ISSN 0391-5190

MEMORIE DELLA SOCIETÀ GEOGRAFICA ITALIANA
VOLUME LXXXVII

AMBIENTE GEOMORFOLOGICO E ATTIVITÀ DELL'UOMO

RISORSE, RISCHI, IMPATTI

a cura di VALERIO AGNESI

I

SOCIETÀ GEOGRAFICA ITALIANA
ONLYS

Roma - 2009

MEMORIE DELLA SOCIETÀ GEOGRAFICA ITALIANA
VOLUME LXXXVII

AMBIENTE GEOMORFOLOGICO E ATTIVITÀ DELL'UOMO

RISORSE, RISCHI, IMPATTI

Atti II Convegno Nazionale A.I.Geo
Torino, 28-30 marzo 2007

in ricordo di Augusto Biancotti

a cura di VALERIO AGNESI

I

SOCIETA' GEOGRAFICA ITALIANA
ONLYS

Roma - 2009

ROSA NAPPI *, GIULIANA ALESSIO *,
ELIANA BELLUCCI SESSA * e GIUSEPPE VILARDO *

ANALISI MORFOMETRICA INTEGRATA IN AMBIENTE GIS APPLICATA AD AREE TETTONICAMENTE ATTIVE

ABSTRACT: *Integrated Morphometric Analysis in GIS Environment Applied to Active Tectonic Areas.* – This paper describes a methodology of integrated analysis applied to the study of geological deformation due to recent tectonics and morphogenesis on a regional and local scale. The analysis has been carried out by integrating morphological data, morphometrical data derived by DTMs (Digital Terrain Models) processing, with literature geological and geomorphological data, aerial photo interpretation and field surveys, as well as with seismological data. The study areas that have been selected for testing our methodology are the Agri Valley (Campania-Lucania regions), hit by the strong historical earthquake of 26th December, 1857 (Imax=XI, Me=7.0); the Tammaro River basin (Campania-Molise regions), affected in historical time by the strong earthquake of 5th June, 1688 (Imax=XI, Me=6.7) and in recent time by seismic sequences of moderate energy; the Ischia Island (Thyrrenian sea - Campania region), characterized by historical and recent volcano-tectonic activity. Finally, the consistency and congruency of the obtained results have been verified in the light of a coherent model of deformation source. The results obtained in this work have showed the applicability of this methodology, so far utilized only for tectonic areas with active deformation, also to active volcanic areas, proving the advantage of such methodological approach for the assessment of geological-environmental hazard in an area.

Keywords: DTM, morphometric analysis, GIS.
Parole chiave: DTM, analisi morfometrica, GIS.

Introduzione

Lo scopo di questo studio è quello di dimostrare l'efficacia di una metodologia integrata di indagine basata sull'analisi di DTM a varia

* INGV, Osservatorio Vesuviano, Napoli.

risoluzione (pixel 20x20 m, 5x5 m e 2x2 m) in ambiente GIS (*Geographical Information System*) per riconoscere le deformazioni indotte sul territorio dalla tettonica e dai processi morfologici a scala regionale e locale.

Le aree di studio scelte, ovvero la Val d'Agri (Campania-Lucania), il bacino del Fiume Tammaro (Campania-Molise) e l'Isola d'Ischia (Campania), sono soggette a sismicità di elevata energia (CPTI, 1999) come riportato nella figura 1.

In particolare, complessa e dibattuta è la questione relativa alla geometria e all'ubicazione delle faglie sismogenetiche del terremoto del Sannio del 1688, che ha interessato il bacino del Tammaro, e delle faglie relative al terremoto della Val d'Agri del 1857 (Benedetti *et al.*, 1998; Valensise, Pantosti, 2001a; Vilardo *et al.*, 2003; Maschio *et al.*, 2005; Di Bucci *et al.*, 2006). Anche per l'Isola d'Ischia è tuttora di difficile interpretazione la ricostruzione del quadro cinematico e dinamico, essendo ancora molto controversa la distinzione tra le defor-

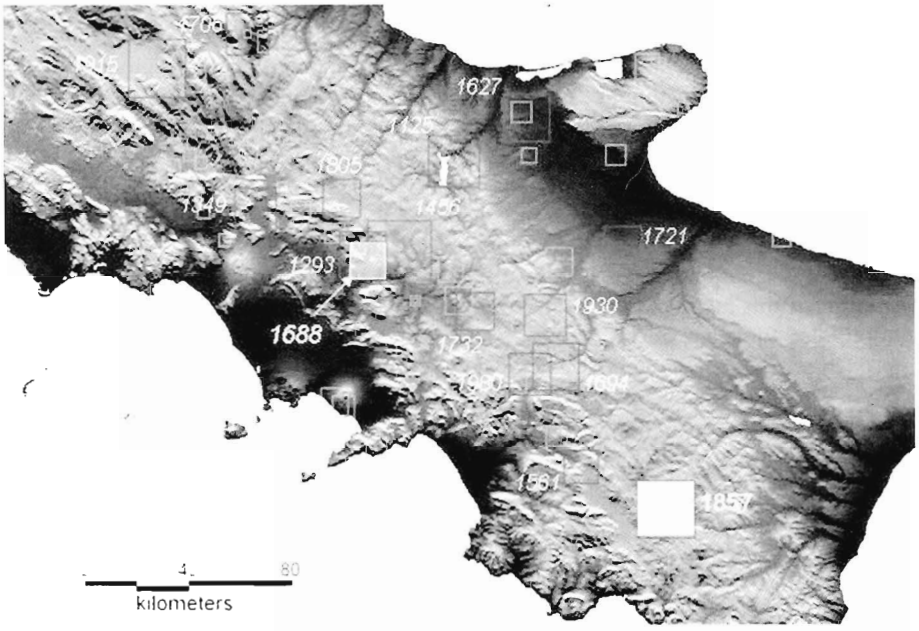


Fig 1 - *Epicentri dei più forti terremoti delle aree di studio scelte (riquadri grigi): il Terremoto del Sannio del 1688 (Imax=XI, Me=6.6, CPTI, 1999), il Terremoto della Val D'Agri del 1857 (Imax=XI, Me=7.0, CPTI, 1999) e il Terremoto di Casamicciola del 1883 (Imax=IX, Me=5.6, CPTI, 1999).*

mazioni dovute a tettonica e quelle correlate a dinamiche vulcaniche e/o gravitative (ALESSIO *et al.*, 1996; DE VITA *et al.*, 2006).

L'approccio metodologico descritto in questo lavoro si è rivelato utile, perché ha consentito di ottenere informazioni originali che, integrate con i dati già noti, hanno fornito un valido contributo per la ricostruzione di un modello più attendibile delle deformazioni in atto in aree complesse come quelle studiate, utilizzabile anche per l'analisi del rischio geologico-ambientale inteso in senso generale.

Metodologia

La metodologia adottata si basa sull'estrazione da DTM di dati morfologici e morfometrici (JORDAN *et al.*, 2005) e sull'analisi di quest'ultimi integrata da dati sismologici e da dati geologico-geomorfologici derivati dalla letteratura o da ricognizioni di campagna.

L'analisi geomorfico-quantitativa della topografia da DTM a varia risoluzione (pixel 20x20 m, 5x5 m e 2x2 m) è stata sviluppata attraverso la realizzazione delle seguenti fasi:

- produzione del DTM generato per interpolazione dei dati altimetrici estratti da cartografia vettoriale;
- estrazione ed analisi dei parametri topografici, finalizzata all'individuazione e all'analisi statistica delle continuità lineari e dei lineamenti significativi associabili a faglie. I principali parametri analizzati sono: a) *terrain aspect*, che rappresenta la direzione del versante a pendenza massima e mette in evidenza la continuità delle linee di cresta; b) *slope gradient*, che rappresenta il tasso di variazione della quota e mette in evidenza i cambi di pendenza, sottolineando la presenza di scarpate o rotture del versante; c) *tangential curvature*, che misura la curvatura in relazione ad un piano verticale perpendicolare alla direzione del gradiente e mette in evidenza le continuità lineari della topografia; d) *profile curvature*, che rappresenta la misura del tasso di variazione della curvatura nella direzione di massima pendenza; e) *topographic residual surface*, che rappresenta la misura del rilievo all'interno di un bacino di drenaggio; alti valori di *residual* sono correlati con aree in rapido sollevamento. Questa superficie si ottiene calcolando la differenza fra due superfici derivate dal DTM: (1) l'*envelope surface* e

(2) la *subenvelope surface* (HILLEY, ARROWSMITH, 2000). L'*envelope surface* rappresenta la superficie ottenuta dall'inviluppo di tutte le creste della topografia, la *subenvelope surface* rappresenta la superficie ottenuta dall'inviluppo di tutte le valli. L'algoritmo usato per queste analisi è quello di Hilley e Arrowsmith (2000) modificato;

- studio del reticolo di drenaggio: 1) valutazione degli indici geomorfici (KELLER e PINTER, 2002), come il fattore di asimmetria AF, il fattore di simmetria topografica trasversale T, il gradiente della lunghezza del fiume SL e la sinuosità del fronte montuoso (Smf); 2) profili longitudinali adiacenti alle principali aste fluviali ed il profilo differenziale ottenuto dalla differenza tra il profilo topografico longitudinale adiacente al fiume e il profilo longitudinale relativo al letto del fiume; 3) estrazione dei sottobacini; 4) estrazione delle aste fluviali; 5) analisi statistica delle aste fluviali (BELLUCCI *et al.*, 2007);
- studio e correlazione delle superfici terrazzate (terrazzi fluviali, paleosuperfici) per valutare l'eventuale *tilting* connesso alla deformazione tettonica.

L'analisi dei dati geologico-strutturali e geomorfologici da letteratura e da campagna ha previsto:

- raccolta, catalogazione e georeferenziazione di materiale cartografico della copertura ufficiale del territorio italiano, nonché di pubblicazioni scientifiche relative alle aree in questione;
- raccolta e georeferenziazione dei dati di campagna rilevati *ad hoc*.

L'analisi dei dati sismologici ha comportato:

- estrazione degli ipocentri degli eventi storici e recenti dai cataloghi esistenti in letteratura, per l'individuazione di eventuali lineamenti attivi;
- elaborazione dei meccanismi focali degli eventi sismici e/o relativa consultazione dai cataloghi di letteratura (PONDRELLI *et al.*, 2006).

Applicazione alle aree scelte

VAL D'AGRI

L'alta Val d'Agri è un bacino intermontano situato lungo l'asse della dorsale Appenninica, al confine tra Campania e Basilicata. Que-

sta depressione tettonica Quaternaria allungata in direzione NO-SE è delimitata a sud-ovest dalla catena dei Monti della Maddalena, che la separa dal bacino Quaternario del Vallo di Diano. Il bacino dell'alta Val d'Agri è stato la zona epicentrale del terremoto distruttivo del 26 dicembre 1857 (I_{max}=XI, M_e=7.0) (MALLET, 1862; CPTI, 1999).

Questo evento si inquadra nella sismicità caratteristica dell'Italia Meridionale, dove gli eventi di magnitudo più elevata (M≥7) sono concentrati lungo l'asse della catena Appenninica e sono caratterizzati da meccanismi focali di tipo diretto. La localizzazione e geometria della faglia responsabile del terremoto del 1857 è una questione tuttora aperta e le principali ipotesi interpretative sono riportate in Benedetti *et al.* (1998), Valensise e Pantosti (2001a), Maschio *et al.* (2005) (fig. 2a). Il problema principale che caratterizza le sorgenti sismogenetiche in Appennino Meridionale è rappresentato dal difficile riconoscimento degli effetti superficiali dovuti al terremoto (VALENSISE e PANTOSTI, 2001b) poiché sono vari i fattori tettonici e geomorfologici che coesistono, quali: la topografia ereditata dalla tettonica pre-quaternaria, la probabile fagliazione cieca o nascosta, i bassi ratei di deformazione tettonica, la giovinezza delle sorgenti. In questo difficile contesto, l'applicazione di una metodologia di analisi integrata diventa indispensabile ai fini di acquisire dati indipendenti e nuovi elementi geomorfologici che possano avvalorare le ipotesi proposte.

L'analisi geomorfica quantitativa, che è stata eseguita utilizzando un DTM a media risoluzione (20x20 m), ha consentito l'identificazione di una serie di lineamenti ad orientazione NO-SE che, lungo il versante occidentale della valle, risultano spazialmente continui e uniformemente distribuiti, anche fuori del bacino, e coincidenti con scarpate recenti, mentre sul versante orientale della valle coincidono con il sistema di faglie ovest-immergenti identificate sul terreno (figg. 2b e 2c).

È stato eseguito, inoltre, uno studio sulle paleosuperfici del bacino (NAPPI *et al.*, 2002). Studi precedenti effettuati sulle paleosuperfici della Val d'Agri (AMATO e CINQUE, 1999; GIANO *et al.*, 1997, 2000; SCHIATTARELLA *et al.*, 2003) hanno avuto come obiettivo la caratterizzazione del sollevamento tettonico regionale. Al contrario, allo scopo di acquisire informazioni sulla deformazione della topografia dovuta alla faglia attiva, sono state effettuate ulteriori analisi e correlazioni basate su criteri morfologici, quali la continuità spaziale delle superfici, la conformità di quota e la variazione della pendenza. Sulla base di tali analisi, sono

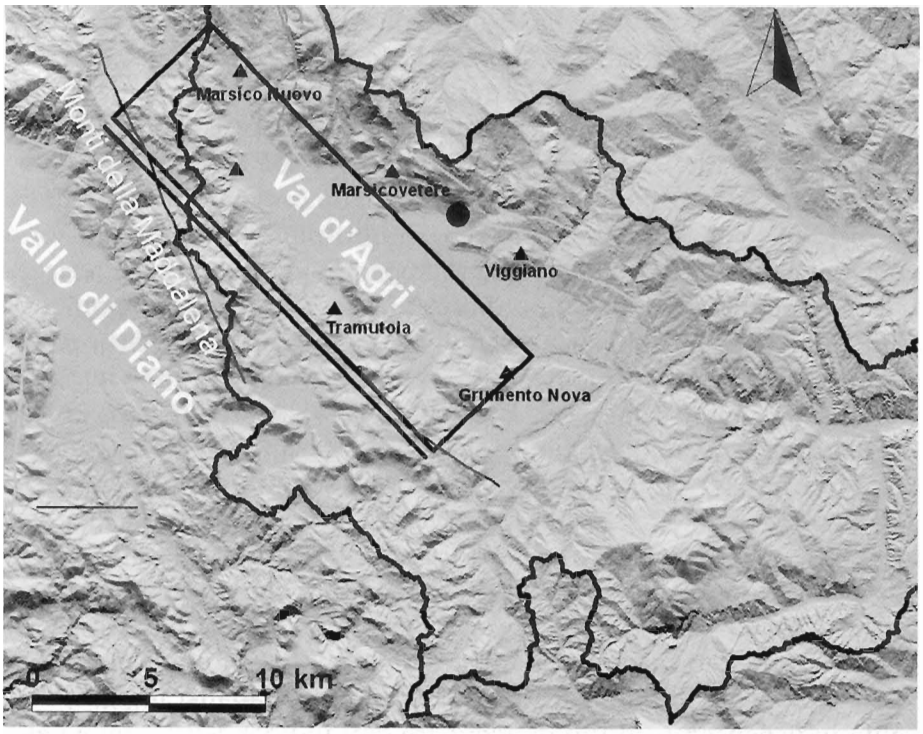

Marsico Nuovo
Monti della Maddalena
Val d'Agri
Marsicovetere
Vallo di Diano
Viggiano
Tramutola
Grumento Nova
0
5
10 km

Fig. 2a

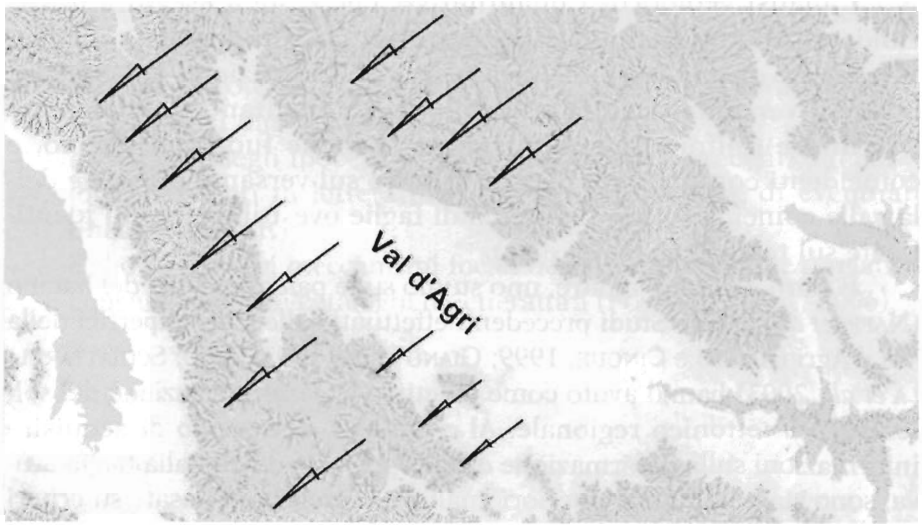

Val d'Agri

Fig. 2b

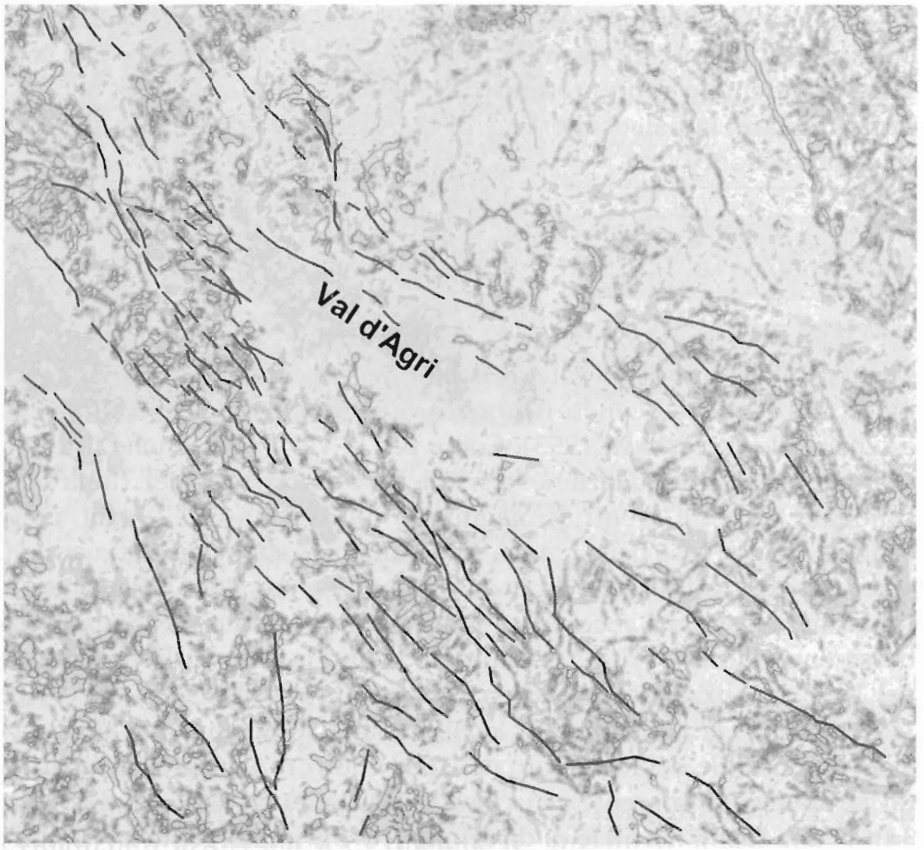


Fig. 2c

Fig. 2 - *a) Faglie della Val d'Agri: box nero (Valensise e Pantosti, 2001a); in grigio (Benedetti et al., 1998 e Maschio et al., 2005). Parametri morfometrici estratti da DTM; b) Low pass tangential curvature con i lineamenti evidenziati dalle frecce; c) Topographic residual surface con i lineamenti morfostrutturali estratti (in grigio scuro) e i lineamenti strutturali di letteratura che indicano fagliazione attiva (in nero).*

stati quindi individuati otto ordini di paleosuperfici, ma la distribuzione dei vari ordini rispetto alla topografia attuale non è la stessa su entrambi i versanti del bacino. La superficie di quota più elevata (1.700-1.550 m s.l.m.), considerata dagli Autori la più antica (AMATO e CINQUE, 1999; GIANO *et al.*, 1997, 2000), è riconoscibile nel paesaggio ed è presente solo sul versante orientale del bacino. Le paleosuperfici di quota più bassa, considerate anche le più giovani (AMATO e CINQUE, 1999; GIA-

NO *et al.*, 1997, 2000), sono distribuite in piccoli lembi che mostrano continuità lineare sul versante orientale della valle mentre sul versante occidentale sono presenti solo nella zona centrale del bacino; in particolare, la paleosuperficie di quota 930-880 m mostra evidenze di fagliazione.

Bacino del Fiume Tammaro

L'area del Sannio, in cui ricade il bacino del Fiume Tammaro, è situata all'interno della catena dell'Appennino Meridionale che dal medio-tardo Pleistocene è stata sottoposta ad un campo di stress estensionale (Westaway, 1993). Come per la Val d'Agri, anche il terremoto del 1688 si inquadra nella sismicità caratteristica dell'Italia meridionale, dove gli eventi di magnitudo più elevata ($M \geq 7$) sono concentrati lungo l'asse della catena Appenninica e sono caratterizzati da meccanismi focali di tipo diretto (Pondrelli *et al.*, 2006). Per quanto riguarda la sismicità recente, si sono verificate sequenze sismiche di bassa energia nel 1990-92, localizzate vicino la città di Benevento, e nel 1997, localizzate al confine tra Campania e Molise (Milano *et al.*, 1999; Vilardo *et al.*, 2003). La localizzazione e la geometria della faglia responsabile del terremoto del 1688 è ancora fortemente dibattuta. Le ipotesi di sorgente più rilevanti, in letteratura, sono due (fig. 3a): 1) una faglia normale di direzione NO-SE immergente a NE, lunga 25 km, parallela al margine SO del bacino del Fiume Tammaro (Valensise e Pantosti, 2001a); 2) una faglia normale di direzione ONO-ESE, immergente a NE, lunga 32 km, localizzata lungo la valle del Fiume Calore (Di Bucci *et al.*, 2006). Nello studio di questa sorgente la metodologia è stata applicata integralmente vista la disponibilità di dati di elevata qualità.

È stato prodotto un DTM ad alta risoluzione (5x5 m pixel) derivato dai dati vettoriali della Carta Tecnica Regionale della Campania in scala 1:5.000.

Gli indici morfometrici del reticolo idrografico, quali l'indice di Sinuosità del fronte montuoso (Smf) ed il fattore di simmetria topografica trasversale (T), hanno evidenziato una probabile attività tettonica recente che condiziona tutto il corso del Fiume Tammaro ($1.2<Smf<2.5$) ed una asimmetria verso SO del bacino stesso ($T=1$ bacino asimmetrico) (figg. 3a, 3b). Il profilo differenziale del Fiume

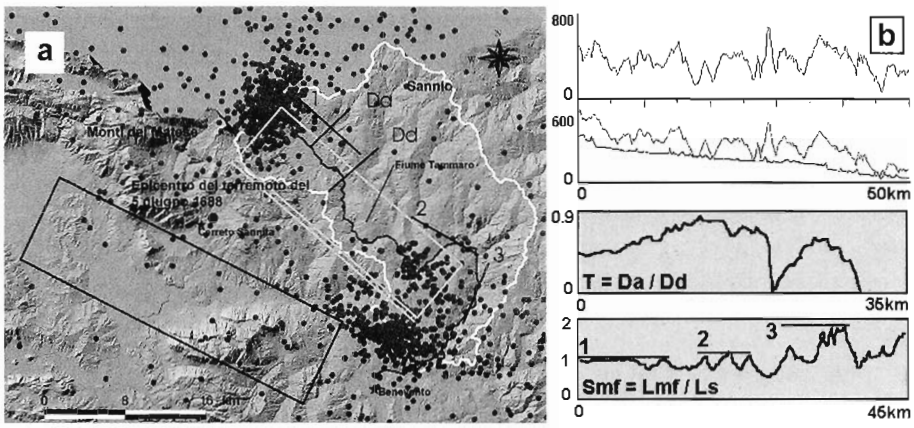


Fig. 3 - *a) Sismicità strumentale nell'area del Sannio dal 1980 al 2006 (cerchi neri) e principali ipotesi di sorgente del 1688, in grigio chiaro Valensise e Pantosti, (2001a), in nero Di Bucci et al. (2006); b) Dall'alto verso il basso: profilo differenziale del F. Tammaro, profilo topografico e longitudinale; T fattore di asimmetria lungo il profilo precedente; Smf sinuosità del fronte montuoso lungo i tratti 1, 2, 3 della mappa a sinistra.*

Tammaro ha messo in evidenza, sia pure in lieve misura, il comportamento prevalentemente deposizionale della porzione iniziale del profilo (20 km) (fig. 3b).

L'analisi dei parametri topografici estratti dal DTM (fig. 4) ha evidenziato la presenza di lineamenti significativi con direzione NO-SE in destra orografica del bacino del Fiume Tammaro. Dall'analisi morfologica da Ortofoto (1x1 m pixel) e di campagna è stato riconosciuto un versante a faccette triangolari, non connesso ad erosione differenziale, correlabile con un lineamento morfostrutturale estratto da dati topografici (fig. 7), lungo il quale si allineano piccoli bacini recenti, condizioni che farebbero ipotizzare un versante strutturale attivo.

Isola d'Ischia

L'Isola d'Ischia, ubicata nel Golfo di Napoli, è stata caratterizzata, in epoca storica e recente, dalla sismicità, dal vulcanismo, dal fenomeno della risorgenza calderica e dall'instabilità dei versanti. L'assetto strutturale è caratterizzato da una caldera e dall'alto strutturale e morfologico del Monte Epomeo, interpretato dagli Autori come

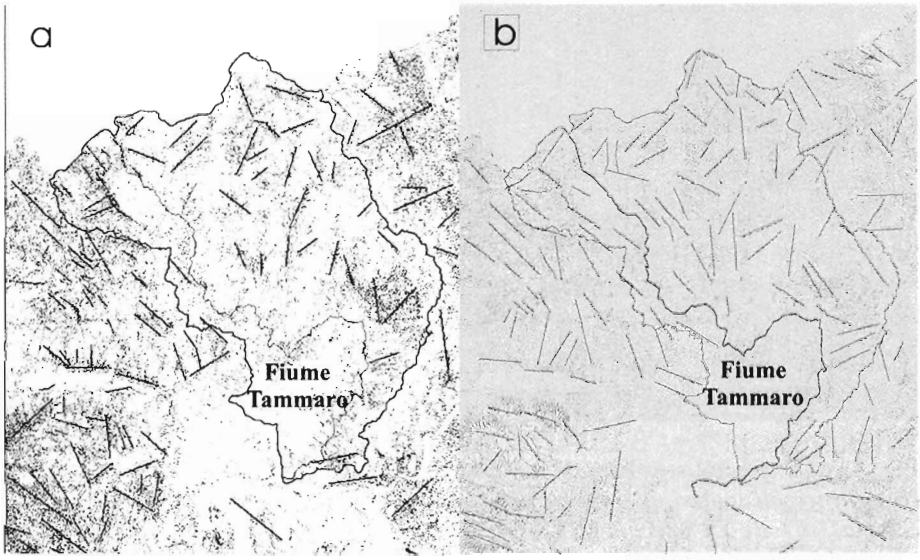


Fig. 4 - *Parametri morfometrici del bacino del Fiume Tammaro con i lineamenti estratti: a) Slope gradient; b) Tangential curvature.*

un horst vulcano-tettonico e come il risultato di una risorgenza calderica (VEZZOLI, 1988; ORSI *et al.*, 1991; TIBALDI e VEZZOLI, 2004; BROWN *et al.*, 2008) (fig. 5).

Attualmente, il fianco meridionale del blocco strutturale del Monte Epomeo e la zona NO dell'isola sono caratterizzati da frane dovute sia ad instabilità gravitativa, per le forti pendenze dei versanti, sia allo scuotimento relativo ai forti terremoti del 1881 e 1883 (CPTI, 1999) correlati alle faglie E-O che bordano il settore più settentrionale dell'isola.

La deformazione tettonica recente è localizzata nella fascia settentrionale che va da Casamicciola Porto alle propaggini settentrionali del Monte Epomeo (ALESSIO *et al.*, 1996). Fortemente dibattuta è la ricostruzione del quadro cinematico e dinamico dell'isola perché risulta difficile distinguere le deformazioni dovute a tettonica da quelle vulcaniche e gravitative; è comunemente accettato però che lo stato deformativo sia associato alla risorgenza e alla sovrapposizione del campo di stress regionale e indotto dalla risorgenza stessa (DE VITA *et al.*, 2006). Per affrontare le problematiche sopra esposte è stata condotta un'analisi geomorfica e topografica di dettaglio (NAPPI *et al.*, 2006) sulla base di un DTM ad altissima risoluzione (2x2 m pixel),

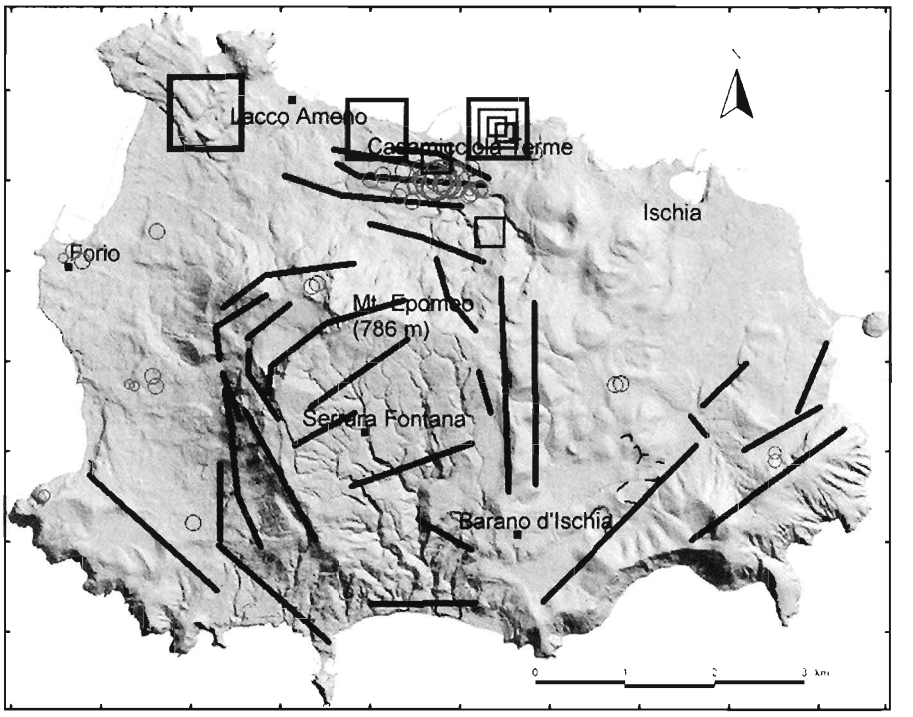


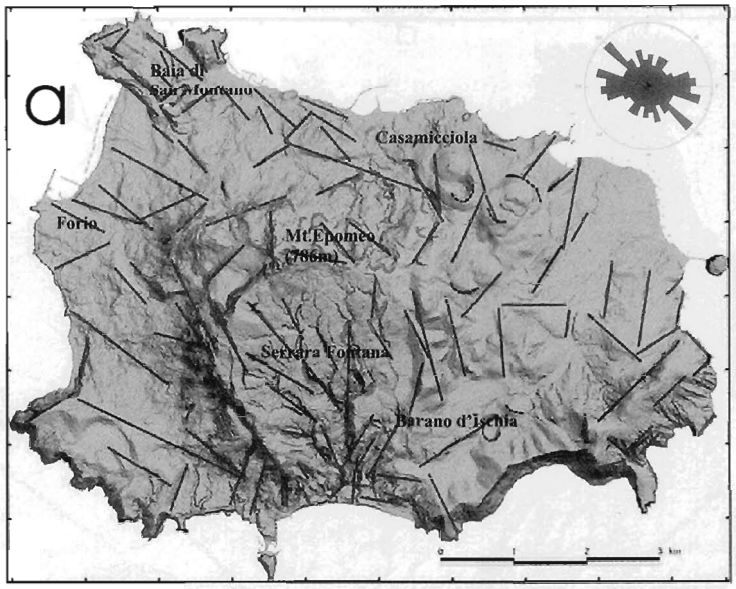
Fig. 5 - *DTM dell'Isola d'Ischia con gli epicentri dei terremoti storici più forti estratti dal CPTI (1999) e da Alessio et al. (1996) (quadrati di dimensione proporzionale alla magnitudo equivalente e cerchi grigi); faglie da Vezzoli (1988).*

prodotto utilizzando dati altimetrici vettoriali in scala 1:2.000.

L'analisi dei parametri morfometrici estratti ha evidenziato la presenza di allineamenti morfostrutturali con distribuzione azimuthale prevalente in direzione ONO-ESE, NO-SE e una concentrazione minore in direzione NE-SO (fig. 6).

Risultati e conclusioni

La fase conclusiva del processo di analisi descritto ha previsto la verifica della consistenza e congruenza dei differenti risultati ottenuti e la relativa interpretazione alla luce di un modello coerente delle deformazioni in atto nelle aree studiate. L'applicazione della metodologia descritta per la Val d'Agri ha evidenziato che i lineamenti



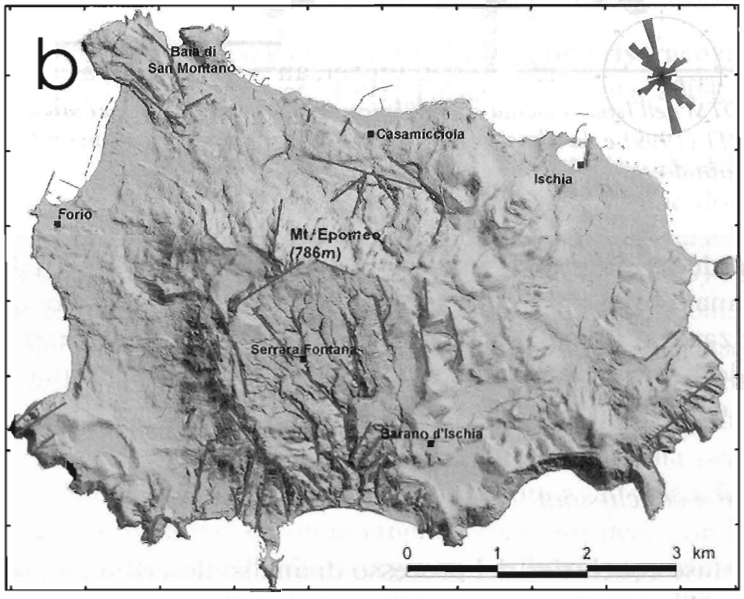


Fig. 6 - *Isola d'Ischia. Parametri morfometrici con i lineamenti estratti e relativi diagrammi a rosa: a) Lineamenti estratti dallo slope gradient; b) Lineamenti estratti dal topographic residual surface.*

morfostrutturali individuati sono congruenti con la traccia superficiale della faglia di Maschio *et al.* (2005). Questi lineamenti che congiungono diversi bacini intermontani presenti solo sul versante occidentale del bacino, lungo la dorsale dei Monti della Maddalena, coincidono, in alcuni casi, con scarpate in depositi recenti, avvalorando, quindi, l'ipotesi della loro potenziale origine tettonica (fig. 2c). La presenza della paleosuperficie di quota 930-880 m, sul lato occidentale del bacino, con evidenza di fagliazione, la cui età è attribuita all'incirca al Pleistocene medio (0.75 Ma) (AMATO e CINQUE, 1999; SCHIATTARELLA *et al.*, 2003), farebbe pensare ad un versante attivo, soggetto a deformazione sicuramente successiva al Pleistocene medio. L'interpretazione dei dati estratti conferma per la Val d'Agri l'ipotesi di letteratura maggiormente accreditata di una sorgente sismogenetica con direzione NO-SE, immergente ad Est.

Per l'area del bacino del Tammaro i risultati ottenuti attraverso l'applicazione della metodologia descritta hanno evidenziato che la forte asimmetria del bacino stesso, non condizionata dalla geologia, possa essere associata ad un condizionamento tettonico in direzione SO. Anche la presenza dei lineamenti di direzione NO-SE in destra orografica del Fiume Tammaro, come descritto nel paragrafo precedente, può essere correlata con un versante strutturale attivo. La presenza di aree di bacino, allineate in corrispondenza di alcuni lineamenti morfostrutturali estratti, può essere associata ad un'attività tettonica recente. Dall'analisi dei dati sismologici è emerso che le sequenze di bassa energia, progressivamente attivate, si concentrerebbero in particolare lungo alcuni lineamenti strutturali esposti in superficie (fig. 7). Inoltre alcuni *cluster* di eventi (n. 5 e n. 3) relativi alle stesse sequenze sono concentrati ai margini della sorgente sismogenetica del terremoto del 1688 proposta da Valensise e Pantosti (2001a) (fig. 3a), perciò è possibile ipotizzare che agiscano da *segment boundary* rispetto alla sorgente stessa (NAPPI *et al.*, 2008), vincolandone le dimensioni lineari.

Relativamente all'Isola di Ischia, l'analisi spaziale e statistica dei lineamenti morfostrutturali estratti ha evidenziato che la principale direzione dei lineamenti ONO-ESE è consistente con la deformazione estensionale NNO-SSE relativa alle strutture tettoniche locali più recenti. L'analisi dei lineamenti estratti dal *topographic residual surface* (fig. 6b) ed il confronto con i dati e le informazioni disponibili in letteratura (VEZZOLI, 1988), sembrano evidenziare una forte correlazio-

ne tra i lineamenti morfostrutturali estratti nella zona a nord del Monte Epomeo e quelli rilevati da Alessio *et al.* (1996) (fig. 8).

La metodologia applicata ai casi di studio analizzati, si è rivelata efficace sia perché ha consentito di produrre dati morfostrutturali originali, utili all'interpretazione della deformazione, sia perché ha permesso di verificare e validare i dati di letteratura maggiormente accreditati, fornendo dunque un valore aggiunto alle interpretazioni e alle

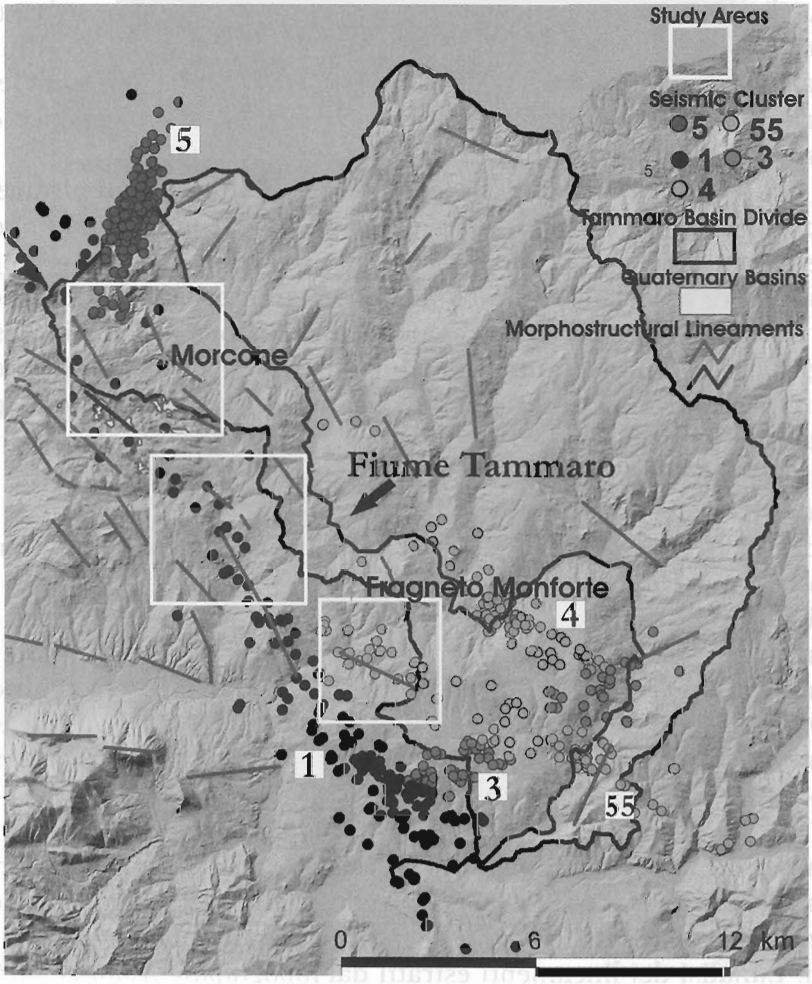


Fig. 7 - *Lineamenti morfostrutturali estratti (grigio); allineamenti dei cluster della sismicità recente (numero per ogni cluster) e box delle aree da indagare (bianco).*

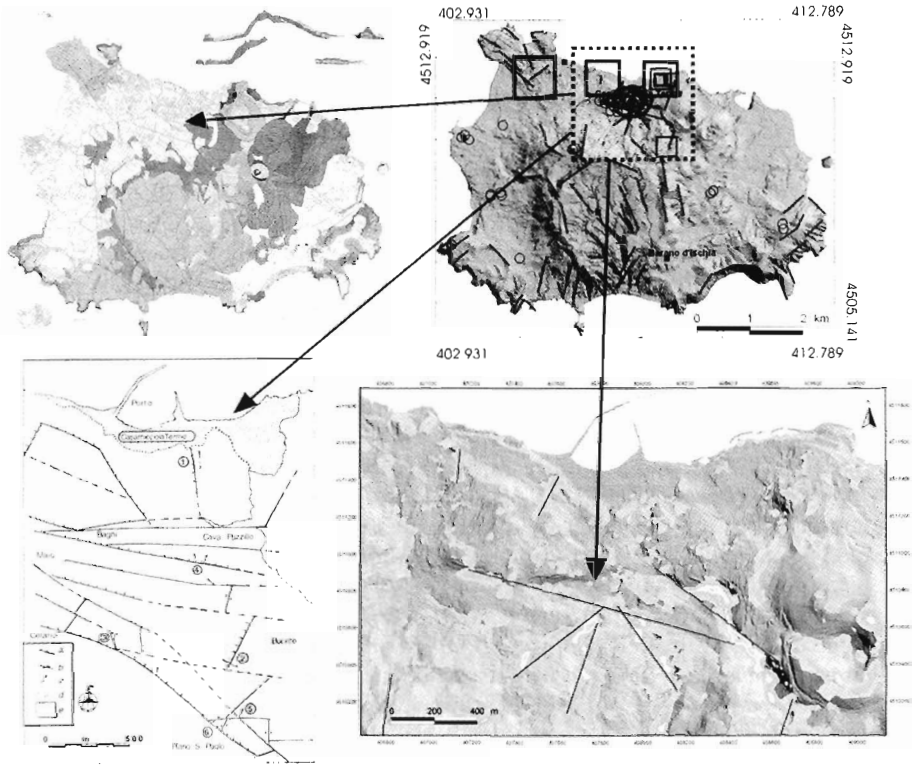


Fig. 8 - *Zoom della zona a nord del Monte Epomeo dove i lineamenti morfostrutturali estratti coincidono con quelli cartografati dagli Autori e con le aree epicentrali dei più forti terremoti storici.*

analisi future. Inoltre, i risultati ottenuti dimostrano l'applicabilità del metodo, finora utilizzato esclusivamente per lo studio di faglie attive in aree tettoniche, anche in aree vulcaniche attive, confermando l'utilità e dunque la necessità di un approccio metodologico di questo tipo.

BIBLIOGRAFIA

ALESSIO G. *et al.*, *Correlazione tra sismicità ed elementi strutturali nell'Isola d'Ischia*, in «Il Quaternario, 1996, 9, 1, pp. 303-308.

AMATO A. e A. CINQUE, *Erosional Landsurface of the Campano-Lucano Apennines (S. Italy): Genesis, Evolution and Tectonic Implications*, in «Tectonophysics, 1999, 315, pp. 251-267.

BELLUCCI SESSA E., R. NAPPI e G. VILARDO, *Metodologia semiautomatica di estrazione del drenaggio da DTM applicata allo studio della deformazione indotta da tettonica attiva*, in «11a Conferenza Nazionale ASITA», 2007, II, pp. 1481-1486.

BENEDETTI L. *et al.*, *Surface Rupture of the 1857 Southern Italian Earthquake?*, in «Terra Nova, 1998, 10, 4, pp. 206-210.

BOWN J., G. ORSI e S. DE VITA, *New Insights into Late Pleistocene Explosive Volcanic Activity and Caldera Formation on Ischia (Southern Italy)*, 2008, n. 70, pp. 583-603.

CPTI WORKING GROUP (a cura di), *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, Bologna, GNDT - ING - SGA - SSN, 1999, p. 92.

DE VITA S. *et al.*, *Cyclical Slope Instability and Volcanism Related to Volcano-tectonism in Resurgent Calderas: The Ischia Island (Italy) Case Study*, in «Eng. Geol.», 2006, 86, pp.148-165.

DI BUCCI D., B. MASSA e A. ZUPPETTA, *Relay Ramps in Active Normal Fault Zones: A Clue to the Identification of Seismogenic Sources (1688 Sannio Earthquake, Italy)*, in «GSA Bullettin», 2006, 118, 3-4, pp. 430-448.

GIANO S.I. *et al.*, *Nuovi dati geologici e geofisici sull'assetto strutturale dei depositi continentali quaternari dell'alta Val d'Agri (Basilicata)*, in «Il Quaternario», 1997, 10, 2, pp. 591-596.

GIANO S.I. *et al.*, *Radiocarbon Dating of Active Faulting in the Agri High Valley, Southern Italy*, in «J. Geodyamics», 2000, 29, pp. 371-386.

HILLEY E. e G.R. ARROWSMITH, *Thrust Fault Slip Rates Deduced from Coupled Geomorphic and Tectonic Models of Active Faults and Folds in the San Francisco Bay Area: Collaborative Research With Arizona State University, and University of California, Davi*, 1434-H-97-GR-03113, Final Technical Report Research NEHPR support, 2000.

JORDAN G. *et al.*, *Extraction of Morphotectonic Features from DEMs: Development and Applications for Study Areas in Hungary and NW Greece*, in «Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation», 2005, 7, pp. 163-182.

KELLER E.A e N. PINTER (a cura di), *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, Prentice Hall, 2002, 2nd ed. p. 359.

MALLET R., *The Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology*, London, 1862, in E. GUIDOBONI, G. FERRARI (a cura di), *Mallet's Macroseismic Survey on the Neapolitan Earthquake of 16th December 1857*, Bologna, ING-SGA, 1987.

MASCHIO L., L. FERRANTI e P. BURRATO, *Active Extension in Val d'Agri Area, Southern Apennines, Italy: Implications for the Geometry of the Seismogenic Belt*, in «Geophys. J. Int.», 2005, 162, pp. 591-609.

MILANO G., R. DIGIOVANBATTISTA e G. ALESSIO, *Earthquake Swarms in the Southern Apennines Chain (Italy): The 1997 Seismic Sequence in the Sannio-Matese Mountains*, in «Tectonophysics, 1999, 306, pp. 57-78.

NAPPI R *et al.*, *Analisi integrata di elementi morfologici connessi alla deformazione di aree sismicamente attive: la Val d'Agri (Basilicata)*, in «6a Conferenza Nazionale ASITA», 2002, II, pp. 1647-1652.

NAPPI R., BELLUCCI SESSA e G. VILARDO, *Analisi geomorfico-quantitativa dell'Isola d'Ischia*, in «10ª Conferenza Nazionale ASITA», 2006, II, pp. 1481-1486.

NAPPI R. *et al.*, *Contribution of the SISCam Web-based GIS to the Seismotectonic Study*

of Campania (Southern Apennines): An Example of Application to the Sannio-area, in «Natural Hazards», 2008, 45, pp. 73-85.

ORSI G., G. GALLO e A. ZANCHI, *Simple-shearing Block Resurgence in Caldera Depression. A Model from Pantelleria and Ischia*, in «J. Volcan. Geotherm. Res.», 1991, 47, pp. 1-11.

PONDRELLI S. *et al.*, *The Italian CMT Dataset from 1977 to the Present*, in «Phys. Earth Planet. Int.», 2006, 159, 3-4, pp. 286-303.

SCHIATTARELLA M. *et al.*, *Quaternary Uplift vs Tectonic Loading: A Case Study from the Lucanian Apennine, Southern Italy*, in «Quat. Int.», 2003, 101-102, pp. 239-251.

TIBALDI A. e L. VEZZOLI, *A New Type of Volcano Flank: The Resurgent Caldera Sector Collapse, Ischia, Italy*, in «Geophysical Research Letters, 2004, L. 14605, 31.

VALENSISE G. e D. PANTOSTI, *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger Than 5.5 in Italy*, in «Annali di Geofisica», 2001a, suppl. vol. 44, 4, 180, con CD-ROM.

VALENSISE G. e D. PANTOSTI, *The Investigation of Potential Earthquake Sources in Peninsular Italy: A Review*, in «Journal of Seismology», 2001b, 5, 3, pp. 287-306.

VEZZOLI L., *Island of Ischia*, in «Quaderni de *La Ricerca Scientifica*», 1988, CNR, p. 114.

VILARDO G. *et al.*, *Fault Geometries from the Space Distribution of the 1990-1997 Sannio-Beneventano Earthquakes: Inferences on the Active Deformation in Southern Apennines*, in «Tectonophysics», 2003, 363, pp. 259-271.

WESTAWAY R., *Quaternary Uplift of Southern Italy*, in «Journal of Geophysical Research», 1993, 98, 12b, 21, pp. 741-772.