodated by moderate to large normal faulting earthquakes (Lavecchia *et al.* 1994; Chiaraluce *et al.* 2004). The extension develops along NW-trending fault segments and it is supposed to be balanced by compression on the external front beneath the Po plain. The contemporaneous existence of extension and compression (Elter *et al.* 1975) has been explained by the eastward retreat of the northern Apennine slab (Malinverno and Ryan 1986) the counter-clockwise rotation of the Adria microplate (Anderson and Jackson 1987; Battaglia *et al.* 2004) and by residual subduction of the Adria microplate underneath the Apennines (Selvaggi and Amato 1992; Mariotti and Doglioni 2000; Chiarabba *et al.* 2005; Scrocca *et al.* 2005).

The study region is located a few kilometres to the north of the mountain chain axis, in between the normal fault belt to the south and the compressional front to the north. Most representative earthquakes are the normal faulting Mugello 1919 $M = 6.2$ (Boschi *et al.* 1997; Monachesi and

Stucchi 1997; DISS Working Group 2005) and the 1996 Reggio Emilia $M_w = 5.4$ thrust (Selvaggi *et al.* 2001). In the axial chain area, significant historical earthquakes are lacking and the 2003 seismic sequence described here gives us a unique opportunity to investigate how extension and compression co-exist in the Apennines tectonics.

The Mw 5.3 September 14, 2003 earthquake occurred at large crustal depths (about 20 km) a few kilometres to the north of the Apennines axis (Fig. 1). Soon after the main shock, a dense seismic network has been installed allowing the detection of a complete series of aftershocks. We show and discuss the fault geometry obtained by accurate relative locations of about 500 aftershocks and the kinematics of the area revealed by the inversion of focal mechanisms. Seismological data yield insight into the tectonics of this portion of the northern Apennines.

Instrumental seismicity of the area

The instrumental seismicity catalogue (Castello *et al.* 2005; Chiarabba *et al.* 2005) documents 4826 earthquakes located in a 170 km long and 60 km wide region along the Apennines (Fig. 1). We select the events linked to a seismic sequence, by using the approach of Gardner and Knopoff (1974). Depending on the main event magnitude, the approach assumes that a spatio-temporal correlation length within which the events are considered as aftershocks (or foreshocks) exists.

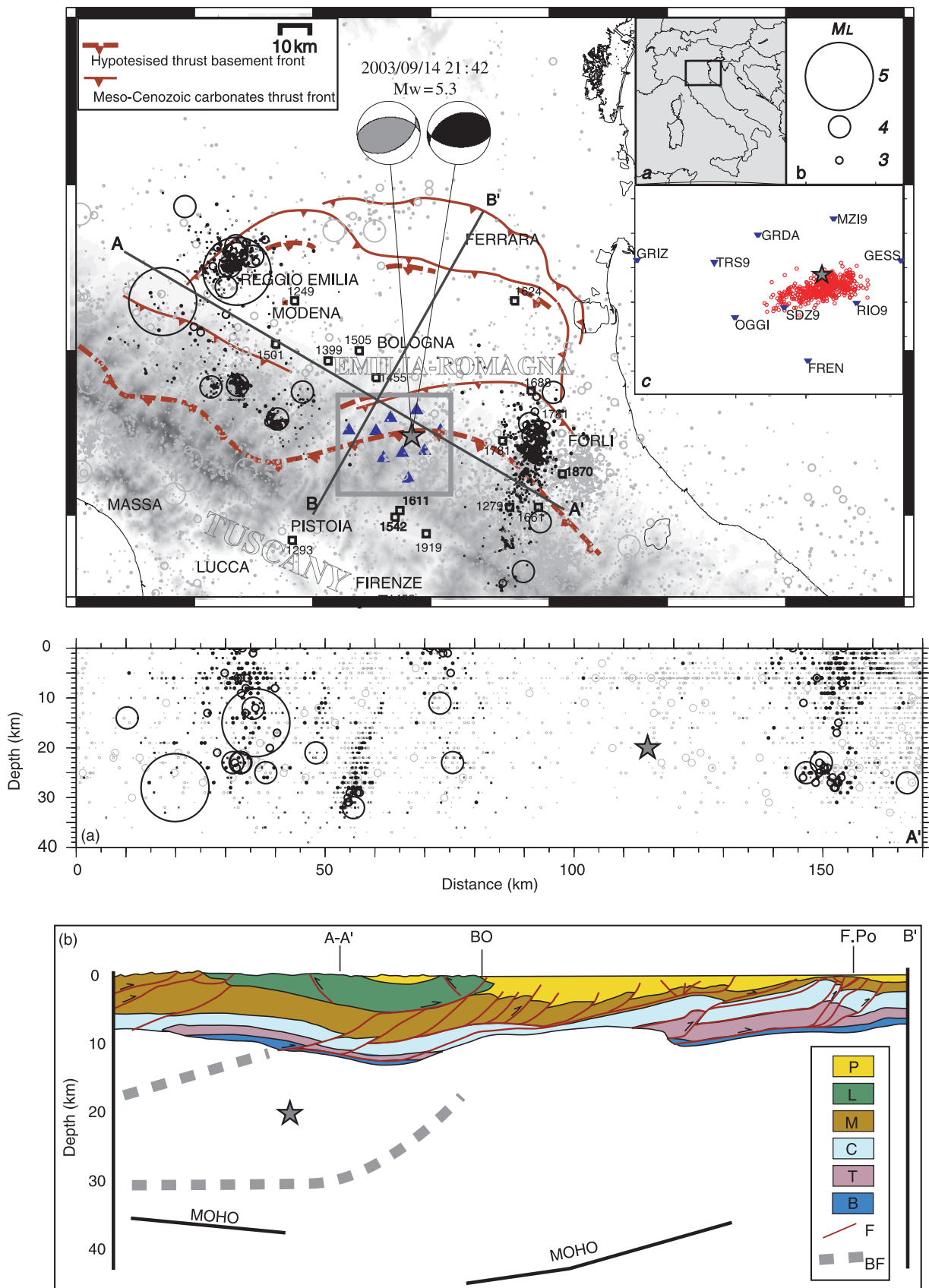
From the overall seismicity, we obtain 1208 clustered events relative to 12 seismic sequences with a main event with magnitude greater or equal to 4.0. During the 20 years before the September 2003 Monghidoro earthquake, the area is characterized by poor and diffuse background seismicity and the absence of seismic sequences or large events. The most significant earthquakes occurred at a distance of about 40–70 km to the east (Forlì-Faenza) and to the west (Reggio Emilia).

The Mw 5.3 main shock and the aftershock sequence

On 14 September 2003, the $M_w = 5.3$ earthquake occurred at the boundary between the Emilia and Toscana regions (Fig. 1) in the northern Apennines. The main shock scalar moment calculated by using MedNet broadband data at regional distance was 1.0×10^{24} dyn cm. Hypocentral location (lat, 44.2414; lon, 11.4187; depth, 20.08 km; ERH = 0.1 km; ERZ = 0.1 km; RMS, 0.28 s) was obtained by using the HYPOELLIPSE code (Lahr 1989) and P- and S-wave readings from seismic trace recorded by the digital stations of National Seismic Network maintained by Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

The revised Centroid Moment Tensor (<http://www.ingv.it/seismoglo/RCMT/>) shows a reverse solution with a slight left-lateral component. The nodal plane parameters are: strike 246° , dip 40° , rake 68° and strike 94° ,

Correspondence: Davide Piccinini, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via U. della Faggiuola, 3. 52100 Arezzo, Italy. Tel.: +39 0575 403171; fax: +39 0575 403148; e-mail: piccinini@ingv.it



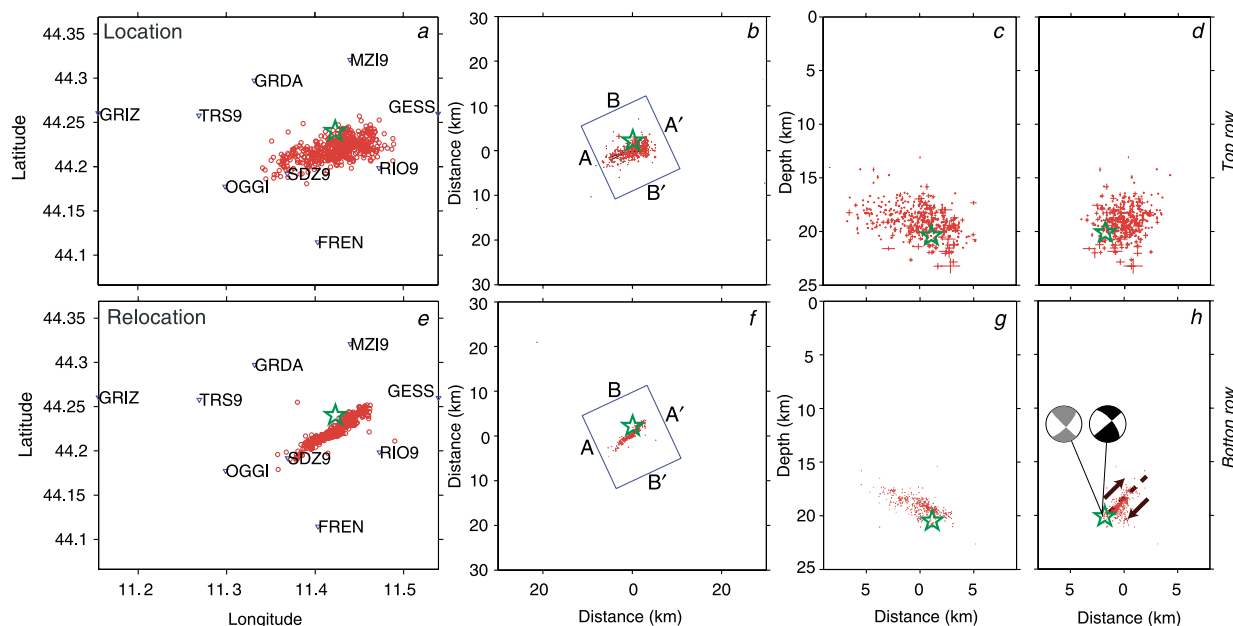


Fig. 2 Top row: Map view and two orthogonal sections of the Monghidoro seismic sequence. Each cross indicates the location and the error obtained by using HYPOELLIPSE of the events belonging to the seismic sequence. Star shows the location of the Mw 5.3 main shock of the sequence. Bottom row: Map view and sections after ‘double-differences’ relocation process. In the BB’ section RCMT (grey) and polarities (black) focal mechanisms solution are shown whereas black arrow indicates the sense of slip along the fault schematized by the black dashed line.

dip 53° , rake 107° . By using P wave first arrival polarities, we compute a stable focal solution using the FPFIT code (Reasenberg and Oppenheimer 1985). The principal plane of the solution obtained with polarities has: strike 60° , dip 45° , rake 70° . Although differences between the two methods are well known, the solutions are very close to each other (Fig. 1 and 2) and show an almost sub-horizontal, SE-trending P-axis, nearly parallel to the strike of the Apenninic chain and perpendicular to the compressive front.

A few hours after the main event, nine digital portable data loggers equipped with 3D short period seismic sensors and accelerometers were deployed by INGV in the epicentral area, covering an area of about

30×25 km. A total of 3819 P- and 3505 S-wave arrival times for about 500 aftershocks have been read on digital waveforms.

To better constrain earthquake locations, we first computed a minimum 1D velocity model with the Veltest code (Kissling *et al.* 1984), by simultaneously inverting hypocentral and velocity parameters. After eight iterations, we reach a final RMS of 0.35 s with a variance reduction of about 20%. The crustal volume is well sampled down to 20 km in depth with more than 7000 rays passing through.

The computed 1D velocity model has been used for hypocentral location. The V_p/V_s ratio (1.80) has been computed with the Wadati diagram. Fig. 2 (top row) shows the epicentral location of 451 aftershocks. The 1D

location RMS mean is 0.15 s whereas the mean formal errors for all the aftershocks are very small (ERH = 0.13 km; ERZ = 0.14 km). The hypocentral cloud is concentrated inside the area covered by the temporary network, and quite clustered in a volume located between 15 and 22 km depth (Fig. 2a,b). We observe a NE-trending elongation of aftershocks, quite coherent with the NW-dipping plane of the CMT focal solution. Vertical sections perpendicular and parallel to the CMT plane (Fig. 2c,d, top row) do not show any evident alignment of aftershocks with the focal mechanism planes, although a NW-dipping trend is visible.

To improve aftershock hypocentres accuracy, we relocate all the aftershocks by using the ‘double difference’

Fig. 1 Epicentral distribution in map, cross-section of seismicity from the C.S.I. catalogue (1981–2002, see Castello *et al.* 2005) and schematic geological cross-section. The star indicates the location of the Monghidoro earthquake. Black dots are the events linked to the occurred seismic sequences. The black line AA’ corresponds to the track line of the section. The grey box shows the boundaries of inset c. The triangle represents the temporary stations installed during the sequence. The two focal mechanisms shown are the RCMT (grey) and the polarities (black) solution obtained for the main shock. Squares represent the historical earthquakes from the CFTI (Boschi *et al.* 1997). Schematic geological cross-section (Boccaletti *et al.* 2004, modified): P = Plio-Pleistocene deposits; Ligurian, Subligurian and Epiligurian Units; M = Messinian deposits and evaporates; C = Meso-Cenozoic carbonatic succession; T = Lower and middle Triassic units; B = Basement; F = faults; BF = Hypothesized basement faults; inset a: location map; inset b: magnitude legend; Inset c: location map of Monghidoro seismic sequence and the temporary seismic network.

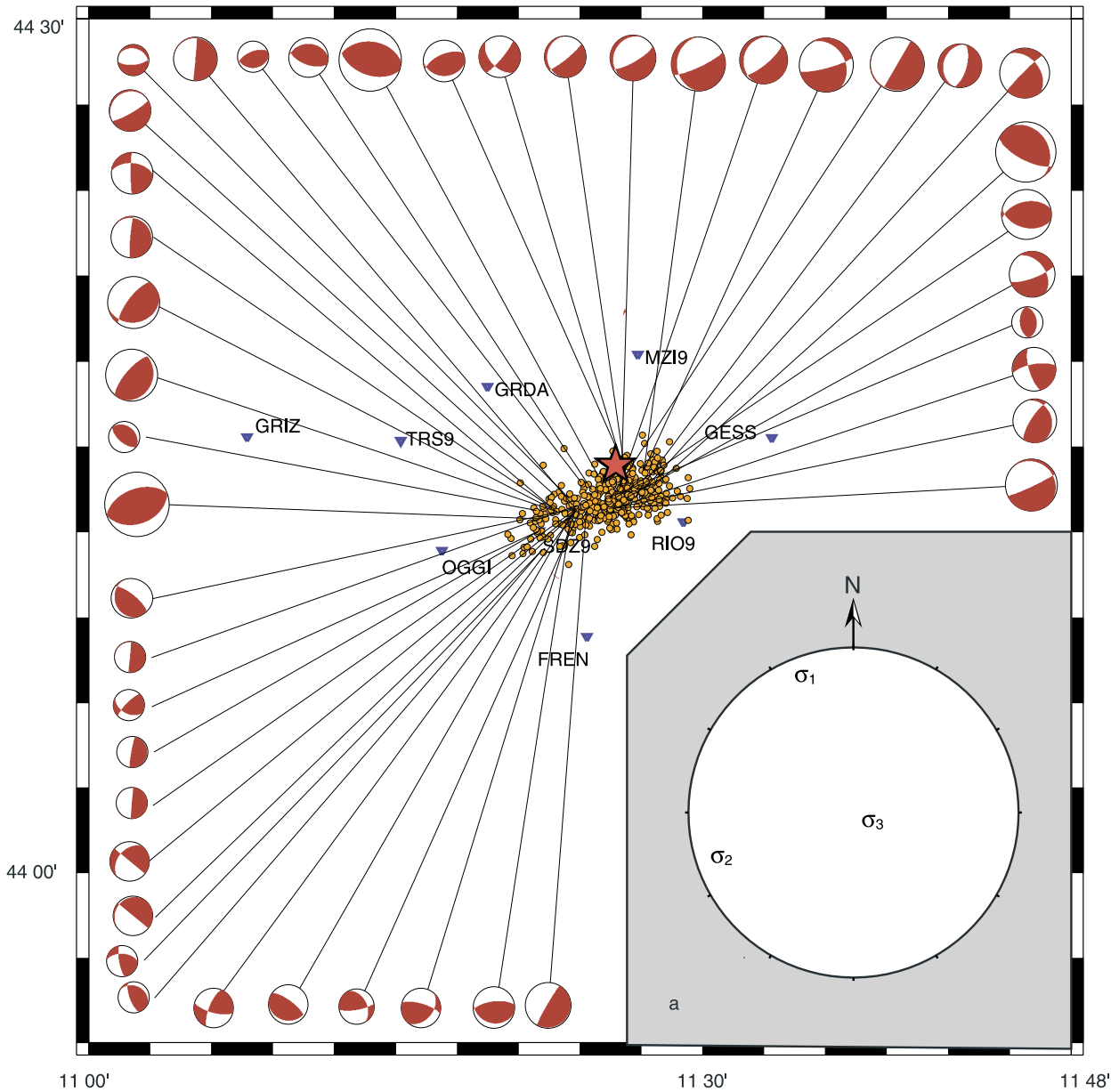


Fig. 3 Focal mechanisms of 42 aftershocks. Star indicates the Mw 5.3 main shock location. The direction of principal stress axes (inset a) is oblique to the Apenninic compressional front. We propose that the compression responsible for the 2003 Monghidoro earthquake is because of a differential rate of sinking of the Adriatic lithosphere along the Apennines.

technique (Waldhauser and Ellsworth 2000) with HYP0DD program, which minimize the residuals for event pairs leading to very accurate relative locations. We perform 21 HYP0DD iterations optimizing the damping parameter to obtain good conditioning and convergence of the solution. The input dataset consists of 365 187 differential observations for a total of 441 events. After 21 iterations, the initial catalogue RMS, 0.20 s, is re-

duced to 0.04 s. The mean 2σ estimate error is about 10 m for both horizontal and vertical coordinates; a reduction of about 15 times the formal errors of the input dataset.

Relocated aftershocks are strongly clustered on an NE-striking fault (Fig. 2e, bottom row), consistent with one of the nodal plane of the main shock mechanism. The vertical aftershocks distribution shows a NW-dipping plane (section B) consistent with

the focal mechanism and a slightly dip of the structure towards north.

The geometry of the imaged fault is complex. We observe:

- a W–NW dipping fault elongated perpendicularly to the mountain belt,
- the reverse fault is more shallow moving towards the Apennines axis.

The relocated seismicity is confined between 15 and 22 km depth and is

located in the footwall of the NW-dipping plane of the focal solution (dashed line in Fig. 2h, bottom row). The hypocentral depths are consistent with the seismicity cut-off computed for the Italian region by using the seismic data of the past 20 years (Chiarabba *et al.* 2005).

Stress inversion results

We calculate focal solutions for a subset of 148 aftershocks with a 1D location final RMS < 0.2 s and more than seven polarities. Fault plane solutions have been inverted by using the Michael's method (Michael 1984) to compute the direction and plunge of the principal stress axes.

Stress inversion results (Fig. 3a) show that the main tensor components are quite coherent with the strain described by the main shock focal solution. Their directions are: σ_1 : plunge 10°, strike 342°; σ_2 : plunge 10°, strike 251°, σ_3 : plunge 76°, strike 118°. The direction of the stress tensor principal axes is quite homogeneous in depth; 95% of the axes confidence intervals does not overlap, suggesting that the three axes are well constrained by the data.

Mainshock focal mechanism, aftershocks distribution and stress tensor directions are consistent with results from the nearby Reggio Emilia 1996 earthquake (Selvaggi *et al.* 2001). Our results point to a compressional regime with a maximum horizontal stress (plunge 10°) NNW-striking (N 342), consistent with borehole break-outs and focal mechanisms in adjacent areas (Montone *et al.* 2004).

Discussion and conclusions

The 2003 Monghidoro seismic sequence shows that tectonic processes operating in a key area of the northern Apennines are accommodated by complex mechanisms on probably pre-existing structures. Whereas the extension along the Apennines belt is directly related to the Adriatic lithosphere retreat, the compression seems to be a subordinate process. Following is a summary of our results:

1. The earthquake activated a NE-striking, NW-dipping backthrust (Fig. 2g,h), oblique to the mountain belt and almost parallel to the

western portion of the Ferrara fold arc. This complexity probably is because of the presence of inherited structures in the limestone rocks of the flexured Adria lithosphere. At present, we lack deep structure information in the region where the Adriatic lithosphere and the Apennines wedge are connected.

2. Aftershocks focal mechanisms (Fig. 3) show a significant complexity of deformation, with activation of differently oriented minor faults. Besides this, the main shock focal mechanism and the stress inversion of aftershock data reveal a NNW-trending horizontal compressional axis, in agreement with observations from nearby areas in the Adriatic lithosphere.

3. At great crustal depths (15–20 km), compression is active within the flexured Adriatic lithosphere. The NNW-trending compressional stress axis is perpendicular to the main strike of the thrust belt. Argnani *et al.* (2003) hypothesized the presence of a 'basement' compressional front with a ENE-striking lateral step, sub-parallel to the Monghidoro focal mechanism (see Fig. 1). Seismological data show that the earthquake occurred at depth greater than that hypothesized for the basement front and the fault plane dips in the opposite direction (north-westward). Aftershocks focal mechanisms suggest complex oblique movement on a reactivated structure. We prefer to interpret the compression as a secondary process caused by differential motion within the flexed Adria lithosphere. The compression is accommodated along pre-existing transverse structures. This mechanism can explain why thrust fault mechanisms are observed close to the extensional belt of the Apennines.

Our results reveal active compression within the flexed Adria lithosphere, at a distance from the Apennines subduction front. The complex pre-existing structure, typical of continental collision zones, strongly controls the geometry and kinematics of moderate magnitude earthquakes ($M < 5.5$), limiting their use in revealing the regional stress field.

Acknowledgements

Thanks to all the people of the Monghidoro Earthquake Group (M.E.G.), who participated during the deployment of the temporary seismic network and took part in the phase-picking. The members of the M.E.G. are: N. Piana (I.N.G.V., Arezzo); S. Marzorati, E.D'Alema, M. Maistrello (I.N.G.V., Milan); Piersanti A., De Gori P., Marchetti A., Colasanti G. (I.N.G.V., Rome); Fiaschi A. (Istituto Geofisico Toscano, Prato). Thanks also to S. Pondrelli for the revised CMT focal solution and for the geological information of the study area. We wish to thank the editor C. Doglioni, M. Barchi and an anonymous referee for their comments, which helped us improve the manuscript. The study has been funded by the Italian National Civil Protection Department.

References

- Anderson, H. and Jackson, J., 1987. Active tectonics of the Adriatic region. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, **91**, 937–983.
- Argnani, A., Barbacini, G., Bernini, M., Camurri, F., Ghielmi, M., Papani, G., Rizzini, F., Rogledi, S. and Torelli, L., 2003. Gravity tectonics driven by Quaternary uplift in the Northern Apennines: insights from the La Spezia-Reggio Emilia geo-transect. *Quat. Int.*, **101–102**, 13–26.
- Battaglia, M., Murray, M.H., Serpelloni, E. and Bürgmann, R., 2004. The Adriatic region; an independent microplate within the Africa–Eurasia collision zone. *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L09605, doi:10.1029/2004GL0197239.
- Boccaletti, M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Tanini C., and Vannucci G., 2004. *Seis-motectonic Map of the Emilia-Romagna Region, 1:250000. Regione Emilia-Romagna – CNR.*
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Valensise G. and Gasperini, P., 1997. *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990.* ING-SGA, Bologna, 644 pp. e CD-ROM. Versione 2.1.
- Castello, B., Selvaggi, G., Chiarabba, C. and Amato, A., 2005. *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981–2002, versione 1.0.* INGV-CNT, Roma, <http://www.ingv.it/CSI/>
- Chiarabba, C., Jovane, L. and Di Stefano, R., 2005. A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, **395**, 251–268.
- Chiaraluce, L., Amato, A., Cocco, M., Chiarabba, C., Selvaggi, G., Di Bona, M., Piccinini, D., Deschamps, A., Margheriti, L., Courboux, F. and Ripepe, M., 2004. Complex normal faulting in the Apennines thrust-and-fold belt: the 1997

- seismic sequence in central Italy. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **94**, 99–116.
- DISS Working Group, 2005. *Database of Individual Seismogenic Sources (version 3.0.1): a compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://www.ingv.it/banchedati/banche.html>, INGV 2005 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Elter, P., Giglia, G., Tongiorgi, M. and Trevisan, L., 1975. Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Northern Apennines. *Boll. Geof. Teor. Appl.* **17**, 3–18.
- Gardner, J.K. and Knopoff, L., 1974. Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **64**, 1363–1367.
- Hunstad, I., Selvaggi, G., D'Agostino, N., England, P., Clarke, P. and Pierozzi, M., 2003. Geodetic strain in peninsular Italy between 1875 and 2001. *Geophys. Res. Lett.*, **30**, 1181, doi:10.1029/2002GL016447.
- Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Phillips, D. and Kradolfer, U., 1984. Initial reference models in local earthquake tomography. *J. Geophys. Res.*, **99**, 635–19, 635.
- Lahr, J.C., 1989. *HYPOELLIPSE/Version 2.0: A computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern*. US Geological Survey Open-File Report 89-116, p. 92, online edition.
- Lavecchia, G., Brozzetti, F., Barchi, M., Menichetti, M. and Keller, J., 1994. Seismotectonic zoning in Eastern-Central Italy deduced from an analysis of the Neogene to present deformations and related stress fields. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **106**, 1107–1120.
- Malinverno, A. and Ryan, W.B.F., 1986. Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere. *Tectonics*, **5**, 227–245.
- Mariotti, G. and Doglioni, C., 2000. The dip of the foreland monocline in the Alps and Apennines. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **181**, 191–202.
- Michael, A.J., 1984. Determination of stress from slip data: Faults and folds. *J. Geophys. Res.*, **89**, 11,517–11,526.
- Monachesi, G. and Stucchi, M., 1997. *DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. <http://emidius.mi.ingv.it/DOM/>
- Montone, P., Mariucci, M.T., Pondrelli, S. and Amato, A., 2004. An improved stress map for Italy and surrounding regions (central Mediterranean). *J. Geophys. Res.*, **109**, B10410, doi:10.1029/2003JB002703.
- Reasenberg, P.A. and Oppenheimer, D., 1985. FPFIT, FPLOT and FPPAGE: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault-plain solutions. *US Geol. Survey Open-File Report*, 85-739.
- Scrocca, D., Carminati, E. and Doglioni, C., 2005. Deep structures of the Southern Apennines, Italy: thin skinned or thick skinned? *Tectonics*, **24**, TC3005, doi:10.1029/2004tc001634.
- Selvaggi, G. and Amato, A., 1992. Subcrustal earthquakes in the northern Apennines (Italy): evidence for a still active subduction? *Geophys. Res. Lett.*, **19**, 2127–2130.
- Selvaggi, G., Ferulano, F., Di Bona, M., Frepoli, A., Azzara, R., Basili, A., Chiarabba, C., Ciaccio, M.G., Di Luccio, F., Lucente, F.P., Margheriti, L. and Nostro, C., 2001. The Mw 5.4 Reggio Emilia 1996 earthquake: active compressional tectonics in the Po Plain, Italy. *Geophys. J. Int.*, **144**, 1–13.
- Waldhauser, F. and Ellsworth, W.L., 2000. A double-difference earthquake location algorithm; method and application to the northern Hayward Fault, California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **90**, 1353–1368.

Received 11 July 2005; revised version accepted 12 November 2005



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

<http://www.ingv.it>

ROMA

Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma

NAPOLI

OSSERVATORIO VESUVIANO

Via Diocleziano, 328 - 80124 Napoli

CATANIA

Piazza Roma, 2 - 95123 Catania

MILANO

Via Bassini, 15 - 20133 Milano

PALERMO

Via Ugo La Malfa, 153 - 90146 Palermo

BOLOGNA

Via Donato Creti, 12 - 40128 Bologna

PISA

Via della Faggiola, 32 - 56126 Pisa