

**RENDICONTO SULL'ATTIVITA' DI SORVEGLIANZA SVOLTA NEL 2009
(1 Gennaio – 31 Dicembre 2009)**

MISURE GRAVIMETRICHE AI CAMPI FLEGREI

Giovanna BERRINO, Vincenzo d'ERRICO & Giuseppe RICCIARDI

8 aprile 2010

Nel 2009 sono state svolte, ai Campi Flegrei, due campagne gravimetriche a cavallo dei mesi di febbraio e marzo la prima e a novembre la seconda. Le misure sono state rilevate sull'intera rete che è costituita da 28 vertici (**figura 1**), tutti posizionati in corrispondenza, o in prossimità, di capisaldi di livellazione e collegati alla stazione assoluta di Napoli assunta quale riferimento.

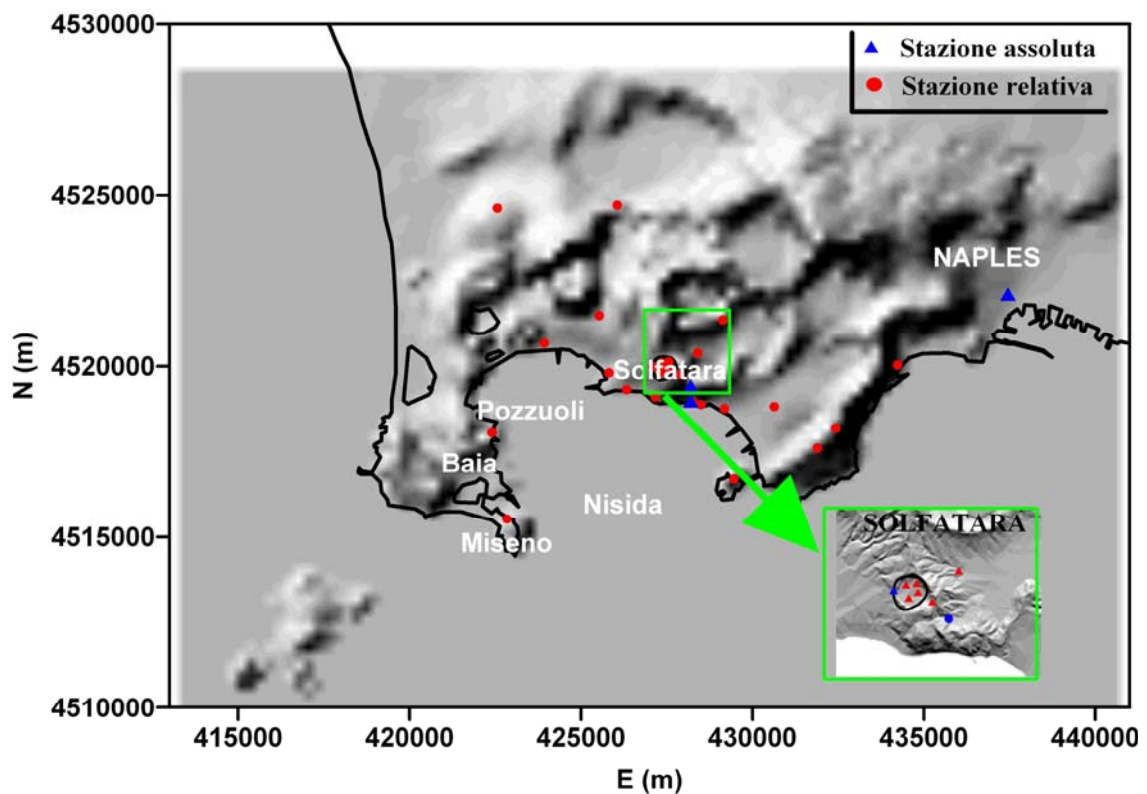


Figura 1: Rete gravimetrica ai Campi Flegrei

Alla fine del mese di marzo è stata anche condotta una campagna di gravimetria assoluta su tutte le stazioni istituite nell'area napoletana; contemporaneamente si è provveduto anche a misurare i gradienti verticali in ciascuna stazione e ad effettuare i collegamenti gravimetrici relativi tra le stazioni assolute. Ai Campi Flegrei è stata rimisurata la stazione Accademia Aeronautica, istituita nel 1998, ed è stata realizzata una nuova stazione in una galleria dimessa di una linea ferroviaria

della Soc. SEPSA, in località La Pietra, lungo la fascia costiera flegrea, dove è previsto di installare una stazione gravimetrica permanente (**figura 1**). Quest'ultima stazione è stata scelta perché ricade nell'area caratterizzata dai massimi gradienti nella distribuzione areale dei movimenti verticali del suolo, dove nel corso della crisi bradisismica 1982-1984 sono stati rilevati i maggiori residui gravimetrici, indicativi di aumento di massa. Le misure assolute, così come l'istituzione della stazione registratrice, rientrano nell'attività programmata nell'ambito del progetto "UNREST" (DPC-INGV, UR3).

Le misure assolute sono state realizzate in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Ricerche Metrologiche (INRiM) di Torino e sono state effettuate con l'utilizzo del gravimetro assoluto IMG-02 realizzato dallo stesso istituto.

Tutte le misure gravimetriche relative sono state eseguite con il gravimetro LaCoste & Romberg modello D numero 85 (LCR-D85). I risultati ottenuti, sia dalle misure assolute che dalle misure relative su rete sono di seguito illustrati e discussi.

1) Misure assolute

I valori assoluti di g misurati in tutte le stazioni, riassunti nella **Tabella I**, sono stati forniti già corretti, oltre che di effetti strumentali e di marea solida, anche degli effetti dei carichi oceanico ed atmosferico e della variazione di Polar Motion. Poiché il valore assoluto è riferito ad una quota di misura, anch' essa riportata nella **Tabella I**, al fine di rendere confrontabili i valori ottenuti con quelli forniti dalle misure relative è stata effettuata la riduzione al suolo mediante l'utilizzo del gradiente verticale di g localmente misurato (**Tabella I**).

TABELLA I

Stazione assoluta	Valore assoluto di g misurato (μGal)	Quota di misura (m)	Gradiente verticale di g dg/dh (mGal/m)	Valore assoluto di g al suolo (μGal)
Napoli Università	980 257 884 \pm 10	0.495 \pm 0.001	-0.301 \pm 0.003	980 258 033 \pm 10
Pozzuoli Accademia	980 231 187 \pm 9	0.496 \pm 0.001	-0.300 \pm 0.005	980 231 335 \pm 10
Galleria SEPSA La Pietra	980 259 843 \pm 10	0.495 \pm 0.001	-0.285 \pm 0.007	980 259 984 \pm 12

I valori ottenuti hanno mostrato che la stazione di Napoli Università, che è stata assunta come riferimento per la rete flegrea, è stabile nel tempo in quanto non è stata rilevata alcuna variazione rispetto ai valori misurati nel 1986 e nel 2003. La stabilità del riferimento è stata anche confermata indirettamente dal confronto temporale dei valori assoluti alla stazione Accademia Aeronautica, già misurate nel 1998 e nel 2003. Le variazioni di g ottenute dalle misure assolute alla stazione Accademia Aeronautica (**figura 2, cerchi blu**) mostrano, infatti, che nessuna variazione significativa si è verificata dal 1998 al 2003 mentre nel periodo 2003-2009 si rileva un aumento della gravità di 46 μGal .

La variazione osservata alla stazione Accademia Aeronautica è stata confrontata con le variazioni di g ottenute alla stessa stazione da misure relative che, ai fini del confronto, sono state corrette anche di Polar Motion. La **figura 2**, dove sono state messe a confronto le variazioni di gravità ottenute, sin dal 1998, sia da misure relative (cerchi rossi) che assolute (cerchi blu), evidenzia un'ottima concordanza tra le variazioni ottenute indipendentemente dalle due metodologie.

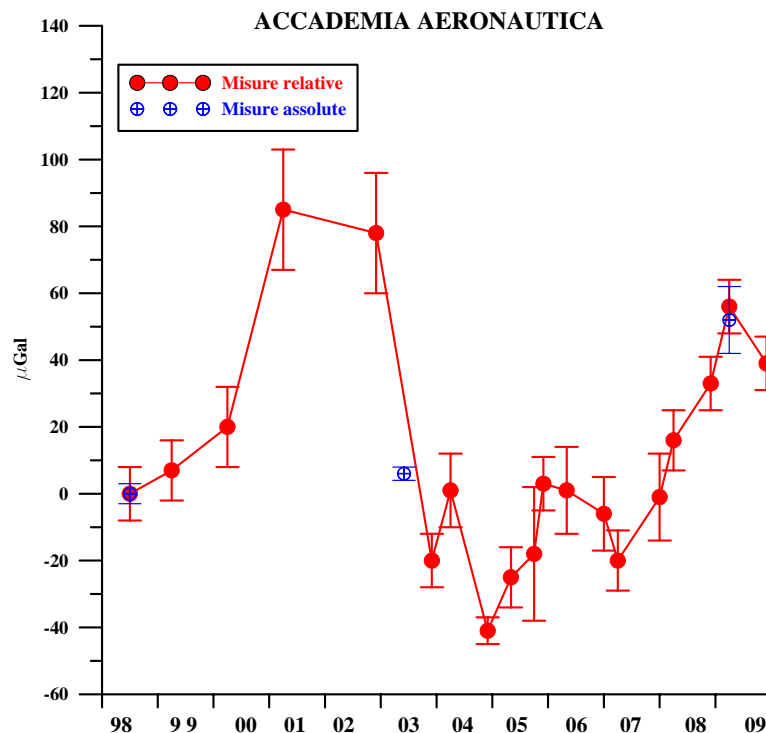


Figura 2: *Variazioni di gravità alla stazione Accademia Aeronautica, ottenute da misure relative riferite alla stazione di Napoli (cerchi pieni rossi) e dalla ripetizione delle misure assolute (cerchi blu).*

1) Misure relative

Gli errori di misura risultanti dalla compensazione in entrambe le campagne del 2009 sono pari a $\pm 8 \mu\text{Gal}$. Le differenze di gravità tra le stazioni e quella di riferimento di Napoli ottenute nelle singole campagne sono state confrontate tra loro e con quelle dell'ultima campagna condotta nel 2008 (ottobre/novembre) il cui errore medio è $\pm 8 \mu\text{Gal}$. I campi delle variazioni di gravità (**figura 3**) sono stati tracciati con un'equidistanza di $15 \mu\text{Gal}$, tenendo conto degli errori ottenuti in ciascuna campagna.

Dal confronto 11/2008-3/2009 (**figura 3a**) si evince che l'intera area flegrea è stata interessata da un aumento della gravità. Come già rilevato alla fine del 2008, sono ancora individuabili due aree separate da una fascia a variazione di gravità ai limiti della significatività statistica e che corre lungo la direttrice 'costa-Solfatara-Pisciarelli'. I valori massimi, circa $50 \mu\text{Gal}$, sono localizzati in corrispondenza della stazione "Gerolomini", nell'area di massima deformazione, e nella tratta Napoli Via Diocleziano – Piazza Esedra. Inoltre, l'area della Solfatara continua ad evidenziare un comportamento diverso dal resto dell'area flegrea e già individuato a partire dal 2003; infatti nel periodo analizzato in corrispondenza del cratere Solfatara si osservano variazioni nulle o comunque ai limiti della significatività statistica. Infine, alla stazione Accademia Aeronautica si continua ad osservare il trend di incremento di g rilevato sin dall'intervallo marzo-dicembre 2007 e che al marzo 2009 è pari a $73 \mu\text{Gal}$.

La variazione osservata alla stazione Accademia Aeronautica, come già detto in precedenza, è stata confermata dai risultati ottenuti dalla ripetizione delle misure assolute (**figura 2**).

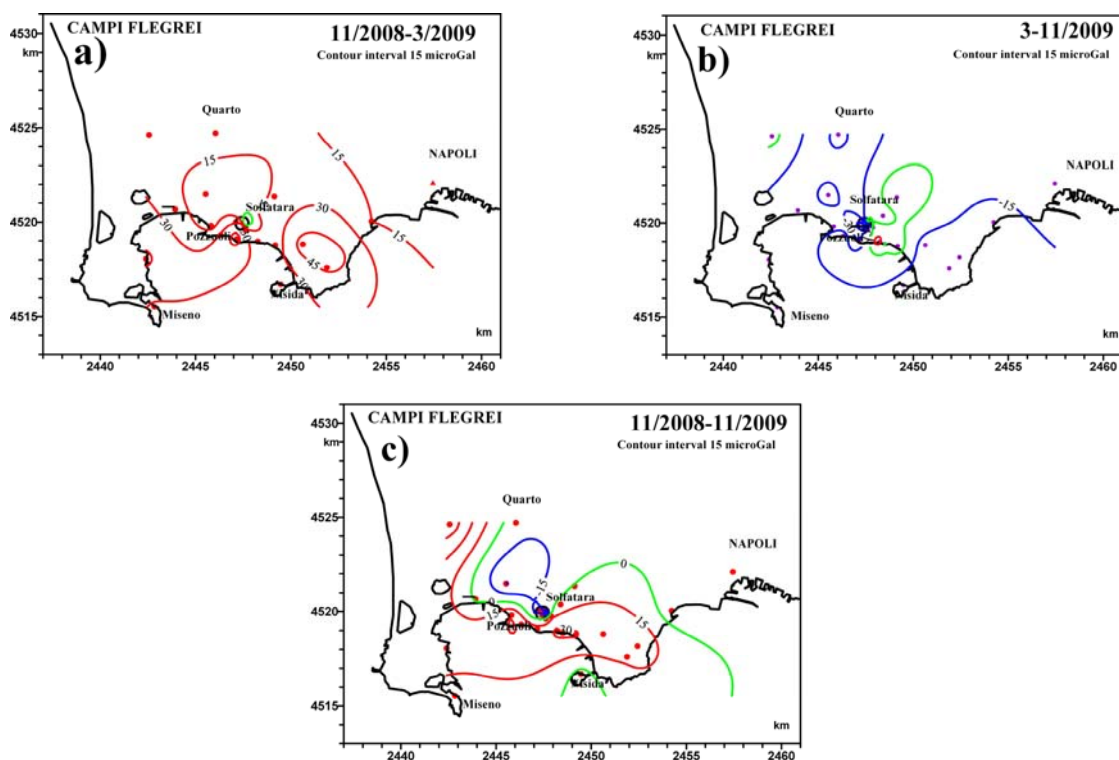


Figura 3: *Variazioni di gravità ai Campi Flegrei, riferite alla stazione assoluta di Napoli, nei periodi: a) novembre 2008 – marzo 2009; b) marzo – novembre 2009; c) novembre 2008 – novembre 2009.*

Il campo variometrico relativo all'intervallo di tempo 11/2008-3/2009 si mostra inverso a quello del periodo precedente (marzo-novembre 2008, **figura 4l**) che si presentava tutto negativo. Come già discusso nel rapporto dell'attività di sorveglianza svolta nel 2008, il campo marzo-novembre 2008 rappresentava l'evoluzione della diminuzione di gravità evidenziata dal 2007, riproponendo una fenomenologia simile a quella osservata nell'intervallo di tempo novembre 2003-novembre 2004.

Il campo variometrico relativo all'intervallo di tempo analizzato (11/2008-3/2009 – **figura 3a**) sembra, invece, riproporre l'aumento di g occorso nel periodo 2004-2005 (**ref. Figura 4b**) che ha preceduto il sollevamento 2004-2006. Come già segnalato da Berrino (2009 - [Variazioni di gravità ai Campi Flegrei nel periodo 2003-2009. Seminario Scientifico, INGV-Osservatorio Vesuviano, 4 Giugno 2009]), ciò suggerisce l'insorgere di una nuova piccola fase di sollevamento, fase dell'entità di circa 2 cm che è stata rilevata dai dati GPS in continuo nel periodo fine 2008 – estate 2009 (dati "Sistema Unificato di Monitoraggio" – Osservatorio Vesuviano).

Nel novembre 2009 si osserva, invece, ancora un campo caratterizzato da una diminuzione di gravità, in generale ai limiti della significatività statistica. Diminuzioni di gravità significative, di circa $-30 \mu\text{Gal}$ sono concentrate nella zona della Solfatara (**figura 3b**). Si osserva ancora una fascia di demarcazione tra due zone, ma con variazione di g nulla, che corre tra 'costa-Solfatara-Pisciarelli' e il trend di aumento di gravità rilevato alla stazione Accademia Aeronautica sembra terminato, come suggerito dalla diminuzione di $-17 \mu\text{Gal}$ (**figura 2**). Allo scopo di ridurre gli effetti stagionali è stato anche effettuato un confronto tra i dati rilevati a novembre 2008 con quelli di

novembre 2009, periodi stagionali simili (**figura 3c**); da esso si può osservare come l'aumento di g rilevato a marzo 2009 persiste seppure interrotto da una diminuzione che interessa la zona Solfatarà – Via Campana.

Infine, allo scopo di inquadrare le variazioni rilevate nel 2009 nella dinamica osservata sin dal novembre 2003, i dati dell'ultima campagna sono stati confrontati con tutti quelli precedenti. Il confronto è stato fatto solo per le variazioni di gravità non residue, poiché i dati rilevati nelle ultime due campagne sono stati solo in parte corretti dell'effetto delle variazioni di quota per indisponibilità di dati altimetrici in corrispondenza dei capisaldi gravimetrici nelle stesse date. I dati depurati sono stati corretti considerando le variazioni altimetriche ottenute dalle stazioni GPS in continuo in prossimità dei vertici gravimetrici. E' da sottolineare che le variazioni altimetriche rilevate nell'area sono, comunque, di entità tale da non influenzare significativamente le variazioni di g.

Tutti i dati dal 2003 al 2009 sono stati organizzati considerando intervalli di tempo annuali (**figura 4**), sempre allo scopo di ridurre eventuali effetti stagionali; ciò ha permesso di individuare alcuni episodi caratterizzati da significative diminuzioni (11/03-11/04 e 12/07-11/08 – **figure 4a e 4e**) e aumenti (11/04-11/05 – **figura 4b**) di gravità. Per l'intero periodo 2003-2008, inoltre, l'entità e l'estensione dei campi della distribuzione dei residui gravimetrici ha suggerito l'effetto di due sorgenti superficiali associabili alla dinamica del sistema idrotermale dell'area (Berrino, 2009 - *[Variazioni di gravità ai Campi Flegrei nel periodo 2003-2009. Seminario Scientifico, INGV-Osservatorio Vesuviano, 4 Giugno 2009]*): una a circa 2 km attiva principalmente nei periodi 2003-2005 e 2007-2008, l'altra più superficiale (≤ 1 km) attiva nel 2006.

Anche in tale inquadramento, il campo variometrico relativo all'ultimo intervallo di tempo analizzato (11/2008-11/2009 – **figura 4f**) sembra riproporre l'aumento di g occorso nel periodo 2004-2005 (**figura 4b**) che ha preceduto e accompagnato il sollevamento 2004-2006. Così come la sequenza di diminuzione e incremento di g nel periodo 2007-2008 (**figura 4e**) riproduce quella rilevata nel periodo 2003-2004 (**figura 4a**).

I dati rilevati dal novembre 2003 al novembre 2009 hanno permesso di evidenziare che l'attuale fase di dinamica dell'area flegrea è caratterizzata dall'alternarsi di fasi di diminuzioni e aumenti di g. Solo nei casi in cui la loro entità era statisticamente significativa e la loro distribuzione ha presentato una geometria a simmetria quasi radiale, con valori massimi centrati nell'area dove solitamente avvengono i maggiori movimenti verticali del suolo, esse hanno rispettivamente preceduto e accompagnato l'insorgere di piccole fasi di sollevamento, come è accaduto nel 2006 e nel 2008.

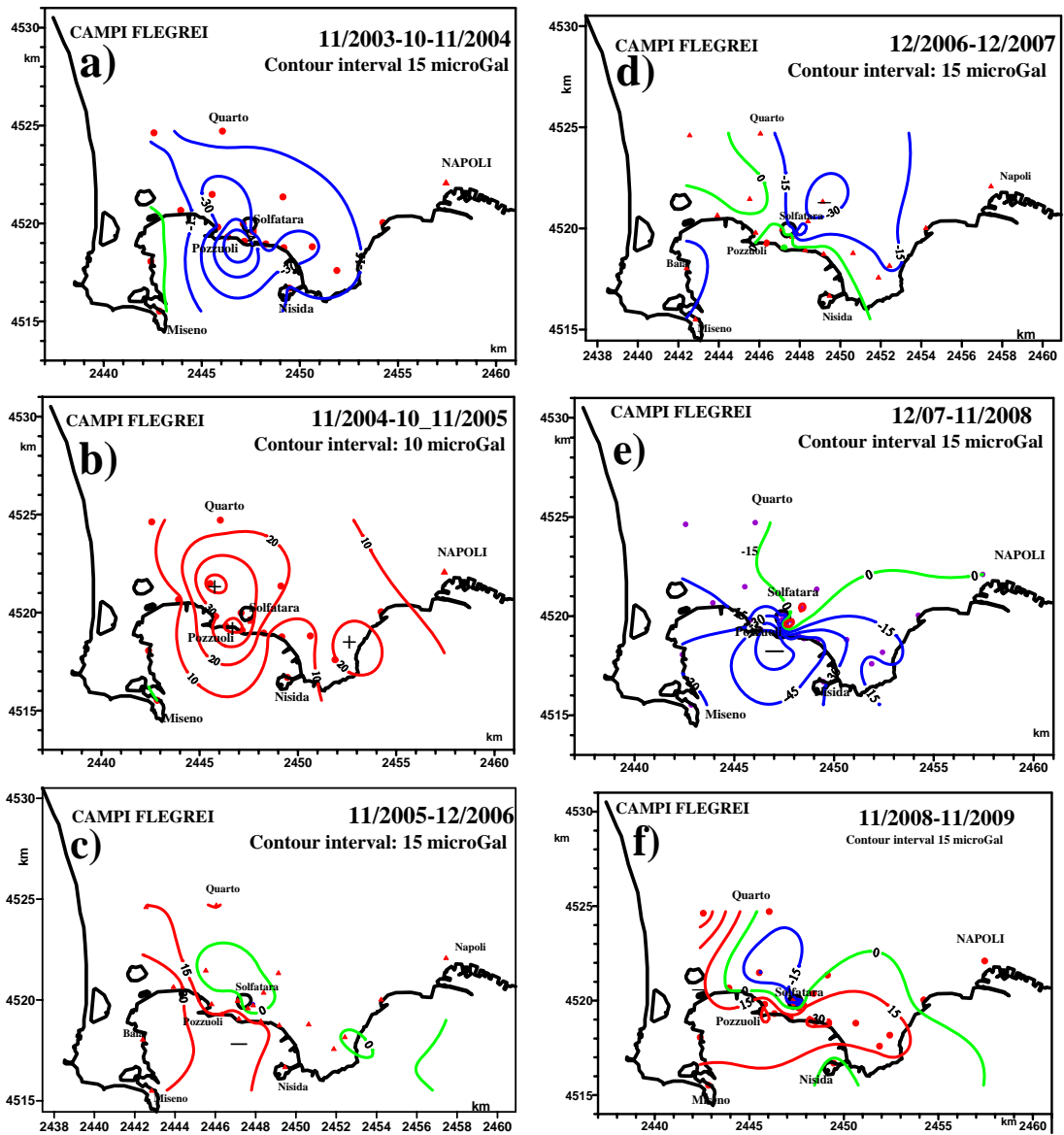


Figura 4: Confronto delle variazioni di gravità rilevate nell'intervallo 11/2008-11/2009 con le variazioni di gravità, su periodi annuali, dal novembre 2003.