



Centro Ibleo di Ricerche Speleo-Idrogeologiche

ATTI VIII CONVEGNO NAZIONALE DI SPELEOLOGIA IN CAVITÀ ARTIFICIALI

*a cura di
Rosario Ruggieri*

Ragusa, Teatro Donnafugata
7/9 Settembre 2012

<p style="text-align: center;">Atti VIII Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali (7-8-9 Settembre 2012)</p>	<p style="text-align: center;">Speleologia Iblea</p>	<p style="text-align: center;">Vol. XV</p>	<p style="text-align: center;">pp. 205 - 217</p>	<p style="text-align: center;">Ragusa 2014</p>
---	--	--	--	--

IL PROGETTO IPODATA: STAZIONI SISMICHE IN SITI IPOGEI

Paolo Casale¹, Martina De Martin¹, Carlo Germani²

¹Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: ²Società Speleologica Italiana

Riassunto

A sette anni dalla stipula della convenzione IPODATA tra Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e Società Speleologica Italiana (SSI), riportiamo alcuni risultati relativi ai dati registrati in ipogei. Scopo di IPODATA è individuare cavità ipogee idonee ad ospitare sismometri a "Larga Banda" cioè ad alta sensibilità su tutta la gamma di frequenze di interesse sismologico. Tali strumenti sono infatti capaci di registrare sia movimenti veloci sia lentissimi del suolo ma richiedono particolari caratteristiche del sito, ad esempio la stabilità termica. L'attività è consistita in una prima fase di ricognizione, da parte degli speleologi, di siti ipogei artificiali o naturali. È seguita una prima scrematura fatta a tavolino, sulla base di alcuni requisiti indicati dai sismologi ed illustrati nel dettaglio. Successivamente, tramite sopralluoghi, il personale INGV ha selezionato i siti adatti, sia dal punto di vista sismologico sia da quello della logistica d'installazione. In tali siti sono stati effettuati test con strumentazione sismica portatile, prima dell'installazione definitiva delle stazioni. Vengono presentati i risultati relativi ai siti selezionati dove sono state installate, in modo temporaneo o permanente, stazioni della Rete Sismica Nazionale. I dati ipogei sono confrontati con quanto registrato in altre stazioni in superficie. In generale i siti ipogei forniscono dati migliori in quanto attenuano i disturbi di origine naturale ed antropica (detti "rumore sismico") consentendo una registrazione più fedele del movimento del suolo o meglio delle onde sismiche generate durante i terremoti. Questa peculiarità è sicuramente di stimolo per risolvere i piccoli ma inevitabili problemi che s'incontrano nelle installazioni ipogee ed in particolare nella trasmissione dei dati in tempo reale da queste stazioni al centro di acquisizione dati presso la Sala di Monitoraggio sismico dell'INGV.

Parole chiave: cavità artificiali, rumore sismico, sismometro a larga banda.

Summary: Ipodata project: seismic stations in underground cavities

Seven years after the signing of an agreement, called IPODATA, between the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) and the Società Speleologica Italiana (SSI), we report some results related to data recorded in artificial cavities and caves. IPODATA was born with the aim of selecting cavities which match specific criteria to host Very Broad Band seismometers. These instruments have high sensitivity over the entire frequency range of interest in seismology and so are able to record both fast and very slow movement of the soil but require certain site conditions such as thermal ad pressure stability. In the first phase of the activity the speleologists collected the available information about artificial and natural underground cavities. Those sites were then submitted to a screening done by seismologists at desk, on the basis of certain requirements which are explained in detail. Subsequently, through in site inspections, the INGV staff has selected the appropriate sites, both from the point of view of seismology and from that of logistic of installation. In these sites have been carried out tests with portable seismic instrumentation, before the final installation of the stations. We present the results for the sites where temporary or permanent stations of the National Seismic Network were installed. Cavities data are compared to data recorded at other standard stations in the field. In general, underground sites provide better data as they attenuate the natural and anthropogenic disturbances (called "seismic noise"), allowing a more reliable record of ground motion, in practice they permit to record the real seismic waves during earthquakes. This fact is certainly of interest and may be an incentive to resolve the little but inevitable problems that we encounter in cavities installations, particularly in the transmission of real-time data from the underground stations to the data center at INGV.

Key words: underground cavity, seismic noise, Very Broad Band (VBB) seismometer.

Introduzione

La collaborazione tra la Società Speleologica Italiana (SSI) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nasce allo scopo di individuare siti ipogei idonei all'installazione di moderni strumenti di rilevazione dei terremoti (sismometri) ad alta sensibilità su tutta la gamma di frequenze di interesse sismologico, cioè sia su

movimenti bruschi sia su oscillazioni lentissime del suolo. Tali sismometri, i migliori attualmente in commercio, sono detti a larga banda (Very Broad Band o VBB) perché sono in grado di registrare movimenti del suolo in un intervallo che va dalle 100 oscillazioni al secondo (frequenza pari 100 Hz) fino ad una oscillazione ogni milione di secondi (un milionesimo di Hz) riuscendo così a dare informazioni su tutti i movimenti del suolo, compresi

quelli impercettibili causati da forze di natura gravitazionale che impiegano due settimane o un mese per compiere una sola oscillazione (BROUCKE *et al.*, 1972). Perché questi movimenti a bassa o bassissima frequenza possano essere ben registrati, però, non basta un buon sismometro ma è anche necessario che questo sia installato con una certa cura ed in luoghi con particolari caratteristiche spesso riscontrabili nei siti ipogei, come verrà illustrato nel seguito.

Da qui l'interazione con gli speleologi e questo lavoro, dove presentiamo alcuni dei risultati di questa collaborazione.

L'accordo, siglato nel 2005, era suddiviso in due fasi: la prima prevedeva la ricerca bibliografica e/o attraverso il Catasto delle Cavità Artificiali SSI di possibili siti. La seconda, più lunga e complessa, prevedeva la selezione dei siti più idonei, anche attraverso sopralluoghi nelle località segnalate con tecnici dell'INGV. Ove il sopralluogo dava un riscontro positivo si effettuavano verifiche sul campo ed eventuali "prove di rumore" con sismometri mobili (GERMANI, 2005).

La prima fase è stata seguita da una scrematura a tavolino dei siti sulla base di alcuni requisiti indicati dai sismologi¹. In particolare sono stati scartati i siti troppo vicini a ferrovie, strade trafficate o impianti idroelettrici, siti dove già esistevano stazioni sismiche nelle vicinanze, siti geologicamente inadatti come cime di piccole montagne o creste, ecc.

Successivamente e come previsto, una volta individuati alcuni siti potenzialmente idonei, sono stati avviati i controlli congiunti tra speleologi, ricercatori e tecnici dell'INGV in cui, oltre alla minimizzazione del rumore sismico, veniva considerato dei luoghi visitati anche l'aspetto logistico che, col passar del tempo e data la politica di contenimento delle spese, ha assunto una importanza via via maggiore. In questa fase la collaborazione con la Commissione Nazionale Cavità Artificiali della SSI è risultata fondamentale grazie alle competenze ed alla rete di conoscenze sul territorio.

I primi sopralluoghi

I primi sopralluoghi sono stati eseguiti nel 2005 in alcuni siti della zona dei Castelli Romani (GERMANI, 2005) dove sono stati installati due strumenti di prova all'interno di un cunicolo artificiale scavato all'inizio del secolo scorso per la ricerca dell'acqua (Ca 270 La RM², figura 1).

¹ In generale un sismometro deve essere posto lontano da fonti di rumore sismico, antropico o naturale che sia (ferrovie, autostrade, alberi o tralicci battuti dal vento, ecc). Se il sismometro è a larga banda, deve essere posta attenzione al rumore a lungo e lunghissimo periodo (da 20 a 100.000 secondi, in particolare da 20 a 100 s) e l'ambiente del sensore deve essere termicamente stabile. L'ideale sarebbe avere sopra ed attorno al sismometro 100 o più metri di roccia. Deve essere possibile chiudere la stanza o la nicchia ove è alloggiato il sensore al fine di tenerlo ben separato dal resto della strumentazione (computer, alimentatori ecc.). È pressoché indispensabile la disponibilità di un allaccio all'alimentazione elettrica o la possibilità di installare pannelli solari (almeno per 5 m²). Inoltre è auspicabile la vicinanza di una linea telefonica o comunque una connessione internet stabile per la trasmissione dei dati in tempo reale al centro di acquisizione di Roma. In alternativa si deve poter installare una antenna parabolica per trasferire i dati via satellite.

² Questa sigla e le altre nel seguito si riferiscono al catasto delle Cavità Artificiali della SSI, disponibile su catastoartificiali.speleo.it.

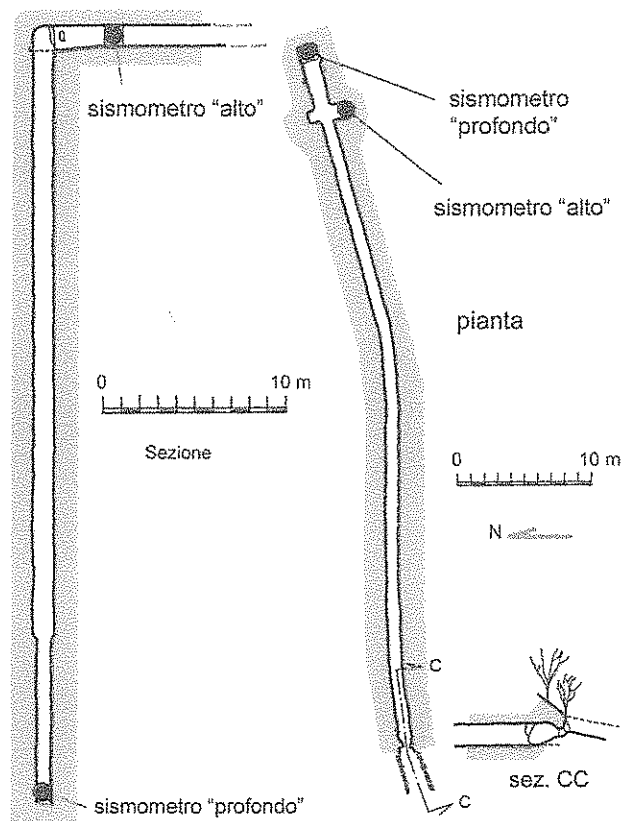


Fig. 1: pianta e sezione dell'ipogeo CA 270 LaRM (rilievo CRS Egeria 2002).

Fig. 1: layout and longitudinal section of CA 270 LaRM cavity (survey CRS Egeria 2002)

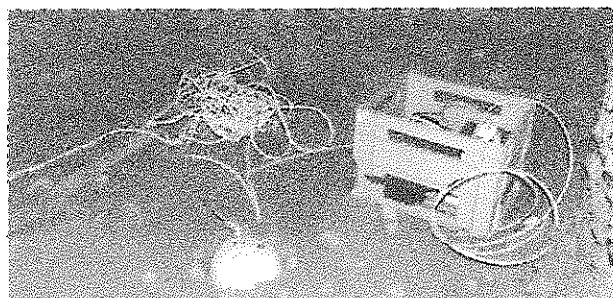


Fig. 2: il sismometro alla sommità del pozzo della CA 270 LaRM durante l'installazione temporanea (foto C. Germani).

Fig. 2: seismometer on top of CA 270 LaRM pothole during a temporary deployment (photo C. Germani).

Un primo strumento è stato collocato a circa 80 metri dall'ingresso (figura 2) mentre un secondo è stato installato alla base di un pozzo, alla quota di:58 metri rispetto allo stesso ingresso (figura 3). Entrambi hanno dato buoni risultati dal punto di vista di minimizzazione del rumore e sono risultati idonei dal punto di vista logistico. Purtroppo non è stato possibile raggiungere un accordo con il proprietario del terreno e questa prima installazione non è andata a buon fine.

Nel 2006, in più riprese, sono stati visitati 34 siti tra Veneto e Trentino Alto Adige, zone dove all'epoca la Rete Sismica Nazionale non era particolarmente fitta. Di questi siti ne sono stati ispezionati 27, gli altri sono stati scartati già dopo il sopralluogo esterno. Solo in uno di questi 27 (Ridanna, vedi oltre) è stato eseguito successivamente un test con strumentazione sismica in registrazione. In un altro sito, CA 22 VT TN, nei pressi del rifugio Maranza



Figura 3: il sismometro alla base del pozzo della CA 270 La RM durante l'installazione temporanea. Sulla destra della foto si nota la parete laterale del pozzo (foto C. Galeazzi).
 Figure 3: seismometer on the bottom of CA 270 La RM pothole during a temporary deployment. On the right side of the image the lateral wall of the pothole is visible. (photo C. Galeazzi).



Fig. 4: l'entrata del sito ipogeo del M. Calisio (TN) in inverno (foto P. Casale).
 Fig. 4: entrance of M. Calisio (TN) underground cavity in winter (photo P. Casale).

Regione	Siti segnalati	Sopralluoghi effettuati	Siti individuati	Siti installati
Valle d'Aosta				
Piemonte	10			
Lombardia				
Veneto	13	10	1	
Trentino AA	15	13	3	1
Friuli VG	4			
Liguria	14	1	1	1
Emilia				
Toscana	1			
Umbria	3	2	1	1
Lazio	6	6	2	1
Marche				
Abruzzo				
Molise				
Campania	8	1	1	1
Basilicata				
Puglia	14			
Calabria	7	7	1	
Sicilia				
Sardegna				

Tabella 1: riepilogo delle segnalazioni, sopralluoghi ed individuazioni dei siti ipogei potenzialmente idonei per stazioni sismometriche a Larga Banda. In ultima colonna il numero di stazioni effettivamente installate.

Table 1: summary of the underground cavities recommended for the deployment of Broad Band Seismic Instruments. In the last column the number of the installed stations is reported.

(TN), non è stato possibile installare stazioni sismiche per problemi di tipo amministrativo, lo stesso dicasi per un altro sito, CA 60 V TV a Susegana (TV).

Altri siti, sia in provincia di Trento (ad es. M. Calisio CA 14 VT TN; figura 4, Vigolo Vattaro CA 54 VT TN, Sperone sul lago di Garda CA3 VT TN) sia di Treviso (ad es. Cavaso del Tomba CA 57 V TV, Asolo) che di Belluno (ad es. Zoldo CA 15 V BL), dopo il sopralluogo sono stati scartati per l'installazione di stazioni a Larga Banda ma sono stati comunque catalogati come siti validi per ospitare stazioni temporanee (Rete Sismica Mobile) in caso di campagne sismiche. In particolare Asolo (TV), data la convenienza del sito dal punto di vista logistico, è stato successivamente utilizzato per l'installazione di un accelerometro, strumento meno sensibile di quelli a Larga Banda ma che ben si adattava alla rumorosità del sito. Attualmente Asolo ospita una stazione sismica della Rete Nazionale (ASOL).

In generale la difficoltà nell'individuare un luogo adatto all'installazione di un sismometro VBB risulta evidente dalla tabella 1: delle migliaia di cavità artificiali presenti e note agli speleologi, solo poche decine sono risultate in linea con le richieste teoriche dell'INGV e ancora meno quelle che hanno resistito ad una analisi più approfondita e ad un test sul campo.

Il rumore sismico

Prima di passare alla descrizione dei risultati ottenuti dalle registrazioni nei siti selezionati, dobbiamo fare una breve introduzione su segnale e rumore sismico. Per *segnale* sismico intendiamo la registrazione del moto del suolo causato da terremoti, mentre per *rumore* sismico intendiamo la registrazione di movimenti del suolo di varia origine. Più in generale, nel rumore vengono compresi anche i vari disturbi sulle registrazioni spesso indotti da instabilità degli strumenti stessi o dovuti, ad esempio, al microclima circostante.

Ovviamente l'intento di chi produce dati è di ottenerne di buona qualità. In particolare la bontà del dato di base prodotto da una stazione sismica (per dato di base s'intende il sismogramma o semplicemente la registrazione digitale del moto del suolo) aumenta le possibilità di utilizzo dei dati stessi, consentendo elaborazioni in varie direzioni: dal calcolo della magnitudo a quello dell'epicentro, agli studi delle deformazioni del suolo o a studi più approfonditi riguardanti le caratteristiche del suolo o dell'interno della Terra o, ancora, le caratteristiche del "piano di faglia", la frattura lungo la quale si è generato il terremoto. In sintesi:

a) *Il sismometro deve misurare l'effettivo moto del suolo e non altro.*

Si devono minimizzare tutti quei fenomeni che hanno un effetto diretto sullo strumento che perciò deve essere schermato da variazioni termiche, campi elettromagnetici variabili, variazioni della pressione, stillicidi, agenti atmosferici, ecc.

b) *Il sismometro deve misurare onde sismiche risultanti dai terremoti e non vibrazioni del suolo di altra natura.*

Anche minimizzando o eliminando gli effetti diretti sui sismometri esistono altri fenomeni fisici al di fuori del terremoto, la maggior parte di origine locale, che provocano comunque vibrazioni del suolo, regolarmente registrate dai sismometri ed in grado di mascherare i sismogrammi. Ogni fenomeno ha un suo intervallo di frequenze in cui si manifesta (HOLCOMB, 1989).

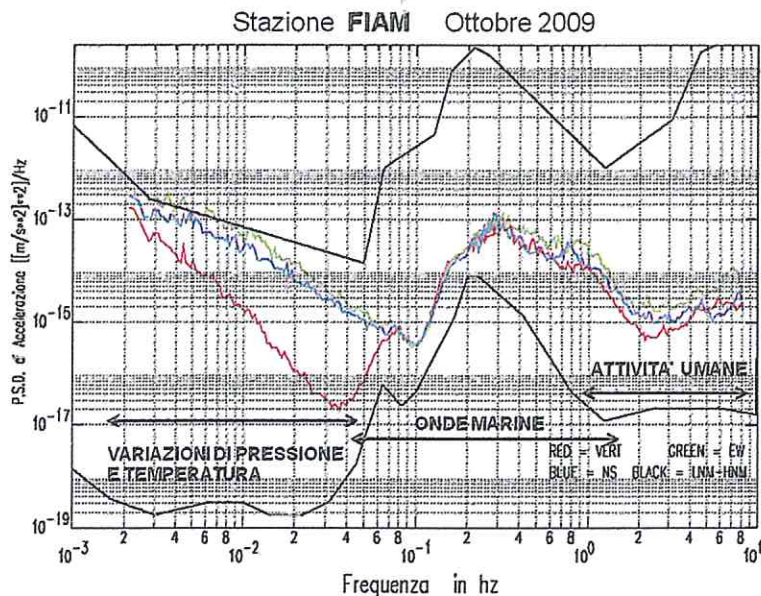


Fig. 5: gli spettri di rumore sismico registrati alla stazione di Fiamignano (FIAM) in provincia di Rieti (Lazio). In rosso la componente verticale del moto del suolo, in blu la componente NS e in verde la componente EW. In nero i modelli di minimo e massimo rumore sismico.

Fig. 5: seismic noise spectra recorded in Fiamignano station (FIAM), Lazio region. The vertical component of the ground movement is RED, North-South component is BLUE, Est-West is GREEN. Minimum (Low) and maximum (High) seismic noise models are BLACK (LNM, HNM).

Le sorgenti del rumore sismico

Tra i fenomeni che generano rumore sismico annoveriamo:

1) le onde del mare (da 0,04 ad 1 Hz): l'altezza delle onde, trasmettendo la pressione sul fondo marino, determina la formazione di piccole onde sismiche superficiali che si propagano fino alla terraferma (DARBYSHIRE e OKEKE, 1969);

2) le lente variazioni del campo di pressione atmosferica al suolo (da 0,002 a 0,1 Hz), che inducono una deformazione variabile della superficie del suolo detta *tilt* (SORRELS, 1971);

3) l'attività antropica (da 1 a 20 Hz; HOLCOMB, 1989) come il passaggio di treni o camion o le attività industriali che fanno uso di pompe o turbine, o anche passaggi di persone nei pressi della stazione (in un sito abbiamo registrato il rintocco delle campane!);

4) gli agenti atmosferici, come ad esempio il vento (da 0,1 Hz in su) che può creare direttamente piccole oscillazioni nel terreno o far vibrare tralici e alberi i quali trasmettono la vibrazione a terra. Fortunatamente il rumore ad alta frequenza si attenua rapidamente se aumentiamo la distanza dalla sorgente (FIX, 1972).

L'analisi del rumore sismico

Lo strumento analitico che descrive il rumore sismico al variare della frequenza e indica se un sito è "rumoroso" o no è lo *spettro di rumore*, un diagramma che si ottiene dalla rielaborazione della registrazione sismica (sismogramma) in assenza di terremoto. Esso mostra l'entità dei disturbi al variare del periodo o della frequenza di oscillazione del terreno. Nella figura 5 sono riportati, a titolo di esempio, gli spettri di rumore sismico registrati alla stazione di Fiamignano



Fig. 6: il sismometro a Larga Banda STS2 in Val Ridanna prima (a sinistra) e dopo la schermatura classica in metallo e materiale isolante (a destra) (foto P. Casale).

Fig. 6: a STS2 Broad Band Seismometer before and after being inserted into its proper shielding. (photo P. Casale).

(FIAM) in provincia di Rieti (Lazio). In rosso è riportata la componente verticale del moto del suolo, in blu è rappresentata la componente NS e in verde la componente EW. Per confronto sono poi riportati, in nero, i modelli di minimo e massimo rumore sismico (PETERSON, 1993). Le sorgenti di rumore descritte nel punto b) si collocano all'interno del diagramma nell'intervallo da 0,001 a 10 Hz. La figura 5 mostra in particolare un livello di rumore accettabile per l'attività antropica ed il vento, nella parte destra sopra 1 Hz; un rumore maggiore nella zona centrale, dominata dall'attività marina da circa 0,04 a 1 Hz; un livello di rumore via via più alto man mano che si scende verso le frequenze più basse, a partire da 0,03 Hz in poi. Intorno a 0,002 Hz i diagrammi lambiscono il modello di massimo rumore, oltre il quale le registrazioni sono difficilmente utilizzabili.

Infine, è noto in meteorologia (HOLTON, 1972) come nella stagione estiva, in frequente regime di alta pressione, il vento sia in media più debole che in inverno. Questo favorisce una diminuzione del rumore sismico durante la bella stagione per la minore azione del vento sia su alberi, tralici e altri manufatti sia direttamente sul suolo o sul mare (minore moto ondoso). Per tutti questi motivi, in caso di confronto degli spettri di rumore tra varie stazioni, è bene confrontare spettri contemporanei. Laddove dati contemporanei di due o più stazioni non siano disponibili è raccomandabile confrontare spettri dello stesso periodo, eventualmente anche di anni differenti.

Criteri di minimizzazione del rumore sismico

Per minimizzare il rumore, particolare cura va posta nella scelta del sito, lontano da sorgenti di disturbo, e nella installazione del sismometro, ad esempio posizionandolo in un pozzetto per proteggerlo dal vento e dalle variazioni

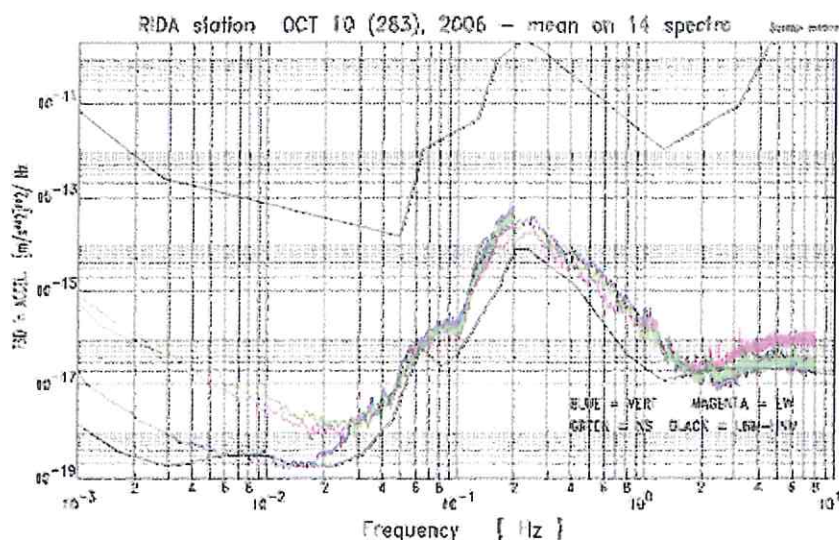


Fig. 7: diagramma del rumore sismico alla stazione di Val Ridanna.
Fig. 7: seismic noise diagram at the Val Ridanna station.

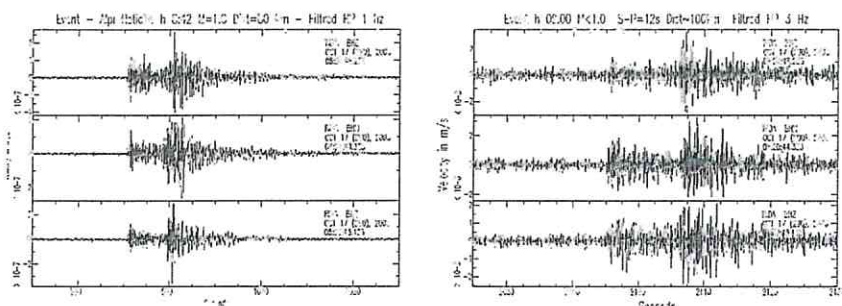


Fig. 8: registrazioni di piccoli terremoti locali alla stazione ipogea di Ridanna (vedi testo).
Fig. 89: low seismicity recorded at the Val Ridanna underground station.

termiche. Nel corso degli anni sono stati affinati criteri per selezionare i siti oltre che le tecniche per migliorarne la resa, come protezioni, schermature, ecc. (OLIVIERI et al., 2009). A parte il rumore proveniente dalle onde del mare (STROBACH, 1965), che nei diagrammi è rappresentato da un massimo intorno a 5 secondi (0,2 Hz in figura 5), esistono soluzioni per minimizzare quasi tutte le altre tipologie di disturbo. In particolare i siti ipogei risultano ben adatti alle stazioni sismiche perché minimizzano sia gli effetti diretti sul sismometro sia quelli indiretti, ossia gli effetti sul suolo. Ecco, infatti, le caratteristiche tipiche di un sito ipogeo:

- la temperatura è stabile (effetto diretto sul sismometro);

- negli ipogei ciechi le variazioni di pressione sono ridotte (effetto diretto sul sismometro) o perlomeno sono attenuate le variazioni più brusche;

- le lente vibrazioni del suolo in superficie dovute alle variazioni di pressione e agli agenti atmosferici in generale (frequenze inferiori ad 1 Hz) sono attenuate dalla roccia sovrastante il sismometro e l'effetto, in molti casi, diminuisce in modo proporzionale allo spessore della roccia stessa (SORRELS, 1971);

- sono spesso lontani da luoghi sede di attività antropiche.

Per tutti questi motivi in sismologia si sceglie, ove possibile e ove le condizioni logistiche lo permettono, di installare i migliori strumenti sismici in siti ipogei.

Principali stazioni ipogee installate

Si riportano nel seguito i principali risultati della collaborazione tra INGV ed SSI: Comm. Cavità Artificiali, ossia le stazioni installate a seguito di individuazione e validazione di siti ipogei. La collaborazione con la SSI è proseguita anche al di là delle date formalizzate dall'accordo Ipodata, concluso nel 2005, e tuttora si stanno valutando alcuni siti precedentemente o recentemente segnalati.

L'esperimento della Val Ridanna (BZ)

All'inizio del 2006 è stato segnalato il sito della ex miniera della Val Ridanna-Monteneve (BZ). Il complesso geologico di Monteneve, ad Ovest di Vipiteno e che arriva fino al confine austriaco, forma un arco che giace sopra al basamento cristallino dell'Ötztal-Breone. È composto da sedimenti metamorfici della Serie di Monteneve (micascisti, calcescisti, marmi, quarziti ecc.). A circa 2000 m s.l.m. esiste un sistema di gallerie artificiali facenti parte di una vecchia miniera di argento, piombo e zinco ora adibita a museo minerario. Il primo sopralluogo INGV nella ex miniera è avvenuto nella primavera

2006. La profondità delle gallerie, la presenza di gallerie cieche e di roccia affiorante, uno spessore di roccia sovrastante fino a 400 metri e la grande distanza dalle principali sorgenti di rumore sismico hanno indotto all'installazione di una stazione temporanea per un test di rumore (con sola registrazione in situ), in vista di una possibile installazione permanente.

Per questo esperimento è stata usata la strumentazione di una tipica stazione della rete MedNet, la rete sismica EuroMediterranea equipaggiata di sensori a larga banda. In particolare sono stati usati un sismometro VBB Strekeisen, modello STS2 (Figura 6) e un acquirente (apparato di registrazione dati) Quanterra a 24 bit, modello Q730. Nella figura 6, le foto a e b mostrano il sismometro con e senza schermo. La base di granito su cui poggia il sismometro è a sua volta poggiata su un pilastro di cemento accoppiato alla roccia.

Dopo alcune prove estive non andate in porto per problemi di alimentazione elettrica, il test, con dati registrati in continuo, ha avuto luogo dal 26 settembre al 17 ottobre 2006. I risultati del test sono ben evidenziati dallo spettro di rumore sismico di figura 7, calcolato sulla media del rumore di 13 giorni intorno al 10 ottobre (dal 4 al 16 ottobre). Le curve rappresentano il livello del rumore sismico lungo le tre direzioni del moto: in blu verticale, in verde NS ed in fucsia EW. Anche qui, per riferimento, sono riportati in nero i modelli di minimo e massimo rumore sismico (PETERSON, 1993; in nero, in basso ed in alto). Si nota che la stazione è caratterizzata da un rumore assai basso, molto

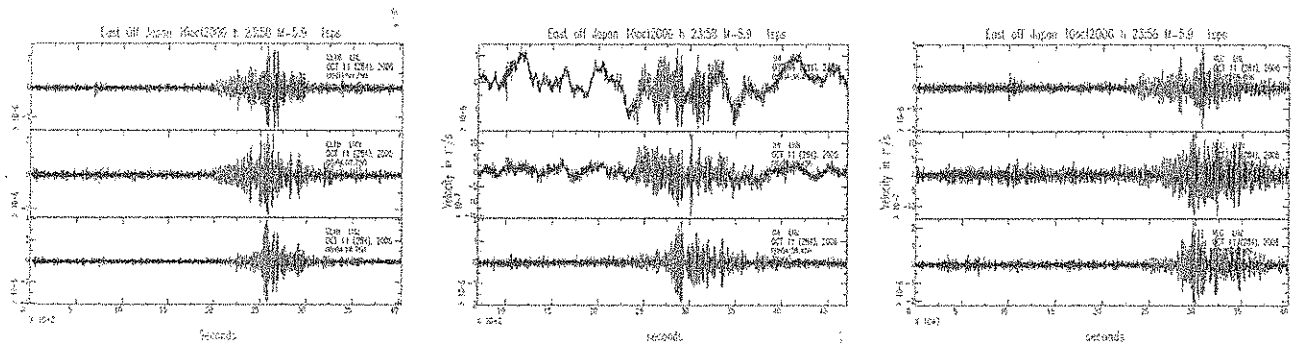


Fig. 9: registrazioni del terremoto M=5.9 del 10/10/2006 nell'Oceano Pacifico (vedi testo).
 Fig. 9: seismograms of the 10/10/2006 M=5.9 Pacific Ocean earthquake.

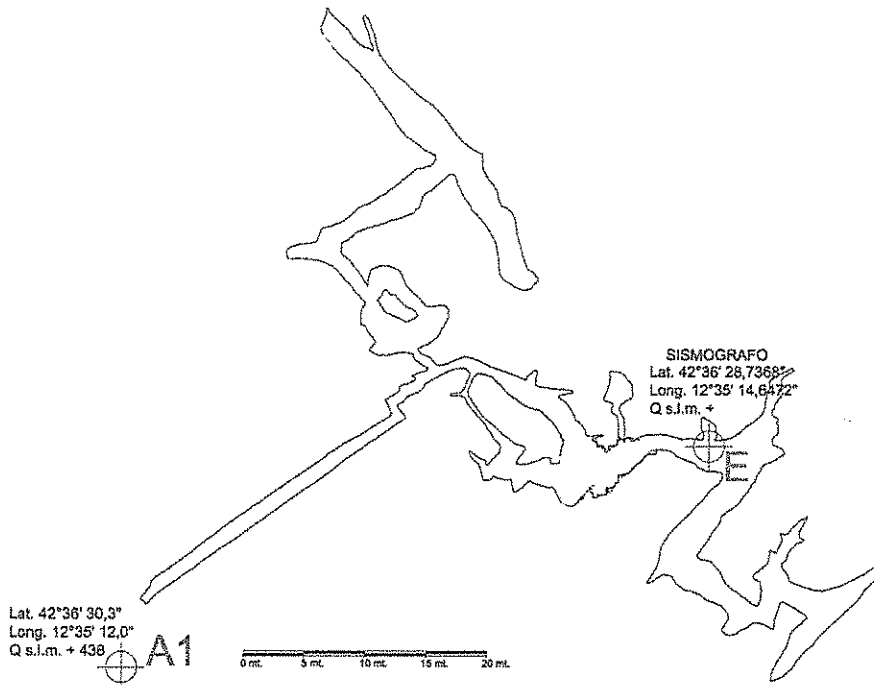


Fig. 10: rilievo della Grotta Eolica a Cesi (TR) con evidenziata la stazione sismica ipogea (punto E).
 Fig. 10: Eolica Cave survey (Cesi, Terni province); position E indicates the seismic station site.

vicino al modello di minimo e ben al di sotto, ad esempio, del livello della stazione FIAM in figura 5. Risulta interessante, inoltre, confrontare i diagrammi di figura 7 con i diagrammi del database spettrale MedNet (su http://mednet.rm.ingv.it/monthly_noise.php). Nel database, selezionando lo stesso periodo dell'anno o periodi migliori come i mesi estivi, non si trova per nessuna stazione alcun diagramma con livelli di rumore così bassi (eccetto su piccolissimi intervalli di frequenza nella zona dell'attività marina che dipendono sostanzialmente dallo stato del Mediterraneo e/o dell'Atlantico), pur essendo le stazioni MedNet caratterizzate da un rumore sismico in media minore delle altre stazioni italiane. In realtà non risulta ancora esistere in Italia un'altra stazione sismica che produca un diagramma simile a quello di fig. 7. Con ogni probabilità il sito della miniera Ridanna-Monteneve è il migliore tra tutte le centinaia di stazioni italiane finora installate o indagate.

Ridanna: piccoli terremoti locali

Il basso rumore sismico consente di registrare fedelmente anche piccoli terremoti locali. In figura 8 si riportano le registrazioni del moto verticale, EW e NS di

due lievi terremoti avvenuti il 17 ottobre 2006, alle ore 08:42 e alle 09:00. Sebbene il primo (a) abbia epicentro distante 80 km dalla stazione ed abbia magnitudo piccola (M=1.8) tale da non essere percepito dalla popolazione, è stato registrato perfettamente. Il secondo (b), a quasi 100 km di distanza, ha addirittura magnitudo inferiore ad 1 ed è stato comunque ben registrato dalla stazione.

Ridanna: terremoti lontani (telesismi)

La stazione registra molto bene anche i telesismi. La figura 9 (a, b, c) mostra il terremoto del 10/10/2006 h 23:58 UTC, ad Est del Giappone. I sismogrammi di Ridanna (figura 9a) mostrano un miglior rapporto

segnale/rumore rispetto alle altre due stazioni di Trieste e di Villacollemandina (LU) in Garfagnana (rispettivamente figura 9b e 9c).

Ridanna: problemi tecnici e logistici

Benché i risultati abbiano indicato l'assoluta bontà del sito non è stato ancora possibile, per motivi logistici, economici e di trasmissione dati, installare una stazione permanente nella ex miniera.

In particolare, poiché le montagne circostanti rendono difficile una trasmissione satellitare, la difficoltà è duplice: far viaggiare il segnale lungo 3,5 km di gallerie, curve compresse e, una volta usciti dalle gallerie, inviare il segnale a valle fino al primo posto utile per trasmetterlo a Roma.

Fino ad ora il progetto è tenuto in stato di attesa. Quando sarà a disposizione una tecnologia affidabile ed a basso costo per la trasmissione in galleria e verso valle dei dati a larga banda, il sito sarà certamente ripreso in considerazione, data la sua eccellenza.



Fig. 11: la parte ipogea della stazione sismica di Cesi (TR): a) a sinistra, il sismometro prima della schermatura provvisoria; b) a destra, l'apparato elettronico di alimentazione e di registrazione e trasmissione del segnale sismico (foto P. Casale).

Fig. 11: the seismic acquisition system into the Eolica cave (Cesi): a) on the left, the seismometer before the shielding; b) on the right, the digital acquisition system with its power box (photo P. Casale).

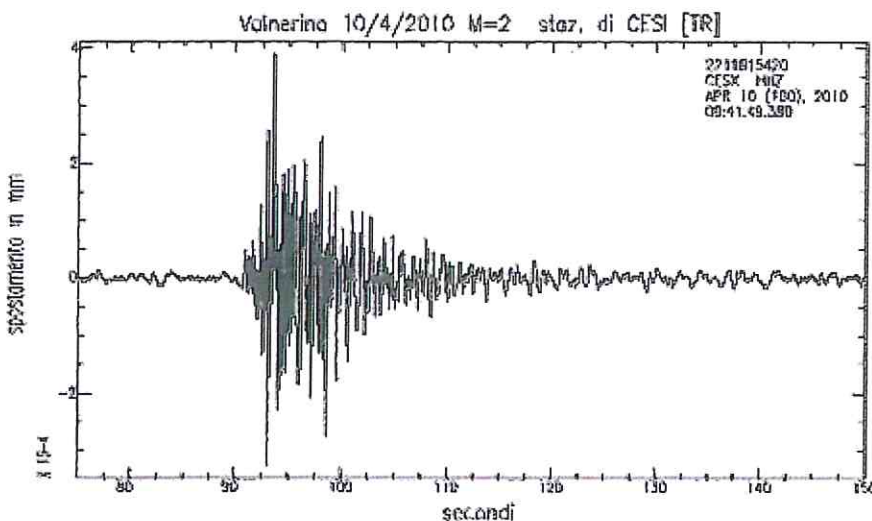


Fig. 12: terremoto umbro in Valnerina, registrato alla stazione di Cesi (vedi testo).

Fig. 12: Umbria region earthquake in Valnerina as recorded at Cesi station.

La stazione sismica di CESI (TR)

Alla fine del 2007 si sono stabiliti i primi contatti tra INGV, SSI e Gruppo Speleologico delle Terre Arnolfe (GSTA) al fine di individuare un sito nelle grotte della provincia di Terni. Dopo i primi sopralluoghi ed alcuni test, si è deciso di optare per una installazione permanente nella Grotta Eolica (U 62) di Cesi, un comune pochi Km ad ovest di Terni. La cavità, in questo caso naturale, si trova ad un'altezza di poco più di 400 m s.l.m. e vi si accede da un palazzo storico tramite un passaggio artificiale lungo oltre 30 m (fig. 10). La grotta si sviluppa nella formazione rocciosa del Calcare Massiccio del Lias inferiore (era Mesozoica) e sono presenti all'interno numerose concrezioni. Alcuni stretti meandri ad andamento verticale sono stati probabilmente scavati per azione geotermale, ossia per corrosione di acqua solfurea che, da un bacino idrico posto più in basso, risale verso l'alto. Nella parte Est della grotta si trova una zona cieca rialzata che è stata scelta per l'installazione del sismometro. I lavori di preparazione del sito sono iniziati nella primavera del 2008 e la stazione sismica è stata installata in estate. La strumentazione pre-

sente nella stazione è composta da un sismometro Trillium T240 (fig. 11a), attualmente con schermatura definitiva classica in metallo e materiale termoisolante ed un acquirente GAIA, di fabbricazione INGV (fig. 11b). L'alimentazione elettrica proviene dall'edificio soprastante mentre il segnale sismico viene inviato a Roma tramite sistema satellitare.

Pur trovandosi pochi metri sotto a un centro abitato, il sito di Cesi è stato scelto perché, oltre ad essere in un ipogeo, nell'area il traffico automobilistico è ridottissimo, presente solo saltuariamente e solo in limitate zone. Il sito è inoltre sufficientemente distante da ferrovie e strade ad alto scorrimento ed è, infine, quasi equidistante dai mari Tir-

reno ed Adriatico. Fin dalle prime registrazioni, ancor prima della schermatura definitiva del sismometro, il sito si è dimostrato di buona qualità. Successivamente i risultati hanno confermato la validità del sito. Ad eccezione di una parte ad elevata frequenza, il livello di rumore di Cesi è più che accettabile: nella figura 12 è mostrata la buona registrazione di un terremoto locale ad oltre 30 km di distanza. La magnitudo è pari a 2.0 e normalmente un simile terremoto non viene avvertito dalla popolazione. Considerando la distanza e la bassa magnitudo, la stazione di Cesi mostra un buon rapporto Segnale/Rumore cioè una buona sensibilità verso le onde sismiche ed una certa attenuazione dei fenomeni di disturbo.

Va infine notato che la stazione ipogea di Cesi (sigla CESX) oltre a fornire dati di buona qualità, riveste una certa importanza geografica in termini di copertura del territorio da parte della Rete Sismica Nazionale nell'Italia Centrale. Cesi infatti colma una precedente lacuna nella zona ad Ovest di Terni, come mostrato nella figura 13: la stella bianca rappresenta l'epicentro di un piccolo terremoto avvenuto nei Monti Reatini il 24 ottobre 2009, i quadratini rossi indicano le stazioni che hanno registrato



Fig. 13: il lieve evento sismico del 24/10/2009 ($M=2.6$). La stazione di Cesi è l'unica ad ovest dell'epicentro (stella bianca) ad aver registrato il terremoto (copertura del Gap azimutale).
 Fig. 13: 24/10/2009 $M 2.6$ earthquake, Cesi station is the only one which recorded the seismic event on the West side of the epicenter (indicated by a white star) allowing to fill the Azimuthal gap.

il terremoto e partecipato alla determinazione dell'epicentro (localizzazione). Come si vede, Cesi, data la sua buona qualità, è stata l'unica stazione ad Ovest dell'epicentro ad aver fornito una registrazione utile del terremoto ed è risultata perciò fondamentale per la geometria della localizzazione del terremoto stesso.

La stazione sismica di Maissana (SP)

L'attività di individuazione e validazione di siti è continuata nel 2008 con il sito di Maissana (SP) in Liguria (sigla stazione MSSA). Il sito si trova nell'Appennino Ligure, a poco più di 900 metri s.l.m., in località "il Palazzo", tra il Monte Zenone e il monte Alpe. Consiste in una galleria di una ex miniera da cui si ricavano Manganese e Diaspri, questi ultimi rocce sedimentarie composte essenzialmente da Quarzo (SiO_2) con alcune impurità. I depositi su cui poggiano gli strati di Diaspro sono composti da Ofioliti che si sono formate 150 milioni di anni fa. Le Ofioliti sono rocce del complesso dei gabbri e basalti e sono le stesse che formano oggi la Dorsale Atlantica. Nella zona calcarea superiore allo strato di Diaspro, sono presenti anche alcune grotte naturali, visitabili solo da speleologi con una certa esperienza. La galleria (CA 362 Li SP) della ex miniera ha un'apertura dalla parte del Comune di Maissana e una sul Comune di Casarza Ligure. Dal piano di carreggio orizzontale esistono dei pozzi ascendenti che conducono a livelli sovrastanti. Tutta la struttura è scavata in roccia viva. Dopo i sopralluoghi e i risultati incoraggianti del test, nell'estate 2008 sono iniziati i lavori per l'installazione di una stazione permanente, in un ipogeo con circa 30 metri di roccia sovrastante. L'installazione è stata eseguita in collaborazione con l'università di Genova. La stazione ha iniziato a funzionare a novembre 2008 ed attualmente in galleria è presente un sismometro a larga banda (Trillium 240s) con trasmissione dati via satellite. La figura 14 mostra il sismometro schermato installato nell'ipogeo. Anche in questo caso, malgrado la notevole umidità dovuta a presenza d'acqua e la relativa vicinanza alla costa, il sito si è dimostrato di



Fig. 14: il sismometro schermato nell'ipogeo di Maissana (SP) (foto M. Cattaneo).
 Fig. 14: shielded seismometer in the Maissana (La Spezia) underground cavity (photo M. Cattaneo).

buona qualità in quanto attenua notevolmente il rumore sismico; inoltre il sismometro, grazie alla schermatura e alla stabilità termica della cavità artificiale, non presenta derive termiche, come è confermato dal basso livello di rumore nella zona a bassa frequenza dello spettro in figura 15³. Anche in fig. 15 sono riportate le due curve estreme in grigio scuro che rappresentano i modelli di minimo e massimo rumore sismico (PETERSON, 1993). La linea curva nera intermedia, sovrapposta alla zona blu-verdastro, rappresenta la media (modale) del rumore sismico del sito riferita, in particolare, ad un mese intero di registrazioni nella primavera 2010. Sui medi e lunghi periodi, cioè in tutta la parte destra a bassa frequenza, con periodi da 15 secondi in su, il rumore sfiora il livello minimo.

La bontà del sito a bassa frequenza è testimoniata anche dalla buona registrazione del terremoto del 30 agosto 2012, di magnitudo pari a 5.4 avvenuto nella Dorsale Atlantica a Nord dell'Islanda: dal sismogramma in figura 16 si osservano perfettamente le onde con periodo di 30-40 secondi nella parte di sinistra, a partire circa dal secondo 400 della registrazione.

La stazione sismica di Pietra Roja (BN)

Il sito di Pietra Roja (BN) nel Matese è stato segnalato nel 2005 dalla SSI ma in realtà era già stato indagato all'inizio del 2004 da ricercatori INGV in collaborazione con geologi locali. Viene comunque qui riportato come ulte-

³ Malgrado le apparenze, la figura mostra uno spettro di rumore del tutto comparabile con i precedenti in quanto, in questa figura, sull'asse orizzontale è rappresentato il periodo di oscillazione, espresso in secondi, che notoriamente è l'inverso della frequenza.

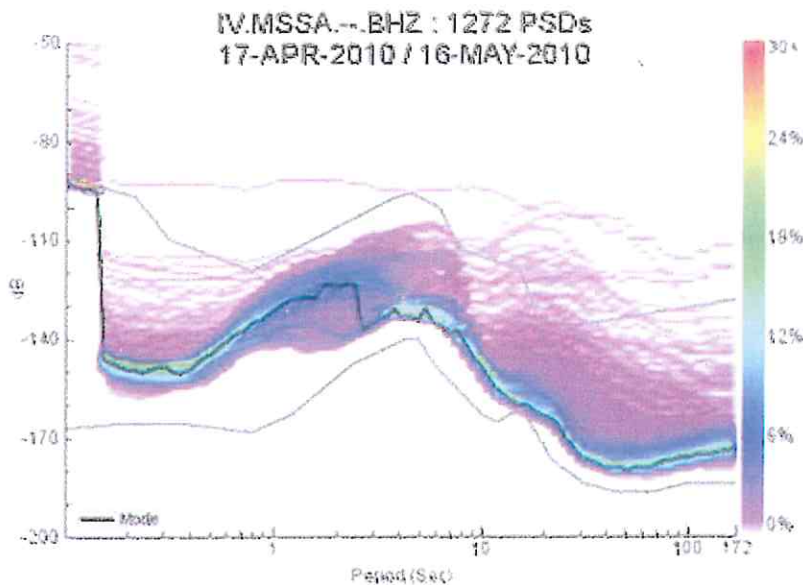


Fig. 15: diagramma del rumore sismico nella stazione di Maissana.

Fig. 15: seismic noise diagram at the Maissana station.

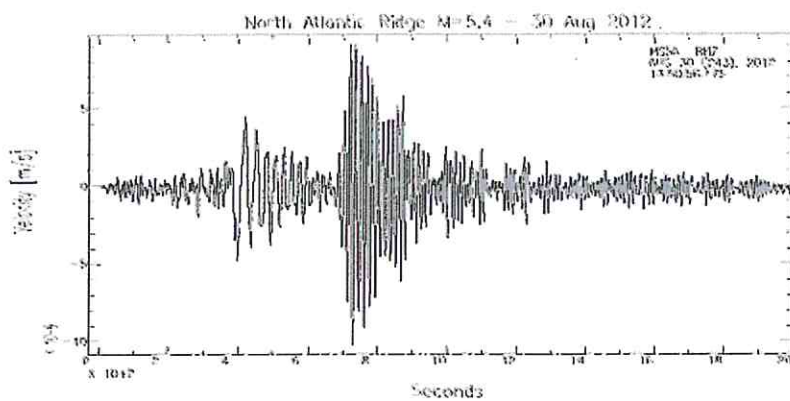


Fig. 16: terremoto M=5.4 avvenuto il 30 Agosto 2012 nella dorsale Atlantica, a Nord dell'Islanda. Registrazione alla stazione ipogea di Maissana (SP).

Fig. 16: 30/08/2012 M=5.4 earthquake localized in the Atlantic Mid Oceanic Ridge, North of Iceland, as recorded at Maissana underground station.

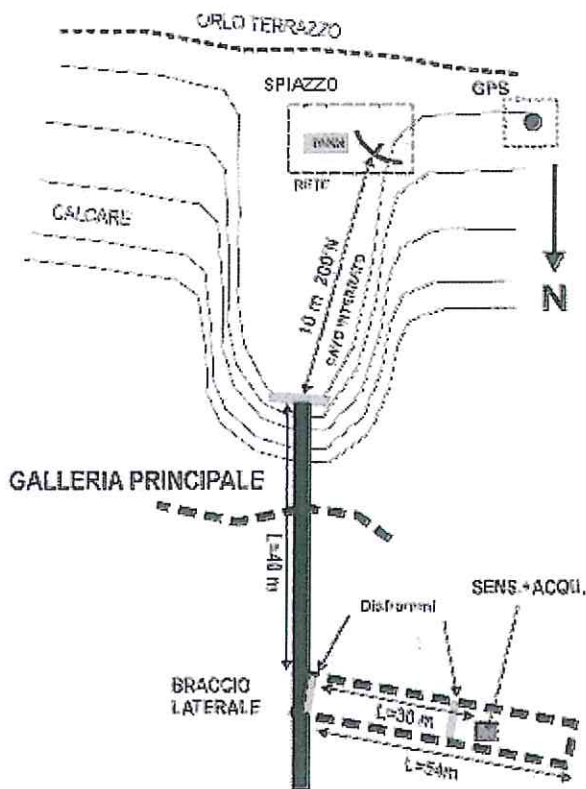


Fig. 17: planimetria delle gallerie del sito di Pietra Roja con riportata la posizione del sensore sismometrico e del resto della strumentazione.

Fig. 17: Pietra Roja cave plan, the positions of the seismometer and of the acquisition system are indicated.

riore esempio di migliore segnale sismico negli ipogei, come si vedrà tra breve. Situata in una ex miniera di Bauxite, su calcari di piattaforma dell'Unità Matese-Monte Maggiore, la cavità si apre lungo le pendici del monte Mutria, a circa 1000 metri s.l.m. Superato l'ingresso, si accede ad una galleria di 150 m di sviluppo caratterizzata, lungo il percorso, da tre rami laterali a fondo cieco (figura 17). Dopo i primi sopralluoghi, nel ramo laterale più interno è stata posta temporaneamente una stazione per eseguire un test di rumore consistente in due registrazioni fatte a distanza di qualche settimana una dall'altra tra marzo ed aprile 2004. Successivamente, ritenuto il sito idoneo, sono seguiti ulteriori sopralluoghi per definire la progettazione della stazione in accordo col Comune di Cusano Mutri in quanto la cavità è nella Zona B del Parco Nazionale del Matese. Ottenuti i necessari permessi, nel 2006 sono iniziati i lavori e la stazione è stata installata nel Gennaio 2007.

Trovandosi in zona ad elevata pericolosità sismica, questo sito è stato attrezzato con due sismometri, uno a larga banda e l'altro (un accelerometro, cilindretto nero in fig. 18) più idoneo in caso di forte terremoto a poca distanza. La figura 18 mostra i due sismometri, una parte dell'elettronica di stazione e, in fondo, lo schermo termico smontato per l'occasione.

La buona qualità del sito è stata confermata anche dopo l'installazione definitiva. A titolo di esempio si riporta in figura 19 il confronto tra le registrazioni di due stazioni di un piccolo terremoto locale (M=1.6) verificatosi il 12 aprile 2012 e non risentito dalla popolazione. PTRJ (in alto), ad una distanza di 21 km dall'epicentro, ha ben registrato il ter-

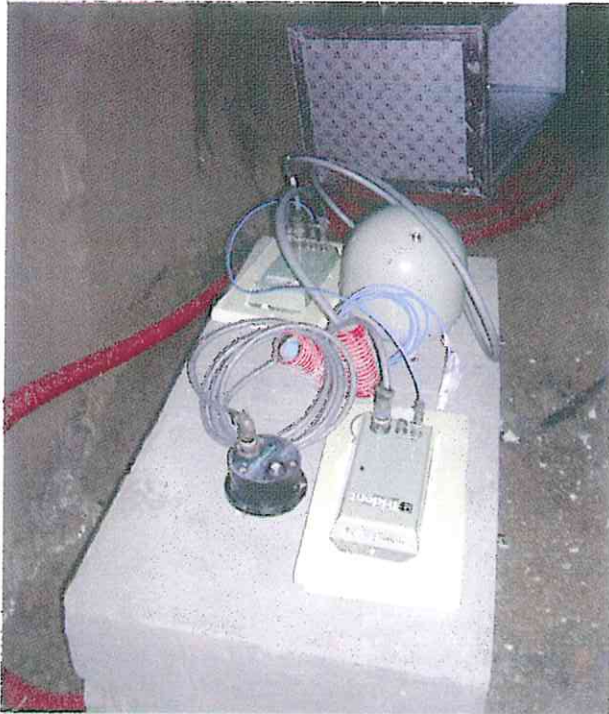


Fig. 18: gli strumenti della stazione sismica di Pietra Roja (BN). In primo piano l'accelerometro (nero) e dietro il sismometro VBB (verde); le due piastre verdi fanno parte dell'elettronica di stazione mentre in fondo è visibile lo schermo termico rimosso per l'occasione (foto P. Casale).

Fig. 18: Pietra Roja seismic instrumentation: in the foreground the accelerometer (black), just behind the Very Broad Band seismometer (green); also in green the two digitizer-acquisition systems; in the back, the heat shielding cover. (photo Casale)

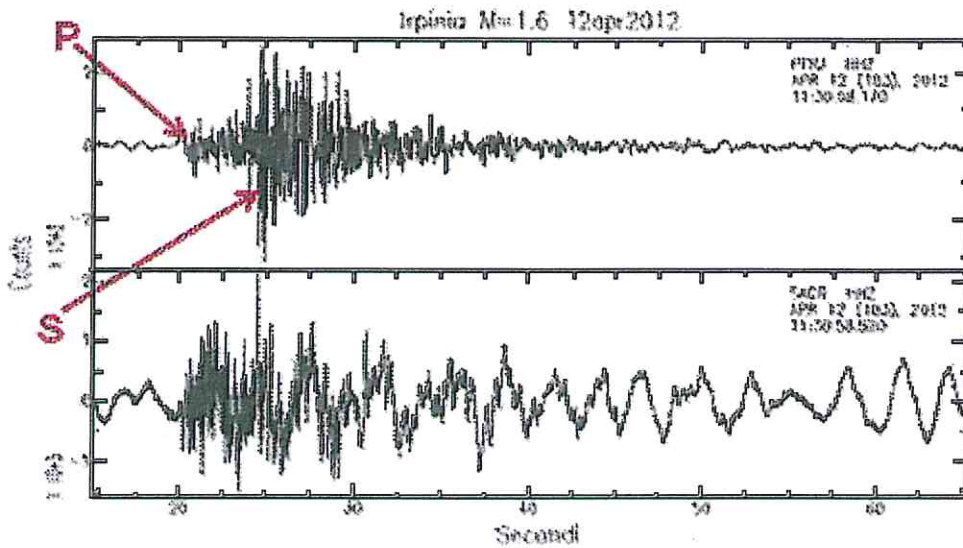


Fig. 19: registrazioni del piccolo terremoto Irpinio del 12 Aprile 2012 (M=1.6). In alto la stazione ipogea di Pietra Roja, in basso la vicina stazione non ipogea di Santa Croce del Sannio (vedi testo).

Fig. 19: seismograms of a low Magnitude event in the Benevento area (12/04/2012, M=1.6).

Above records from Pietra-Roja underground station, below records from a surface nearby station (Santa Croce del Sannio).

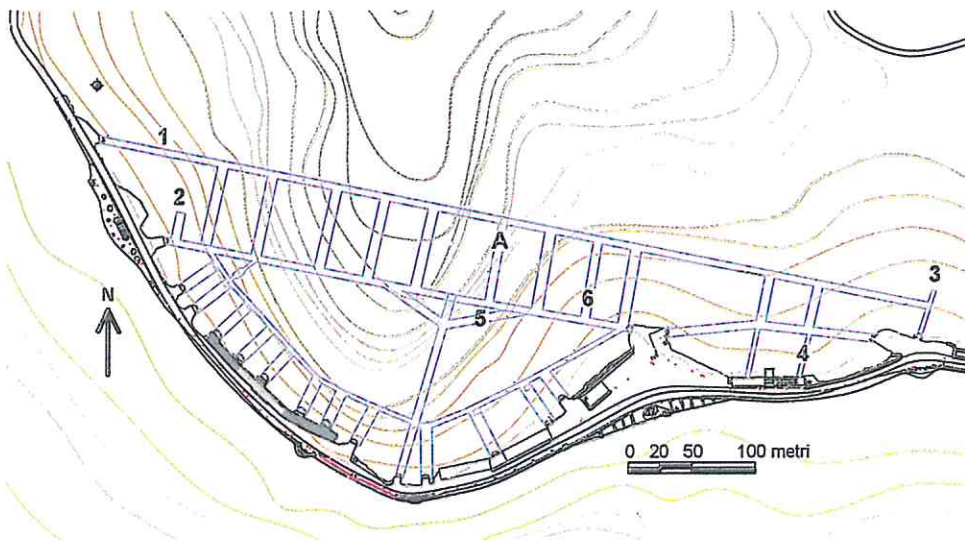


Fig. 20: planimetria del sistema di gallerie interne del Monte Soratte (RM). Sono indicati i siti analizzati per installare la stazione sismica (grafica di G. Paolucci, mod. C. Germani).

Fig. 20: Plan of the galleries of Monte Soratte (Roma Province). Possible seismic station sites are indicated.

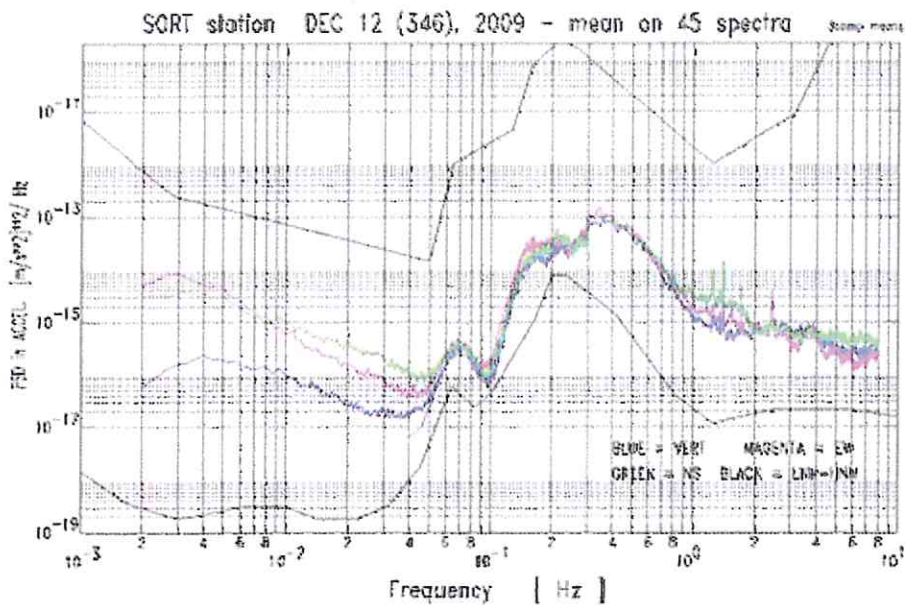


Fig. 21: andamento del rumore sismico al variare della frequenza nelle gallerie del M. Soratte (dic. 2009). In blu la componente verticale.

Fig. 21: seismic noise versus frequency in Monte Soratte galleries (December 2009). The vertical component is denoted by blue color.

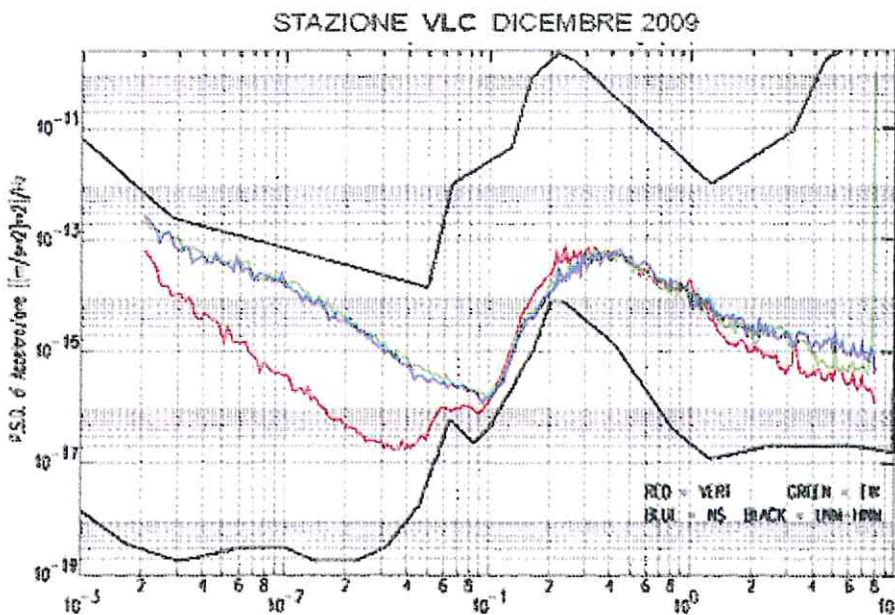


Fig. 22: rumore sismico al variare della frequenza alla stazione VLC (Lucca, Toscana), non ipogea. In rosso la componente verticale.

Fig. 22: seismic noise versus frequency in the surface station VLC (Lucca, Tuscany). The vertical component is denoted by red color.

remoto mentre la stazione di S. Croce del Sannio (SACR, in basso), che dista dall'epicentro circa 19 km, è affetta da un rumore sismico ben maggiore. Per PTRJ, inoltre, si distinguono chiaramente gli arrivi delle onde Prime (P) e Seconde (S) mentre il riconoscimento di tali onde è più difficile per SACR, in particolare per l'arrivo dell'onda S.

Sviluppi futuri: l'imminente stazione sismica al Monte Soratte (RM)

Il massiccio calcareo del Monte Soratte (RM), alto 691 metri, si trova pochi chilometri a nord di Roma. Nel 1937 vi furono intrapresi notevoli lavori di scavo per la realizzazione di un rifugio antiaereo destinato allo Stato Maggiore del Regio Esercito che, verso la fine della Seconda Guerra Mondiale, divenne sede del comando supremo delle forze di occupazione tedesche. Negli anni '60 nelle gallerie del Soratte fu installato un importante complesso militare della NATO e iniziò anche la costruzione di un bunker antiatomico, protrattasi fino al 1972

ma mai portata a termine. Da allora le gallerie (CA 459 La RM) sono rimaste in stato di abbandono. Negli ultimi anni l'amministrazione di S. Oreste, il comune nel cui territorio si trova il Monte Soratte, sta cercando di valorizzare l'ex bunker ed in generale le gallerie. Nel novembre 2009 l'INGV, tramite la SSI, ha contattato il sindaco di S. Oreste per valutare la possibilità di installare una stazione sismica nelle gallerie situate all'interno del Monte Soratte (figura 20). L'Amministrazione si è mostrata favorevole e, nei successivi sviluppi, è stata temporaneamente installata una stazione VBB per effettuare misure di rumore sismico in una galleria interna (punto A di figura 20). In questo caso è stata usata una strumentazione Nanometrics: sismometro Trillium 240s e acquirettore Taurus. Questo test è durato dall'1 al 15 dicembre 2009.

I sismogrammi analizzati sono risultati di buona qualità e non sembrano influenzati dal passaggio dei convogli della vicina linea ad Alta Velocità Roma-Firenze, i cui binari si trovano a circa 1 km in linea retta dal sismometro. Dagli spezzoni di sismogrammi sono stati prodotti spettri di rumore mediati su 45 files presi a campione durante un

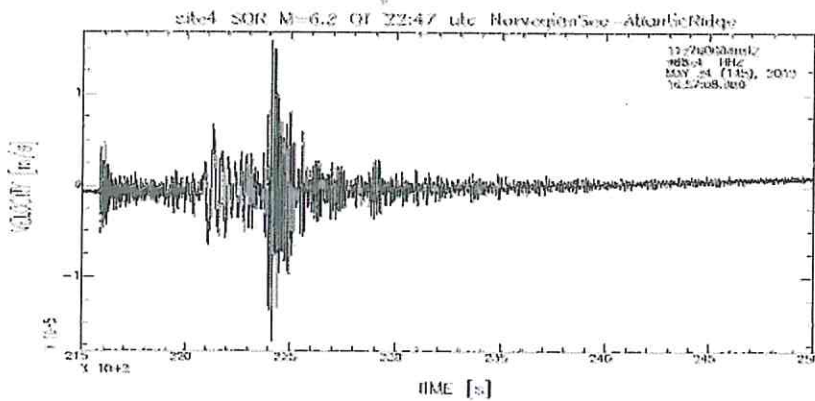


Fig. 23: registrazione del terremoto M=6.2 del 24/05/2012 nella dorsale Atlantica (mar di Norvegia) effettuata al sito 4 del Monte Soratte.

Fig. 23: 24/05/2012 M=6.2 earthquake localized in the Atlantic Mid Oceanic Ridge, Norvegia Sea, as recorded inside Monte Soratte galleries, site 4.

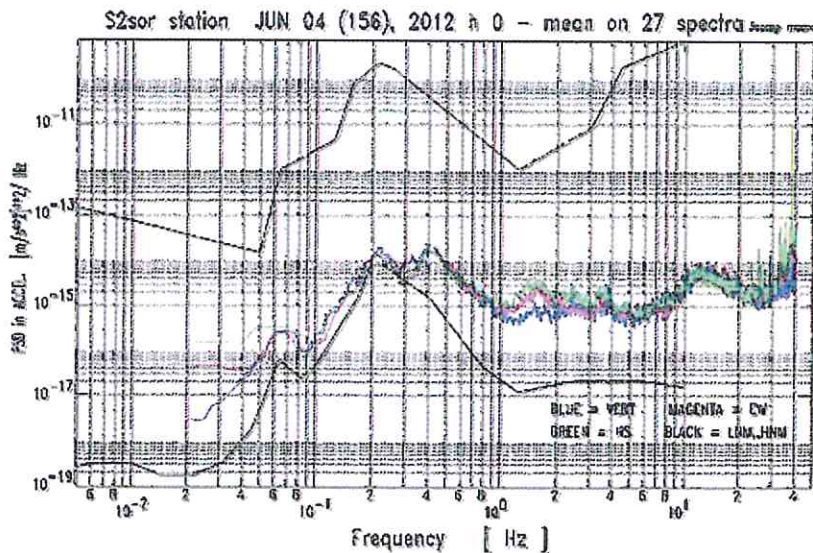


Fig. 24: rumore sismico al variare della frequenza registrato al sito 2 (galleria cieca) del Monte Soratte.

Fig. 24: seismic noise versus frequency in a blind gallery, site 2, of Monte Soratte.

periodo di 5 gg, dal 10 al 14 dicembre 2009, quindi centrati intorno al 12 dicembre (fig. 21). I diagrammi spettrali sono buoni se confrontati con i diagrammi di altre stazioni VBB nello stesso periodo di dicembre. In particolare gli spettri di SORT (Soratte) sono confrontabili o migliori di quelli di altre stazioni VBB dell'Italia Centrale. Il primo confronto, come per la stazione in Val Ridanna, è con stazioni simili della rete MedNet, in questo caso nell'Italia centrale: CII (Carovilli, IS), AQU (L'Aquila), VLC (Villacollemandina, LU). I diagrammi sono visibili on line al sito http://mednet.rm.ingv.it/monthly_noise.php. Il livello di rumore al Monte Soratte è in genere inferiore alle altre stazioni tipo VBB nel mese di dicembre. A titolo di esempio riportiamo il diagramma del mese di dicembre della stazione di VLC, in Garfagnana (LU). Il confronto evidenzia come SORT presenti un rumore sismico quasi ovunque inferiore a VLC, tranne un brevissimo intervallo nella zona centrale soggetta all'attività marina (figura 22).

Come per la Val Ridanna, si può inoltre estendere il confronto dei diagrammi di rumore a tutte le stazioni MedNet Italiane in cui la distanza dal mare non sia più che doppia rispetto a quella del Monte Soratte: CUC (Castro-

cucco, CS), VAE (Valguarnera, EN), AIO (Antillo, ME), CLTB (Caltabellotta, AG), TIP (Timpagrande, KR), VSL (Villasalto, CA), TRI (Trieste) e anche WDD a Malta. In pratica, riguardo al mese di Dicembre ed a tutto il periodo invernale, solo BNI (Bardonecchia, TO, ipogea) e TUE (Stuetta, SO), stazioni molto più distanti dal mare, presentano un rumore sismico sensibilmente inferiore.

Si può infine confrontare lo spettro con altre stazioni dell'Italia centrale che hanno strumentazione simile. Ad esempio la precedente figura 4 mostra lo spettro medio del mese di Ottobre (quindi in teoria migliore) per la stazione Reatina di FIAM, a circa 100 Km di distanza. Anche in questo caso, SORT vince il confronto. Come illustrato nel paragrafo del rumore sismico, tutte le stazioni diminuiscono sensibilmente il proprio rumore nel periodo estivo e lo stesso ci si aspetta che succeda anche per il sito del Soratte.

Per motivi logistici ed in parte economici non è stato possibile iniziare subito i lavori per installare una stazione sismica nel sito esatto dove era stato eseguito il test. Per gli stessi motivi, nella primavera 2012, sono stati valutati altri 6 siti nel sistema di gallerie e tra questi sono stati selezionati tre siti in cui si è ripetuto il test, il tutto a poche centinaia di metri (o meno) dal sito del 2009 ma in condizioni logistiche più agevoli per una installazione permanente. I risultati sono incoraggianti perché i diagrammi mostrano un rumore accettabile anche nei siti recentemente indagati (2, 4 e 5 in figura 20). Ad esempio il sito 4, il

peggiore dei tre per rumore sismico, ha comunque ben registrato il terremoto M=6.2 del 24 Maggio 2012 avvenuto nella dorsale Atlantica, a Nord Est dell'Islanda. Come mostrato in figura 23, dopo i primi 500 secondi dall'inizio del terremoto (1 tacca = 100 sec.), si distinguono chiaramente le onde a lungo periodo (40-50 sec) confermando il buon rapporto Segnale/rumore alle basse frequenze.

Anche gli spettri di rumore confermano la validità dei nuovi siti del bunker, come è mostrato in figura 24 in cui i diagrammi a colori mostrano il livello di rumore nel punto 2 di fig. 20. In questo caso, fortunatamente, l'unica banda dove il rumore cresce sensibilmente è quella a frequenza superiore a 10 Hz, che ha interesse solo in ristrette applicazioni sismologiche. Sono stati anche confrontati gli spettri del 4 giugno e giorni seguenti dei siti 2, 4 e 5 di fig. 20. Come detto, il sito 4 è risultato meno buono, mentre il sito 5 presenta un andamento del rumore simile al 2, con un miglioramento nella parte superiore a 4 Hz. La differenza però non è tale da giustificare una installazione in un sito logisticamente più complicato, quindi per il novembre 2012 è previsto l'inizio dei lavori per l'installazione di una stazione sismica nel sito 2 di figura 20.

Conclusioni

La collaborazione tra Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e Società Speleologica Italiana, che è proseguita anche al di là delle date formalizzate dall'accordo Ipodata concluso nel 2006, ha portato alla segnalazione di molti siti ipogei, alcuni dei quali sono risultati dai test effettuati in situ, con livelli di rumore sismico bassi e adatti ad ospitare la migliore strumentazione oggi esistente: sismometri ad elevata sensibilità e a larga banda. L'installazione in ipogeo di alcune stazioni sismiche a larga banda, seppur attualmente in numero minore alle aspettative, è da considerare un risultato di eccellenza in quanto consente migliori registrazioni dei terremoti, con interessanti ricadute sia nel campo della ricerca sia in quello del monitoraggio sismico volto alla prevenzione dal rischio.

In alcuni casi, problemi logistici ancora non risolvibili senza cospicui investimenti non hanno permesso di installare immediatamente una stazione sismica, ma in questi casi il tempo gioca sicuramente a favore.

L'obiettivo è stato quindi raggiunto e, anzi, si auspica una continuazione della collaborazione.

Ringraziamenti

Oltre alla Commissione Cavità Artificiali della SSI, desideriamo ringraziare tutti gli speleologi e le guide che ci hanno segnalato dei possibili siti e/o ci hanno accompagnato nei sopralluoghi, in particolare Marco Meneghini, Carlo Tessitore e tutto il GSTA di Cesi (TR), Livio Ferialdi, Sossio Del Prete, Massimiliano Zago, Roberto Bixio, Herman Sholtzhorn e, per gli approfondimenti sul sito di Cesi, il Gruppo Grotte Brescia "Corrado Allegretti". Per il sito di Pietra Roja ringraziamo inoltre Raffaele Di Stefano, Luigi Improta, S. Civeillo, Paola Baccheschi, Antonello Lala.

Per l'aiuto durante tutta l'attività ringraziamo i direttori, i ricercatori, i tecnologi e i tecnici INGV che hanno collaborato ai test e alle installazioni definitive: L. Mondiali, M. Cattaneo, A. Delladio, G. Selvaggi, M. Olivieri, S. Mazza, S. Del Mese, A. Govoni, C. Salvaterra, L. Salvaterra, U. Piccolini, G. Colasanti, S. Silvestri, E. Giandomenico, M. Vallocchia, L. Giovani. Un ringraziamento particolare ai tecnici (precari) della sede INGV di Grotta-minarda per l'installazione della stazione di Pietra Roja. Un sentito ringraziamento ad Augusto Bucci, per la costruzione di tutti gli schermi per i sismometri a larga banda.

Bibliografia

- BROUCKE R.A., ZURN W.E., SLICHTER L.B., 1972, *Lunar Tidal Acceleration on a Rigid Earth*. Geophysical monograph series, vol.16, ed. American Geophysical Union, 1972.
- DARBYSHIRE J., OKEKE E.O., 1969, *A study of primary and secondary microseism recorded in Anglesey*. Geophysics Journal n. 17, pp. 63-92.
- FIX J.E., 1972, *Ambient Earth motion in the period range from 0.1 to 2560 sec*. B.S.S.A., n. 62, pp. 1753-1760.
- GERMANI C., 2005, *Il progetto Ipodata, Nota preliminare*. Opera Ipogea, n. 1-2/2005, Società Speleologica Italiana, pp 75-77.

HOLCOMB L.G., 1989, *Seismic Noise*. The Encyclopedia of solid Earth geophysics, ed. D.E. James, Van Nostrand Reinhold, 1989.

HOLTON J.R., 1972, *An introduction to dynamic meteorology*. Acad. Press., 1972.

OLIVIERI M., BUCCI A., CASALE P., DELLADIO A., LAUCIANI V., MANDIELLO A., MAZZA S., PERFETTI M., PINTORE S., QUINTILIANI M., SCOGNAMILGIO L., TOZZI M., 2009, *MEDNET NETWORK: 2008 Status report (in italiano)*. Rapporti Tecnici INGV, anno 2009, n. 96.

PETERSON J., 1993, *Observations and Modeling of Seismic Background Noise*. Open-File Report 93-322, U.S. Department of Interior, U.S. Geological Survey, Albuquerque, NM, USA, 1993.

SORRELS G.G., 1971, *A preliminary investigation into the relationship between Long-Period Seismic noise and Local fluctuations in the atmospheric pressure field*. Geophys. Journal Royal Astr. Soc., n.26/1971, pp. 71-82.

STROBACH K., 1965, *Origin and properties of microseism from the standpoint of oscillator theory*. B.S.S.A., 55, pp. 365-390.