

Monitoraggio geodetico dell'isola
d'Ischia: risultati della
livellazione geometrica di
precisione eseguita a Giugno 2010

Quaderni di Geofisica



Quaderni di Geofisica

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

Monitoraggio geodetico dell'isola d'Ischia: risultati della livellazione geometrica di precisione eseguita a Giugno 2010

Geodetic Surveillance of the Ischia Island: Results of the Precision Levelling performed in June 2010

Carlo Del Gaudio, Ida Aquino, Ciro Ricco, Vincenzo Sepe, Claudio Serio

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

Monitoraggio geodetico dell'isola d'Ischia: risultati della livellazione geometrica di precisione eseguita a Giugno 2010

In questo lavoro sono presentati i risultati relativi alla campagna di livellazione geometrica di precisione effettuata sull'isola di Ischia nel Giugno 2010. Le misure sono state eseguite sull'intera rete altimetrica che è stata ampliata attraverso l'infittimento dei capisaldi e l'istituzione di nuove linee.

Le quote compensate per ogni caposaldo (Cs), riferite al Cs 1 localizzato al Porto d'Ischia, sono state confrontate con quelle ottenute nella precedente livellazione del 2003. I risultati ottenuti mostrano significativi abbassamenti del suolo (vari centimetri) che interessano differenti settori dell'isola. Inoltre, un ulteriore confronto con le misure eseguite nel 1987 denota l'esistenza di movimenti differenziali caratterizzati da velocità di subsidenza costanti nel tempo. L'andamento altimetrico risulta in buon accordo con i dati GPS acquisiti dal 1997 al 2003.

In this paper are shown the results obtained from Geometric High Precision Levelling survey performed at Ischia Island in June 2010. The measures have been carried out on the whole network of the island further expanded by increasing of the benchmarks and the establishment of new lines.

The compensated height for each benchmark (Bm) are referred to Bm 1 located at Ischia harbour, were compared to those obtained in previous Levelling survey of 2003. The results show significant ground subsidence of different entities affecting various areas of the island. In addition, a further comparison with the measurements performed in 1987 confirms the existence of such differential movements characterised by subsidence velocity constant over time. At last, we found a good agreement between levelling and GPS velocities, calculated in time span 1997-2003.

Introduzione

Ischia è un'isola vulcanica attiva [Vezzoli, 1988; Bruno et al. 2002; de Vita et al. 2010] densamente abitata localizzata nel Golfo di Napoli e rappresenta la parte più occidentale del distretto vulcanico dei Campi Flegrei (Figura 1). Attualmente l'isola ospita una popolazione di circa 60.000 residenti, distribuita in 6 comuni, che aumenta moltissimo nel periodo estivo grazie alle fiorenti attività turistiche balneari e termali, con evidente amplificazione del valore esposto e di conseguenza del rischio vulcanico.

La storia geologica dell'isola di Ischia evidenzia che l'attività eruttiva può riprendere dopo periodi di quiescenza più o meno lunghi. L'ultima eruzione è avvenuta nel 1302 d.C. [Chiesa et al. 1986] e da allora il sistema vulcanico ha continuato a manifestare il suo persistente stato di attività attraverso terremoti (i più disastrosi avvennero a Casamicciola nel 1881 e nel 1883) [Cubellis and Luongo, 1998], attività fumarolica-idrotermale [Chiodini et al. 2004] e deformazioni del suolo [INGV-OV 2001, 2002, 2003, 2004]. Lo stato del-

l'isola è costantemente monitorato dai sistemi di sorveglianza della Sezione di Napoli dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Osservatorio Vesuviano (OV).

Il controllo delle deformazioni del suolo viene effettuato attraverso misure geodetiche periodiche e in continuo (livellazioni, GPS, SAR) [INGV-OV 2001, 2002, 2003, 2004; Manzo et al. 2006], per ciascuna delle quali è stata istituita un'apposita rete che è configurata in modo da consentire un'efficace caratterizzazione del campo di deformazione in quella specifica area.

La livellazione geometrica di precisione, attraverso la quale si misura con cadenza periodica il dislivello tra punti fissi detti capisaldi, permette il monitoraggio spazio-temporale delle variazioni della componente verticale del campo di deformazione dell'area interessata e risulta tuttora l'unica tecnica in grado di fornire un'accuratezza sulla quota inferiore al mm.

Lo scopo di questo lavoro è la presentazione dei risultati relativi alla campagna di livellazione geometrica di precisione effettuata sull'isola di Ischia nel Giugno 2010.

1. Inquadramento geologico - strutturale

L'isola di Ischia fa parte del distretto vulcanico flegreo che comprende anche l'isola di Procida e i Campi Flegrei (Figure 1,2), formatosi in risposta al processo estensionale risalente al Pliocene-Quaternario che ha generato il *graben* della piana campana lungo il margine tirrenico della fascia appenninica [Ippolito et al. 1973; D'Argenio et al. 1973; Finetti e Morelli, 1974; Bartole, 1984; Piochi et al. 2005; de Vita et al. 2009] e rappresenta la porzione subaerea di un campo vulcanico, situato all'incrocio di sistemi di faglie regionali ad andamento appenninico NO-SE ed antiappenninico NE-SO [Acocella and Funicello, 1999], che risale di oltre 1000 m dal fondale marino [Bruno et al. 2002].

La morfologia dell'isola d'Ischia è dominata dal M. Epomeo (787 m s.l.m.) situato in posizione centrale e dall'allineamento NE-SO di M. Vezzi - M. Cotto nel settore SE, la costa è caratterizzata da ripide scogliere e da versanti meno acclivi che immergono verso mare [Gillot et al. 1982; Vezzoli, 1988; Civetta et al. 1991, 1999; Orsi et al. 1991, 1992, 1994, 1996; Tibaldi e Vezzoli, 1998, 2000, 2004; Piochi et al. 1999; Sansivero, 1999; Marotta, 2001; Acocella and Funicello,



Figura 1 Distretto vulcanico flegreo.
Figure 1 Phlegraean volcanic district.

2002; de Vita et al. 2006; Brown et al. 2008; Nappi et al. 2010; de Vita et al. 2010].

Le rocce più antiche datate risalgono a ca. 150.000 anni. Tra

150.000 e 74.000 anni fa si sono formati piccoli duomi lavici, posti su una struttura semicircolare situata lungo le attuali coste dell'isola. L'eruzione del Tufo Verde avvenuta 55.000 anni fa è stata accompagnata dal collasso calderico della parte centrale dell'isola, oggi occupata dal M. Epomeo. L'attività vulcanica è proseguita con una serie di eruzioni esplosive fino a 33.000 anni fa; dopo un periodo di stasi, tra 28.000 e 18.000 anni fa essa è ripresa con eruzioni effusive ed esplosive (magmatiche e idromagmatiche) che hanno prodotto colate laviche, coni di tufo e depositi piroclastici.

L'ultimo periodo di attività vulcanica è cominciato 10.000 anni fa, producendo 46 diverse eruzioni, concentrate principalmente tra 2.900 anni fa e il 1302 d.C., anno dell'ultima eruzione detta "eruzione dell'Arso" [Chiesa et al. 1986; Iacono, 1996]. Attualmente l'attività vulcanica dell'isola d'Ischia è caratterizzata da sismicità [Cubellis and Luongo, 1998], da persistente attività fumarolica e idrotermale [Chiodini et al. 2004] e deformazioni del suolo [INGV-OV 2001, 2002, 2003, 2004].

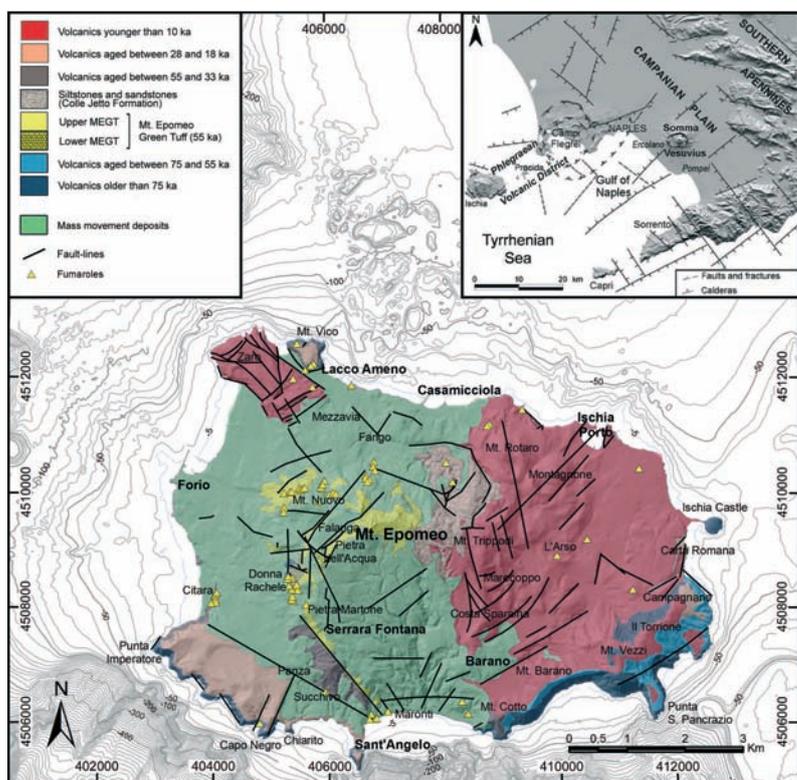


Figura 2 Mappa geologico-strutturale dell'isola d'Ischia [de Vita et al. 2009].
Figure 2 Geological and structural map of Ischia Island [de Vita et al. 2009].

2. Rete altimetrica

In seguito ai danni inferti al territorio ed alla popolazione dagli eventi sismici del 1881 e 1883 e da una grande alluvione verificatasi nel 1910 che copri di detriti e grandi massi le località "La Sentinella" e "Piazza Bagni" di Casamicciola, nel 1913 fu incaricato l'Istituto Geografico Militare (IGM) di eseguire misure altimetriche di precisione, venne così istituita dall'IGM la linea di livellazione lungo la strada statale che gira intorno all'isola (oggi è chiamata circuito "Costiero" colore blu in Figura 3). In seguito questa linea fu misurata dal Servizio Geologico Italiano nel 1967.

Dal 1978 l'Osservatorio Vesuviano ha aggiunto al circuito "Costiero" nuove linee di misura istituendo la "rete altimetrica" dell'isola di Ischia ed ha eseguito periodiche campagne di livellazione [Corrado et al. 1979].

Tra il 1978 ed il 1984 sono state realizzate le linee "S. Angelo" e "Maronti" nel settore meridionale dell'isola e la linea "Mazzella" in quello orientale (colore nero in Figura 3). Nel 1987 la rete è stata completamente ristrutturata (con l'infittimento del numero di capisaldi lungo le linee già esistenti e nuova numerazione degli stessi) ed ampliata nel settore NO con la realizzazione della linea denominata "Borbonica" (colore verde in Figura 3) [Del Gaudio et al. 1987]. Nel 1994 sono state inoltre istituite le linee "Casamicciola - Fiaiano -

Piedimonte" e "Porto - Fiaiano" che attraversano l'isola da Nord a Sud nel settore centro-orientale, i transetti "Chiummano" e "Vatoliere" nel settore sud-orientale, la linea "Lacco Ameno - Mezzavia" nel settore nord-occidentale ed il circuito "Panza" nel settore sud-occidentale dell'isola (colore giallo in Figura 3).

Nel 2003 l'OV (divenuto nel 2001 Sezione di Napoli dell'INGV) ha realizzato nuovi transetti nel settore Ovest dell'Isola, quali "Mezzavia - Fango" in località Lacco Ameno e "Monterone - Panza" in località Fumarole (colore ciano in Figura 3); nel Maggio 2010, in preparazione dell'ultima serie di misure effettuate sull'isola (a Giugno), sono stati realizzati altri 7 nuovi tratti (colore rosso in Figura 3).

2.1 Ampliamento della rete altimetrica nel 2010

Di seguito sono riportate le operazioni relative alla sostituzione e/o ripristino dei capisaldi ed alla realizzazione di nuovi tratti, effettuate a Maggio in previsione della livellazione di Giugno 2010.

- Ripristino di 16 capisaldi non più esistenti perché distrutti, rimossi o non più accessibili per varie cause. La percentuale di capisaldi distrutti in 7 anni, se rapportata all'urbanizzazione dell'area, è da considerarsi trascurabile (1% annuo) rispetto al periodo precedente (1984 -2003) in cui essa si attestava intorno al 4% annuo.

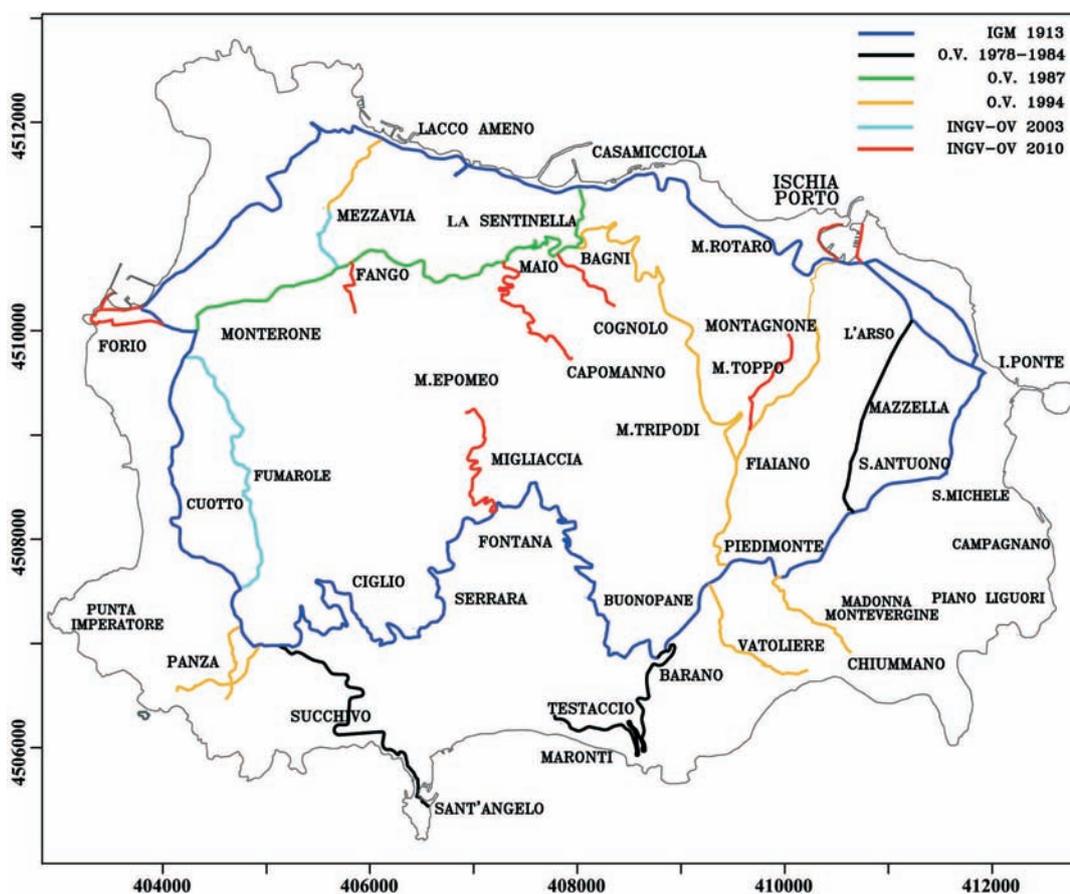


Figura 3 Rete altimetrica dell'isola d'Ischia; i diversi colori indicano l'anno di realizzazione delle linee.
Figure 3 Ischia High Precision Levelling Network; the different colours indicate the year of realization of the lines.

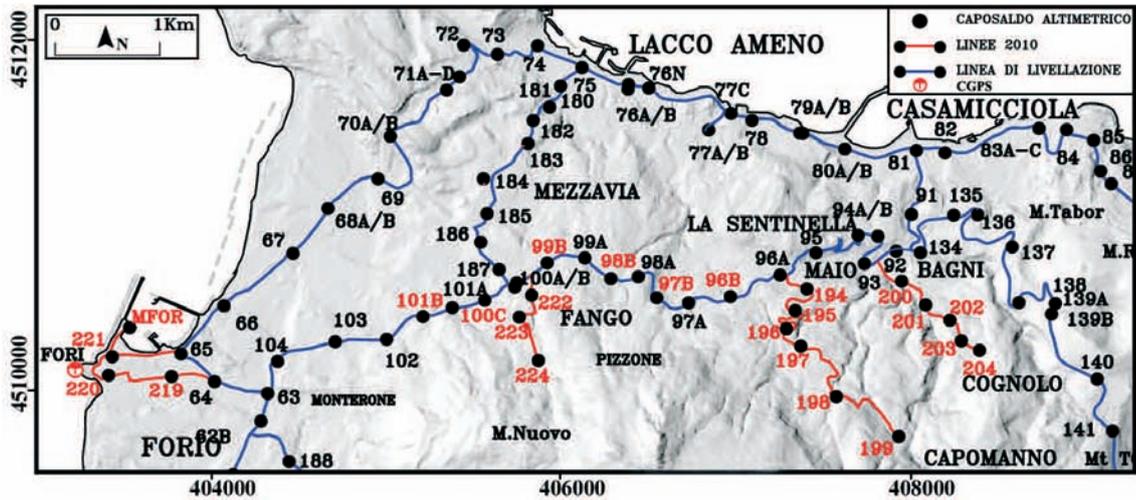


Figura 4 Settore NW della rete di livellazione; sono riportati in rosso le linee e i capisaldi di nuova istituzione.
 Figure 4 NW sector of the levelling network; in red, new lines and benchmarks are shown.



Figura 5 Settore NE della rete di livellazione; sono riportati in rosso le linee e i capisaldi di nuova istituzione.
 Figure 5 NE sector of the levelling network; in red, new lines and benchmarks are shown.

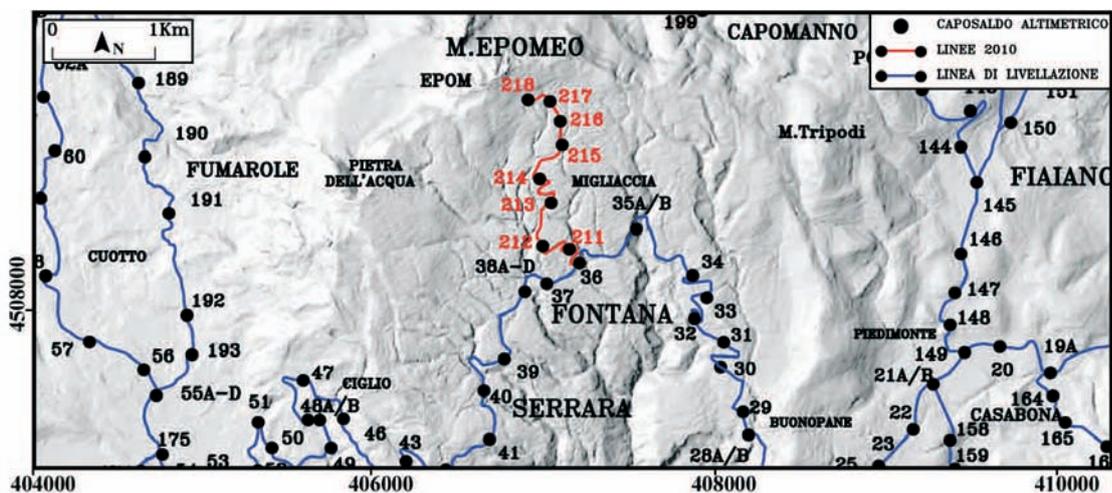


Figura 6 Settore centro-meridionale della rete di livellazione; sono riportati in rosso le linee e i capisaldi di nuova istituzione.
 Figure 6 South-central sector of the levelling network; in red, new lines and benchmarks are shown.

- Infittimento della linea “Borbonica” in località Fango attraverso l’installazione di 7 nuovi punti (la cui numerazione include la lettera “B”) (Figura 4).
- Realizzazione di 7 nuovi tratti lungo i versanti di M. Epomeo di cui
 - 4 sono localizzati nel settore NO dell’isola (Figura 4):
 - Linea “Maio - Capomanno”, in località Casamicciola. Essa parte dal preesistente Cs 96A e si sviluppa con 6 capisaldi (dal Cs 194 al Cs 199) su di un tratto lungo 2 km che si arrampica sui contrafforti del M. Epomeo;
 - Linea “Bagni - Cognolo”, in località Casamicciola. Essa parte dal preesistente Cs 93 e si sviluppa per circa 1 km con 5 capisaldi (dal Cs 200 al Cs 204) verso il M. Epomeo;
 - Circuito “ Porto di Forio” d’Ischia lungo 1.5 km. Esso permette di collegare la stazione CGPS “FORI” (Cs 221) e la stazione mareografica (Cs MFOR) al circuito “Costiero” con 3 capisaldi (dal Cs 219 al Cs 221);
 - Transetto in località Fango lungo 650 m. Esso parte dal preesistente Cs. 100A prolungando la linea “Mezzavia” con 3 capisaldi (dal Cs 222 al Cs 224).
 - 2 transetti sono localizzati nel settore NE (Figura 5):
 - Linea “Montagnone” in località Fiaiano. Essa è lunga 1.2 km e permette di collegare con 3 capisaldi

(dal Cs 205 al Cs 207) la stazione CGPS AQMO (Cs 207) alla linea “Porto-Fiaiano”;

- Linea perimetrale del “Porto d’Ischia”. Essa è stata costituita in previsione dell’installazione di una stazione mareografica, è lunga 1.1 km e con 3 capisaldi (dal Cs 208 al Cs 210) è agganciata al Cs 1 (riferimento relativo) ed al Cs 2 del circuito “Costiero”.

- 1 transetto, localizzato nel settore centro-meridionale (Figura 6):
 - Linea “Epomeo” in località Migliaccia. Essa parte dal Cs 36 sul circuito “Costiero”, a Serrara-Fontana, e si inerpicca per circa 1.5 km sui contrafforti del M. Epomeo con 8 capisaldi (dal Cs 211 al Cs 218).
- Realizzazione di nuove monografie per tutti i capisaldi della rete altimetrica.

3. Descrizione delle misure di campagna

Le misure altimetriche di alta precisione sono state eseguite nel Giugno 2010 su di una rete che complessivamente, con i nuovi tratti istituiti, si sviluppa per oltre 100 km con 257 capisaldi raggruppati in 10 circuiti concatenati (Figura 7). Le operazioni di campagna sono state svolte da 8 operatori

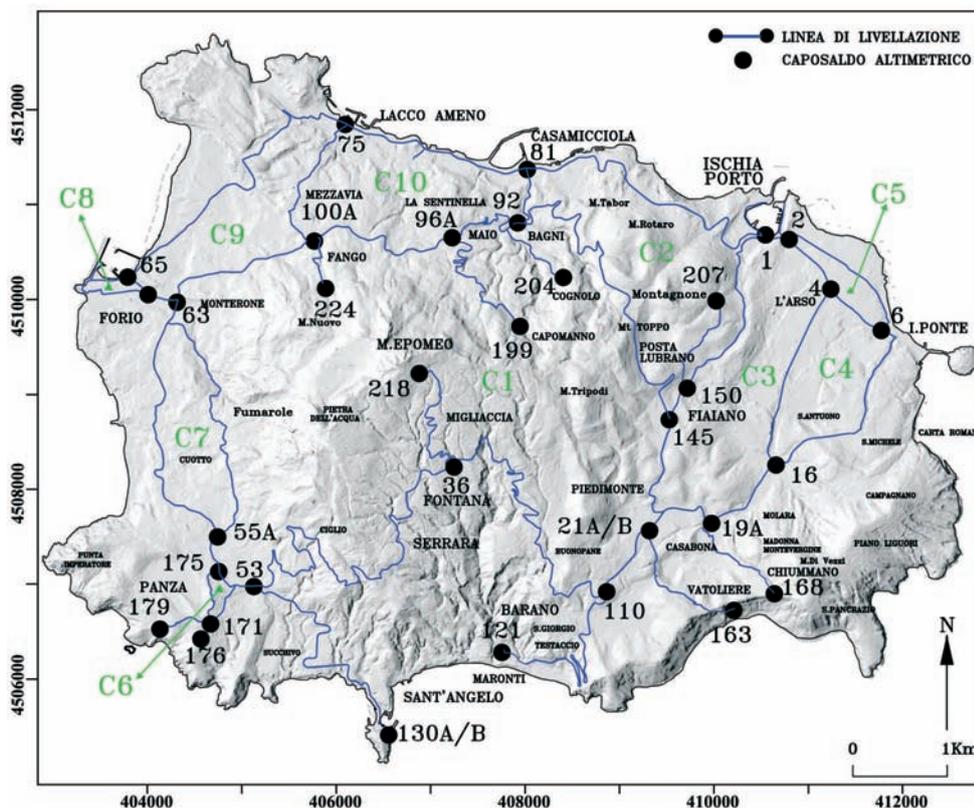


Figura 7 Rete altimetrica dell’isola d’Ischia.
Figure 7 Ischia High Precision Levelling Network.

(non afferenti all'INGV) divisi in due squadre, utilizzando autolivelli ottici Wild mod. Na2, corredati di micrometri a lamina piano-parallela e stadie con graduazione su nastro in invar.

I dislivelli misurati sono risultati tutti coerenti in quanto le chiusure dei 10 circuiti, di lunghezza compresa tra 1.6 e 33 km, sono state inferiori alla tolleranza prevista per questo tipo di misure $T_{Max} = \pm 2\sqrt{L}$ (mm) dove L è la lunghezza (ottenuta dalle letture alle stadie) di ogni circuito in km (Tabella 1).

La compensazione delle misure, caratterizzata da una deviazione standard per unità di peso $\sigma_0 = 0.879$ mm, conferma la buona qualità dei dati. Le quote compensate di ogni Cs sono state riferite al Cs 1, localizzato al Porto d'Ischia (Chiesa di S. Maria di Portosalvo, Q = 3.0360 m) essendo esso ritenuto il "caposaldo di riferimento relativo" perché è posizionato in un'area relativamente stabile dell'isola (v. capitolo 5 e Figura 15) [Corrado et al. 1979; Del Gaudio et al. 1987; INGV-OV 2001, 2003].

4. Discussione dei dati

Al fine di fornire un quadro dettagliato dell'andamento delle deformazioni verticali del suolo, sono proposti e commentati i risultati ottenuti dal confronto dei dati del 2003 e del 2010

CIRCUITO	L (km)	Err (mm)	Err. Max (mm)	Err/Err max %
C1 COSTIERO	33.0	7.9	11.5	68.5
C2 MONTAGNONE	12.2	-0.75	7.0	10.7
C3 FASOLARA	8.7	-3.44	5.9	58.3
C4 PILASTRI	5.3	-2.76	4.6	59.9
C5 PONTE	3.4	-0.12	3.7	3.2
C6 PANZA	1.6	0.00	2.5	0.0
C7 FUMAROLE	6.6	3.30	5.2	64.0
C8 FORIO	1.6	-1.87	2.5	74.7
C9 MEZZAVIA	8.5	3.04	5.8	52.1
C10 LACCO AMENO	8.2	2.31	5.7	40.3

Tabella 1 Caratteristiche dei circuiti di livellazione: lunghezza, errore di chiusura, massimo errore consentito, rapporto percentuale tra i due errori.

Table 1 Characteristics of Levelling Circuit: length, error of closure, maximum permitted error, the percentage ratio between the two errors.

lungo le tre linee ritenute rappresentative della dinamica dell'isola: 1) circuito "Costiero", 2) linea "Borbonica", 3) linea "Casamicciola - Vatoliere" (Figure da 8 a 10).

In ogni figura la linea continua (in nero con gli asterischi rossi) rappresenta le variazioni di quota relative al periodo considerato, mentre quella tratteggiata (in nero) evidenzia i limiti degli intervalli di confidenza al 95% delle serie messe a confronto. Nella parte inferiore delle figure è riportato il profilo altimetrico (in verde) relativo alla linea considerata e nei riquadri sono mostrate le ubicazioni sulla mappa delle linee. Lungo il circuito "Costiero" (Figura 8), partendo dal Cs 1 e proseguendo in senso orario si osserva un continuo abbassa-

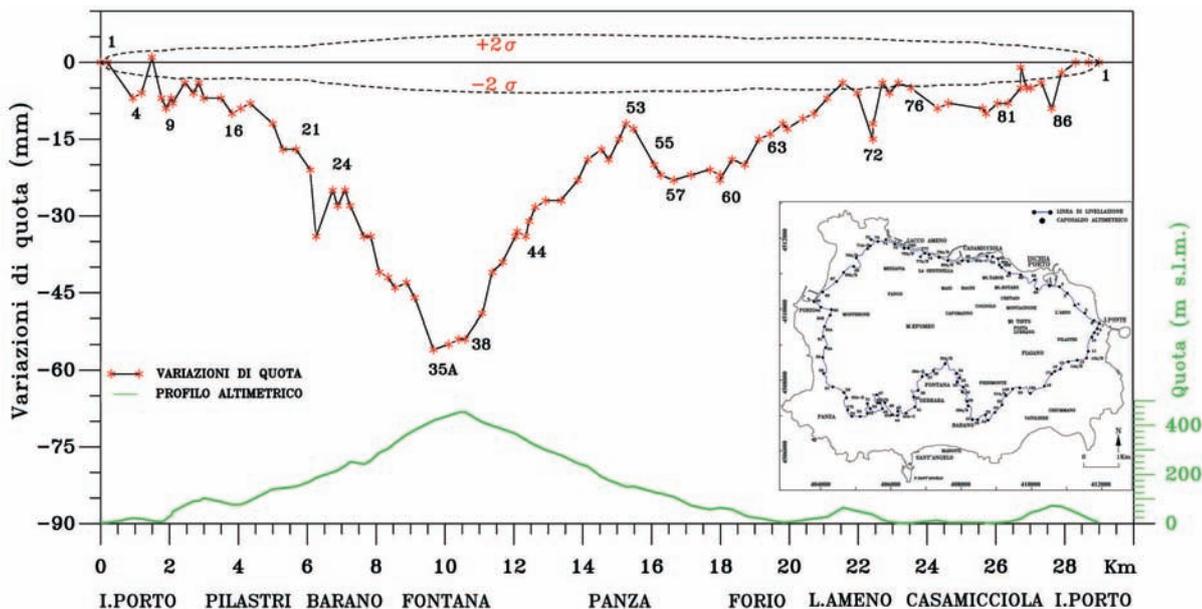


Figura 8 Circuito "Costiero": variazioni di quota Giugno 2003 – Giugno 2010.

Figure 8 "Coast-line": vertical displacements referred to the period June 2003 – June 2010.

mento del suolo che raggiunge il culmine nel settore centro-meridionale dell'isola, in corrispondenza del Cs 35A (località Fontana) con un valore di -56 ± 3 mm (-8.0 ± 0.94 mm/anno). Da questo punto il moto di abbassamento del suolo inizia a ridursi e i valori tendono a rientrare nella banda di confidenza in corrispondenza della costa ad Est di Casamicciola.

Lungo la linea "Borbonica" (Figura 9), si osserva un notevole

le abbassamento che interessa il settore nord-occidentale dell'isola con un valore massimo in corrispondenza del Cs 100A (località Fango) di -83 ± 3.0 mm (-11.86 ± 0.86 mm/anno). La linea "Casamicciola - Vatoliere" (Figura 10), mostra infine come anche nel settore centro-orientale si verificano abbassamenti significativi del suolo, riscontrati su quasi tutti i capisaldi; in particolare, proseguendo verso Sud la subsidenza è caratterizzata da un continuo incremento fino a rag-

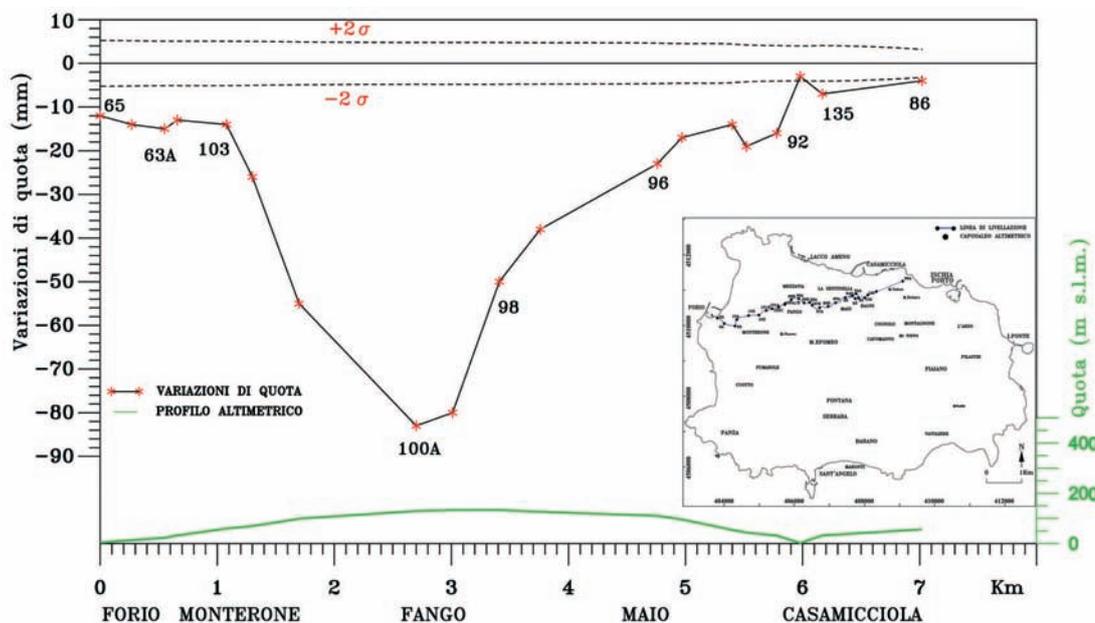


Figura 9 Linea "Borbonica": variazioni di quota Giugno 2003 – Giugno 2010.
Figure 9 "Borbonic line": vertical displacements referred to the period June 2003 – June 2010.

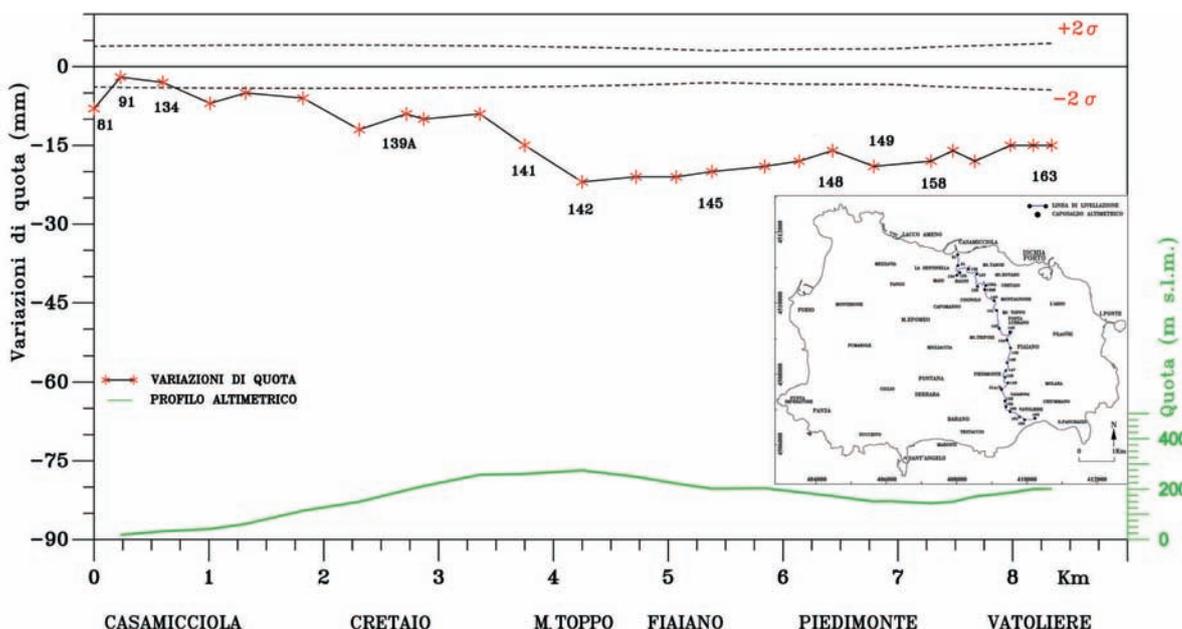


Figura 10 Linea "Casamicciola - Vatoliere": variazioni di quota Giugno 2003 – Giugno 2010.
Figure 10 "Casamicciola - Vatoliere line": vertical displacements referred to the period June 2003 – June 2010.

giungere valori tra -15 e -22 mm nel tratto compreso tra il Cs 142 ed il Cs 163 con un massimo al Cs 142 di -22 ± 2.0 mm (-3.14 ± 0.57 mm/anno).

L'abbassamento del suolo stimato sembra contraddistinto da un'invarianza temporale in quanto i ratei di deformazione sono costanti nel tempo. Confrontando, infatti, le misure del 2010 con quelle eseguite nel 1987 (anno in cui fu ristrutturata l'intera rete altimetrica), il Cs 35A (località Fontana) risul-

ta interessato da una variazione di quota di -169 ± 3.0 mm (-7.35 ± 0.30 mm/anno) (Figura 11), mentre sul Cs 100A (località Fango) si osserva una variazione di -272 ± 3.0 mm (-11.83 ± 0.26 mm/anno) (Figura 12).

Anche lungo la linea Casamicciola – Vatuliere la deformazione si mantiene costante nel tempo; il confronto fatto tra i dati del 2010 e quelli del 1994 (anno di istituzione della linea) mostra infatti valori negativi che, proseguendo verso

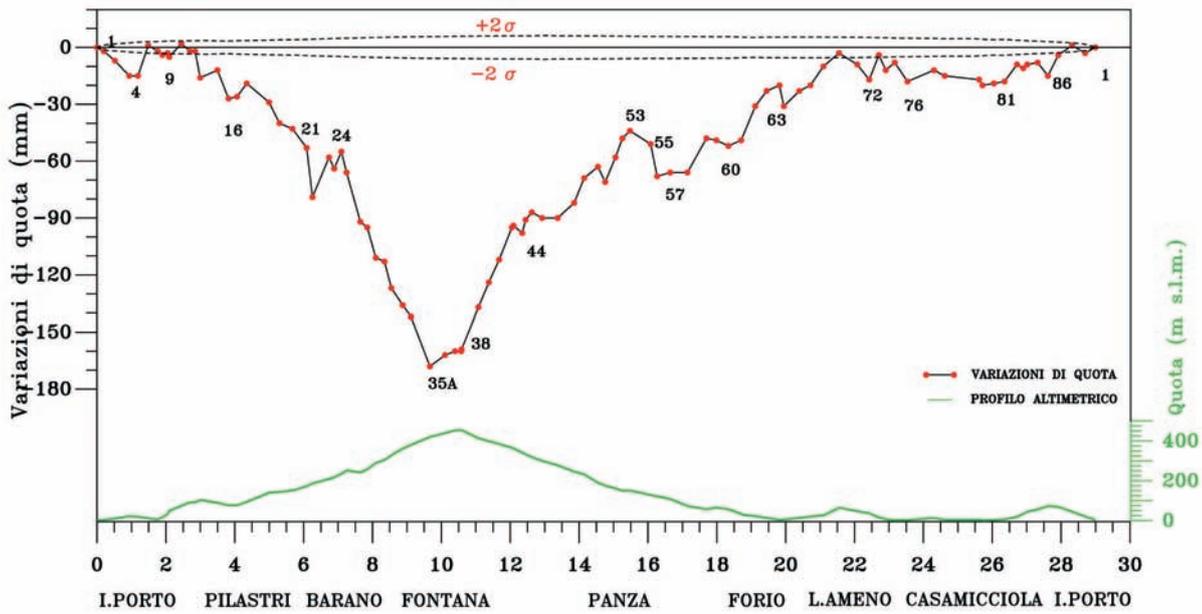


Figura 11 Circuito "Costiero": variazioni di quota Maggio 1987 – Giugno 2010.
 Figure 11 "Coast line": vertical displacements referred to the period May 1987 – June 2010.

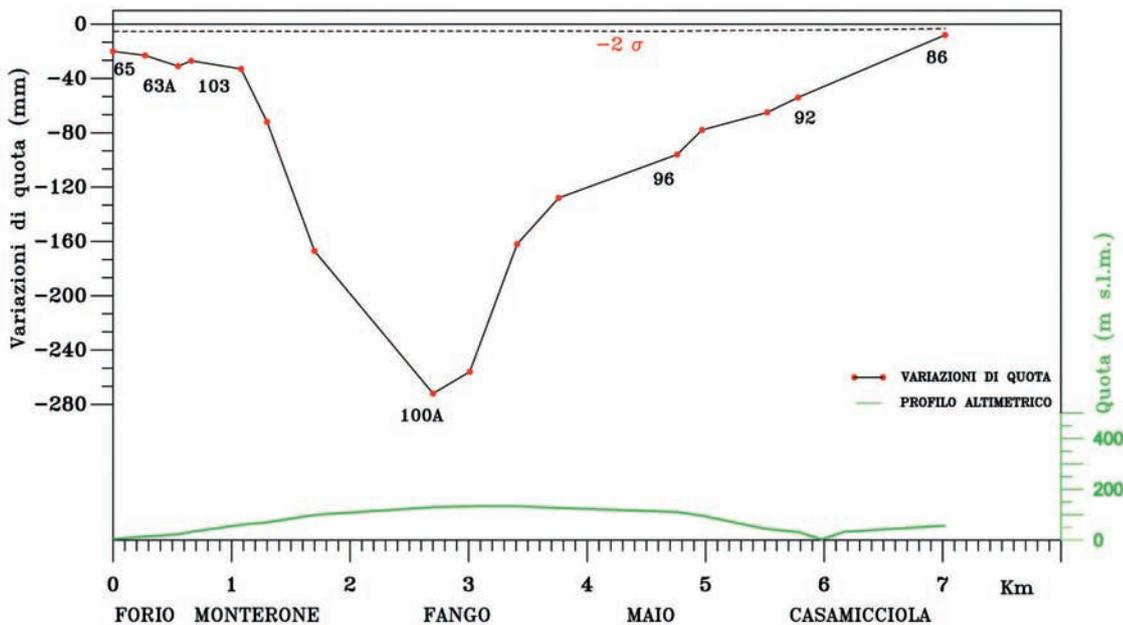


Figura 12 Linea "Borbonica": variazioni di quota Maggio 1987 – Giugno 2010.
 Figure 12 "Borbonica line": vertical displacements referred to the period May 1987 – June 2010.

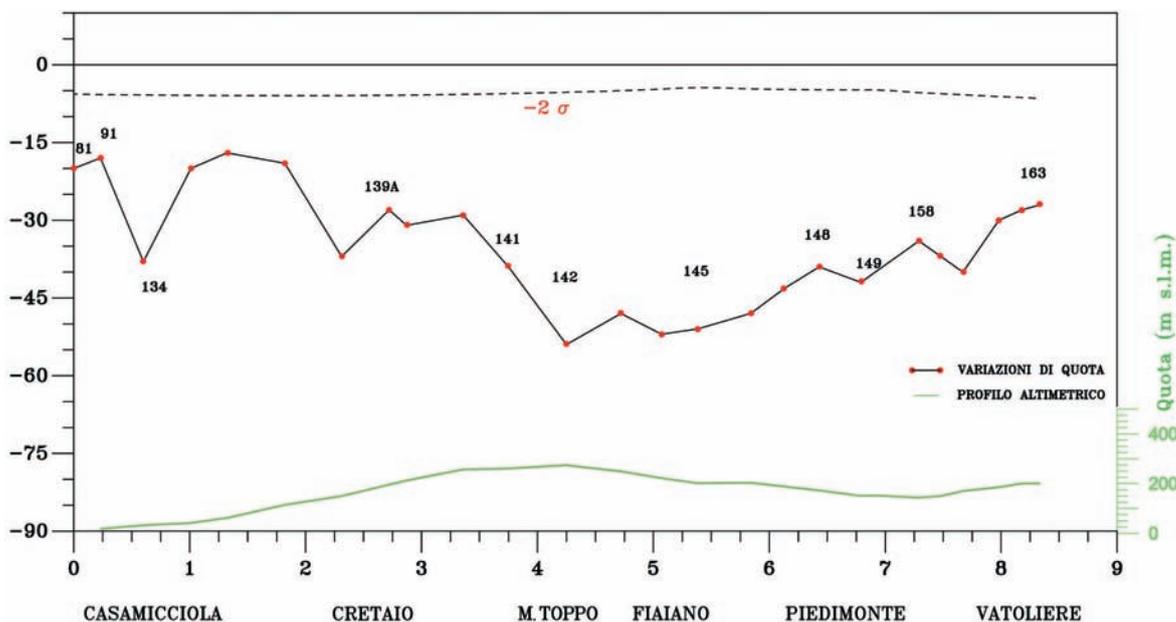


Figura 13 Linea "Casamicciola - Vatoliere": variazioni di quota Ottobre 1994 – Giugno 2010.
 Figure 13 "Casamicciola - Vatoliere line": vertical displacements referred to the period October 1994 – June 2010.

VERTICE 3D	lon	lat	Up (mm/y)
Cs ALTIMETRICO			
FONT	13.8969	40.7187	-10.569±4.080
Cs 38B	13.8972	40.7188	-6.91 ± 0.30
BARA	13.9162	40.7079	-2.663±2.502
Cs 26	13.9161	40.7080	-2.39 ± 0.24
EPOM	13.8945	40.7302	-8.733±1.525
Cs*35A	13.9051	40.7227	-7.35 ± 0.29
SERR	13.8952	40.7119	-4.357±2.446
Cs 41	13.8953	40.7113	-4.87 ± 0.32
SUCC	13.8849	40.7116	-0.270±3.578
Cs 123	13.8846	40.7053	-2.35 ± 0.37
FANG	13.8849	40.7414	-15.749±5.952
Cs 100A	13.8844	40.7421	-11.86±0.26
ISCH	13.9422	40.7428	-2.812±1.044
Cs 2	13.9428	40.7427	-0.09 ± 0.01

*il Cs 35A dista 1.2 km dal vertice 3D EPOM

Tabella 2 Confronto tra le velocità calcolate ai vertici GPS (1997 – 2003) con quelle calcolate ai capisaldi della rete altimetrica (in blu).

Table 2 Comparison between the values of computed velocity at GPS Vertex referred to the period 1997-2003 and those computed at the benchmarks of the altimetric network (in blue).

Sud, raggiungono -50 mm tra il Cs 142 ed il Cs 145, in località M. Toppo, con un valore massimo di subsidenza sul Cs 142 di -54 ± 2.0 mm (-3.38 ± 0.25 mm/anno) (Figura 13).

5. Confronto con i dati GPS nel periodo 1997-2003

I risultati ottenuti dai dati altimetrici, sono stati confrontati con quelli di alcuni vertici della rete GPS (Tabella 2) istituita dall'Osservatorio Vesuviano nel 1996 [Achilli, 1998; Del Gaudio et al. 1999] (Figura 14). La rete GPS dell'isola d'Ischia è costituita da 22 vertici 3D e 3 stazioni CGPS (in acquisizione continua); la stazione FORI è funzionante dal 1998 e le stazioni AQMO e SERR dal 2000, queste ultime sono equipaggiate con un sistema di trasmissione in remoto che invia i dati al centro di sorveglianza dell'INGV-OV. I dati GPS utilizzati per il confronto sono quelli relativi alle campagne eseguite nel 1997, 1998, 1999, 2001 e 2003. Sono stati elaborati con il software scientifico Bernese 5.0 utilizzando la seguente strategia:

- osservazioni: doppia differenza di fase;
- orbite precise IGS e dataset EOP (Earth Orientation Parameters);
- correzione del centro di fase;
- risoluzione di ambiguità (con la strategia QIF);
- modello troposferico DRY-Niell;
- la rete è stata inquadrata nel sistema di riferimento ITRF2005 includendo nelle soluzioni giornaliere, loosely constrain, 9 siti della rete IGS;

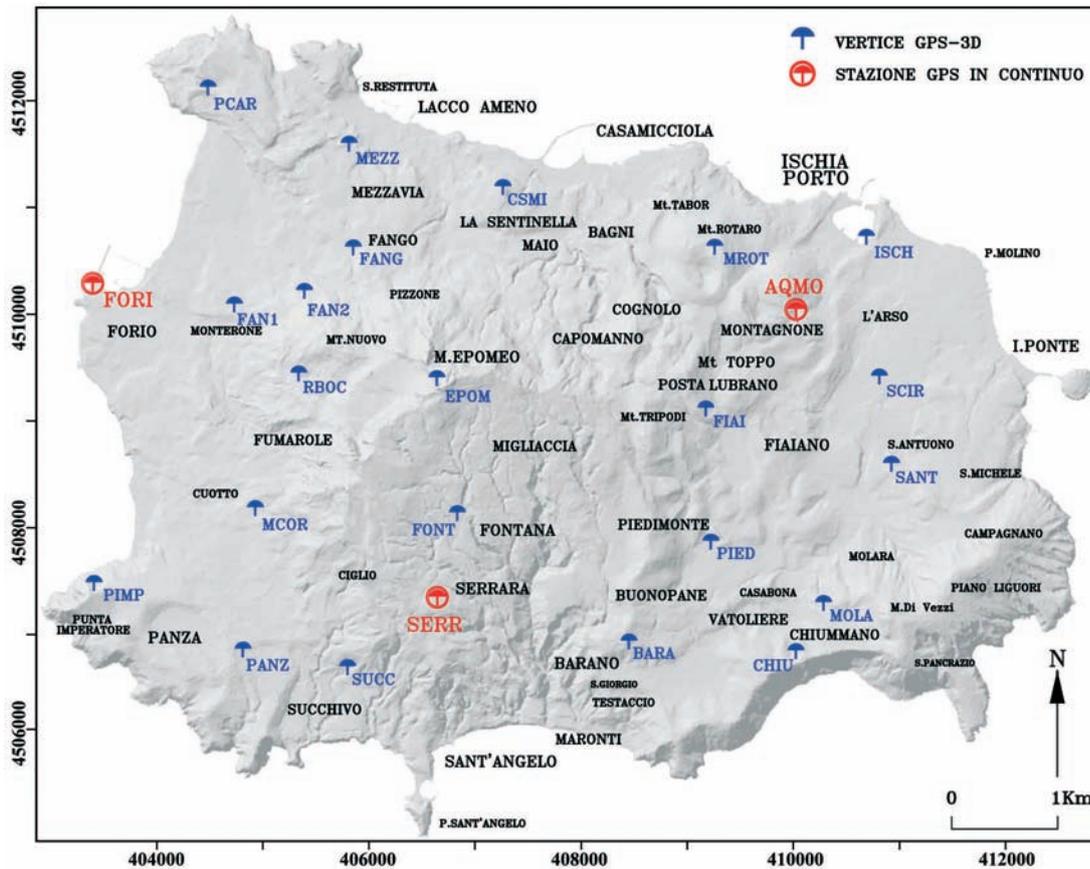


Figura 14 Rete GPS dell'isola d'Ischia (aggiornata al 2003).
 Figure 14 Ischia Island GPS network (update to 2003).

- le velocità e gli errori connessi sono associate alla intera matrice di covarianza; gli errori formali sono stati confrontati e riscritti con il valore del χ^2 ;
- i valori di velocità sono stati stimati considerando la velocità e gli errori relativi alle stazioni permanenti IGS.

Lo studio della componente verticale dei vertici 3D prossimi ai capisaldi della rete di livellazione ha evidenziato che i settori meridionale e nord-occidentale dell'isola sono affetti da una continua subsidenza [Sepe et al. 2007; Sepe et al. 2009], con velocità comparabili, per la maggior parte dei siti, con quelle dei capisaldi di livellazione nel medesimo periodo (Tabella 2). È importante specificare che il vertice 3D ISCH, localizzato in prossimità del Cs 2 ad Ischia Porto, mostra una minima velocità di abbassamento. Questa informazione conferma che l'area di ca. 3 km² nel cui centro è posto il Cs 1 può essere considerata stabile. Ne consegue che il Cs 1 può essere utilizzato come riferimento per il calcolo delle quote compensate di tutti i capisaldi altimetrici della rete di Ischia (Figura 15).

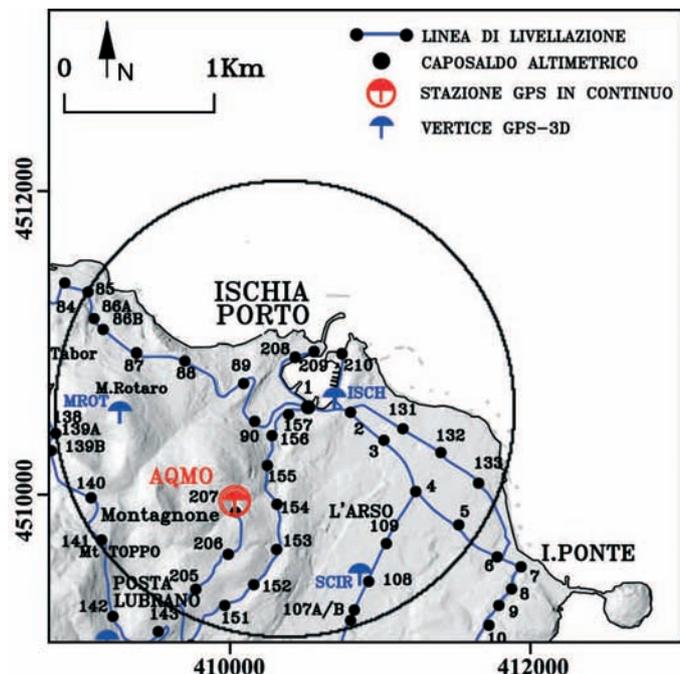


Figura 15 Nel cerchio è indicata l'area stabile di Ischia porto.
 Figure 15 In the circle is pointed out the stable area of Ischia harbour.

Conclusioni

I dati relativi all'ultima campagna di livellazione di alta precisione, eseguita nel Giugno 2010 lungo tutta la rete dell'isola d'Ischia, confrontati con le misure eseguite nel 1987 e 2003, forniscono un quadro abbastanza dettagliato dell'andamento delle deformazioni verticali del suolo mostrando l'esistenza di una persistente e significativa subsidenza [Manzo et al. 2006; Sepe et al. 2007], osservabile in particolare, nei settori centro-meridionale e nord-occidentale dell'isola con velocità dell'ordine di 1 cm/anno. Inoltre, il confronto tra le velocità calcolate dai dati di livellazione e quelle ottenute dalle cinque campagne di misure GPS, eseguite dal 1997 al 2003, mostra un buon accordo tra i valori della componente "up" (Tabella 2).

Il vertice GPS EPOM, installato sulla cima del M. Epomeo, mostra una velocità di abbassamento (-8.733 ± 1.525 mm/anno) inferiore a quella calcolata al Cs 100A (-11.86 ± 0.86 mm/anno) nel settore NO dell'isola, ma superiore a quella del Cs 35A (-7.35 ± 0.29 mm/anno) nel settore centro-meridionale, fornendo l'indicazione che anche la parte centrale dell'isola è interessata da subsidenza.

Inoltre, l'incremento medio di spostamento verticale subito da ogni Cs della rete di livellazione rispetto alla sua quota (ottenuto dal coefficiente di regressione lineare tra valori di spostamento e quote stesse) è di -0.13 mm/m nel periodo 2003-2010 ed aumenta linearmente nel tempo (considerando periodi più lunghi).

Tale valore è almeno un ordine di grandezza superiore all'eventuale errore sistematico introdotto in una livellazione altimetrica dal mezzo su tratti a forte pendenza (condizione di diversa distanza autolivello-stadia durante le battute "avanti" e "dietro") che rende le variazioni altimetriche misurate dipendenti dalle quote stesse per cui è ipotizzabile qualche altro meccanismo (forse un processo gravitativo) responsabile di una deformazione superficiale che interessa maggiormente le quote più alte dell'isola (-56 ± 3 mm al Cs 35A situato, nel settore centro-meridionale, a 419.583 m slm) (Figura 8).

Invece, per quanto riguarda la subsidenza che interessa il settore NO dell'isola ed in particolare la zona di Fango, l'incremento medio di spostamento verticale calcolato sulla "linea Borbonica" risulta quasi 4 volte superiore a quello dell'intera rete di livellazione con la differenza che in questo caso il Cs 100A, interessato da maggiore deformazione (-83 ± 3.0 mm), è situato ad una quota inferiore (129.122 m slm) (Figura 9).

Un altro processo che potrebbe essere responsabile di questo comportamento è una discontinuità strutturale, che provoca un *creeping* con un rateo costante, maggiore di quello che interessa la zona centro meridionale dell'Epomeo.

Un modo per indagare se e come possono essere correlati i due processi può essere quello di acquisire ulteriori dati alti-

metrici lungo i versanti più alti del M. Epomeo; a tale scopo sono state realizzate le nuove linee di livellazione che si inerpicano verso la cima (Figure 4 e 6).

Considerando l'andamento storico della deformazione del suolo nell'isola d'Ischia ed il prezioso database acquisito, si ritiene opportuno predisporre la programmazione di livellazioni ogni 2 o 3 anni per infittire con misure più frequenti sui tratti con maggiori gradienti di spostamento.

I dati di livellazione possono essere utili ad altri dati geofisici e geochimici. Studi recenti in aree vulcaniche attive come ad esempio i Campi Flegrei [Chiodini et al. 2003; Todesco et al. 2004] hanno messo in luce come l'integrazione di diversi dati rappresenti un importante strumento per la comprensione dei processi vulcano-tettonici.

Ringraziamenti

Si ringraziano Andrea D'Alessandro e Giuseppe Brandi, tecnici afferenti all'Unità Funzionale di Geodesia dell'INGV, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano, per la disponibilità e l'impegno che hanno dimostrato durante le varie fasi di ampliamento della rete altimetrica d'Ischia.

Bibliografia

- Achilli V., (1998). *La rete GPS*. In Rendiconto sull'attività di sorveglianza dell'Osservatorio Vesuviano, anno 1997. Ischia. Deformazioni del suolo, pp. 87-89.
- Acocella V., and Funicello R., (1999). *The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming: The case of the island of Ischia, Italy*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 88, pp. 109-123, doi: 10.1016/S0377-0273(98)00109-7.
- Acocella V. and Funicello R., (2002). *Transverse structures and volcanic activity along the Tyrrhenian margin of central Italy*. Bollettino della Società Geologica Italiana, v. 1, pp. 739-747.
- Bartole R., (1984). *Tectonic structures of the Latian-Campanian shelf (Tyrrhenian Sea)*. Bollettino di Oceanografia Teorica e Applicata, v. 2, pp. 197-230.
- Brown R.J., Orsi G., and de Vita S., (2008). *New insights into late Pleistocene explosive volcanic activity and caldera formation on Ischia (southern Italy)*. Bulletin of Volcanology, v. 70, no. 5, pp. 583-603, doi: 10.1007/s00445-007-0155-0.
- Bruno P.P.G., de Alteriis G. and Florio G., (2002). *The western undersea section of the Ischia volcanic complex (Italy, Tyrrhenian Sea) inferred by marine geophysical data*. Geophysical Research Letters, v. 29, no. 9, doi: 10.1029/2001GL013904.
- Chiesa S., Poli S. and Vezzoli L., (1986). *Studio dell'ultima eruzio-*

- ne storica dell'isola di Ischia. Bollettino del Gruppo Nazionale di Vulcanologia, pp. 153–166.
- Chiodini G., Avino R., Brombach T., Caliro S., Cardellini C. de Vita S., Frondino F., Granieri D., Marotta E., Ventura G., (2004). *Fumarolic and diffuse soil degassing west of Mount Epomeo, Ischia, Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res. v. 133, pp. 291-309.
- Chiodini G., Todesco M., Caliro S., Del Gaudio C., Macedonio G. e Russo M., (2003). *Magma degassing as a trigger of braydseismic events: the case of Phlegrean Fields (Italy)*. Geophys. Res. Lett., v. 30 (8), pp. 1434-1438.
- Civetta L., Gallo G. and Orsi G., (1991). *Sr- and Nd- isotope and trace-element constraints on the chemical evolution of the magmatic system of Ischia (Italy) in the last 55 ka*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 46, pp. 213–230, doi: 10.1016/0377-0273(91)90084-D.
- Civetta L., De Vivo A., Orsi G. and Polara G., (1999). *Il vulcanismo a Ischia in età greco-romana secondo le evidenze geologiche e le testimonianze storico-letterarie*. Vichiana: Rassegna di studi filologici e storici: 4a serie, Anno I, n. 1, Napoli, Loffredo, pp. 15–32.
- Corrado G., Grimaldi M., Lo Bascio A., Luongo G., (1979). *Deformazioni del suolo ai Campi flegrei, Ischia e Vulcano*. Rapporto U.O. 3.1.1 Progetto Finalizzato Geodinamica.
- Cubellis E., and Luongo G., (1998). *Il terremoto del 28 luglio 1883 a Casamicciola nell'isola d'Ischia. Il contesto fisico*. Servizio Sismico Nazionale, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Vol. 1, pp. 49-123.
- D'Argenio B., Pescatore T. and Scandone P., (1973). *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Atti del Convegno Moderne vedute sulla Geologia dell'Appennino: Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, p. 183.
- de Vita S., Sansivero F., Orsi G., and Marotta E., (2006). *Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: The Ischia island (Italy) case study*. Engineering Geology, v. 86, pp. 148–165, doi: 10.1016/j.enggeo.2006.02.013.
- de Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E., Piochi M. (2010). *Volcanological and structural evolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 k.y.* The Geological Society of America Special Paper 464: 193-241.
- Del Gaudio C., Obrizzo F., Ricco C., (1987). *Ristrutturazione della rete altimetrica e livellazione di precisione ad Ischia*. Rapporto interno Osservatorio Vesuviano, Giugno 1987.
- Del Gaudio C., Borgstrom S., De Martino P., Sepe V., (1999). *Ischia: Rete GPS*. Osservatorio Vesuviano Rend. att. sorv. I semestre 1999, pp. 61-62.
- Finetti I. and Morelli C., (1974). *Esplorazione sismica a riflessione dei Golfi di Napoli e Pozzuoli*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, v. 16, pp. 175–222.
- Gillot P.Y., Chiesa S., Pasquarè G. and Vezzoli L., (1982). *<33,000 yr K-Ar dating of the volcano-tectonic horst of the Isle of Ischia, Gulf of Naples*. Nature, v. 299, pp. 242–245, doi: 10.1038/299242a0.
- Iacono A., (1996). *La "Guerra d'Ischia"*. In De Bello Neapolitano di G. Pontano. Quaderni dell'Accademia Pontaniana, v. 19, pp 1–90.
- INGV-Osservatorio Vesuviano (2001). *Rendiconto sull'attività di sorveglianza*, pp. 66-69.
- INGV-Osservatorio Vesuviano (2002). *Rendiconto sull'attività di sorveglianza*, pp. 83-84.
- INGV-Osservatorio Vesuviano (2003). *Rendiconto sull'attività di sorveglianza*, pp. 137-155.
- INGV-Osservatorio Vesuviano (2004). *Rendiconto sull'attività di sorveglianza*, pp. 104-113.
- Ippolito F., Ortolani F. and Russo M., (1973). *Struttura marginale tirrenica dell'Appennino Campano: Reinterpretazione di dati di antiche ricerche di idrocarburi*. Memorie della Società Geologica Italiana, v. 12, pp. 227–250.
- Manzo M., Ricciardi G.P., Casu F., Ventura G., Zeni G., Borgstrom S., Berardino P., Del Gaudio C., Lanari R., (2006). *Surface deformation analysis in the Ischia Island (Italy) based on spaceborne radar interferometry*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 151, pp. 399–416.
- Marotta E., (2001). *Processi Deformativi all'Interno di Caldere Risorgenti: Analisi Strutturale dell'Isola d'Ischia e Comparazione con Altre Aree Risorgenti*. [Ph.D. thesis]: Naples, Italy, University of Naples, 214 pp.
- Nappi R., Alessio G., Bellucci Sessa E., (2010). *A case study comparing landscape metrics to geologic and seismic data from the Ischia Island (Southern Italy)*. Applied Geomatics, 2:73-82, DOI: 10.1007/s12518-010-0023z.
- Orsi G., Gallo G. and Zanchi A., (1991). *Simple-shearing block resurgence in caldera depression. A model from Pantelleria and Ischia*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 47, pp. 1–11, doi: 10.1016/0377-0273(91)90097-J.
- Orsi G., Gallo G., Heiken G., Wohletz K., Yu E. and Bonani G., (1992). *A comprehensive study of the pumice formation and dispersal: The Cretatio Tephra of Ischia (Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 53, pp. 329–354, doi: 10.1016/0377-0273(92)90090-Z.
- Orsi G., de Vita S. and Piochi M., (1994). *Ischia: A volcanic island*. In Carannante, G., and Tonielli, R., eds., International Association of Sedimentologists 15th Regional Meeting, April 1994, Ischia, Italy, Fieldtrip Guidebook: Napoli, De Frede, pp. 107–123.
- Orsi G., Piochi M., Campajola L., D'Onofrio A., Gialanella L. and Terrasi F., (1996). *¹⁴C geochronological constraints for the volcanic history of the island of Ischia (Italy) over the last 5,000 years*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 71, pp. 249–257, doi:

- 10.1016/0377-0273(95)00067-4.
- Piochi M., Civetta L. and Orsi G., (1999). *Mingling in the magmatic system of Ischia (Italy) in the past 5 ka*. *Mineralogy and Petrology*, v. 66, pp. 227–258, doi: 10.1007/BF01164495.
- Piochi M., Bruno P.P. and De Astis G., (2005). *Relative roles of rifting tectonics and magma ascent processes: Inferences from geophysical, structural, volcanological and geochemical data for the Neapolitan volcanic region (southern Italy)*. *G3*, v. 6, no.7, Q07007, doi: 10.1029/2004GC000885.
- Sansivero F., (1999). *Assetto Stratigrafico ed Evoluzione Vulcanologica del Settore Orientale dell'Isola d'Ischia negli Ultimi 10 ka*. [Ph.D. thesis]: Naples, Italy, University of Naples, 203 pp..
- Sepe V., Ventura G., Vilaro G., (2009). *Integrated methodologies for 3D deformation analysis at Ischia Island (Italy): state of the art, prospectives and modelling*. Proceeding to ISDE 2009, Pechino 09-12 settembre 2009. Extended abstract and Oral presentation.
- Sepe V., Atzori S., and Ventura G., (2007). *Subsidence due to crack closure and depressurization of hydrothermal systems: a case study from Mt Epomeo (Ischia Island, Italy)*. *Terra Nova*, vol. 19, pp. 127-132, doi:10.1111/j.1365-3121.2006.00727.x .
- Tibaldi A. and Vezzoli L., (1998). *The space problem of a caldera resurgence. An example from Ischia Island, Italy*. *Geologische Rundschau*, v. 87, pp. 53–66, doi: 10.1007/s005310050189.
- Tibaldi A. and Vezzoli L., (2000). *Late Quaternary monoclinial folding induced by caldera resurgence at Ischia, Italy*. In Cosgrove, J.W., and Ameen, M.S., eds., *Forced Folds and Fractures: Geological Society of London Special Publication 169*, pp. 103–113.
- Tibaldi A. and Vezzoli L., (2004). *A new type of volcano flank failure: The resurgent caldera sector collapse, Ischia, Italy*. *Geophysical Research Letters*, v. 31, doi: 10.1029/2004GL020419.
- Todesco M., Rutqvist J., Chiodini G., Pruess K., e Oldenburg C. M., (2004). *Modeling of recent volcanic episodes at Phlegrean Fields (Italy): geochemical variations and ground deformation*. *Geothermics*, v. 33, pp. 531-547.
- Vezzoli L., (1988). *Island of Ischia*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Quaderni de "La Ricerca Scientifica," v. 114, no. 10, p. 122.

Indice

Introduzione	4
1. Inquadramento geologico - strutturale	5
2. Rete altimetrica	6
2.1 Ampliamento della rete altimetrica nel 2010	6
3. Descrizione delle misure di campagna	8
4. Discussione dei dati	9
5. Confronto con i dati GPS nel periodo 1997-2003	12
Conclusioni	14
Ringraziamenti	14
Bibliografia	14

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2011 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia