

# MONITORAGGIO GPS SU STRUTTURE ATTIVE DELL'APPARATO ETNEO CARATTERIZZATE DA MOVIMENTI COSISMICI E ASISMICI: FAGLIE DI S. TECLA- LINERA E ACICATENA

Bonci L.\*, Calcaterra S.\*, Ferrelli L.\*, Gambino P.\*, Vittori E.\*, Bella D.\*\*\*, Filetti G.\*\*\*

\* Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT)

\*\* Centro Scientifico per l'Ambiente, Acireale – Catania

\*\*\* Genio Civile di Catania

## Riassunto

L'APAT ha avviato la realizzazione di una rete GPS per il monitoraggio lungo due faglie appartenenti al Sistema delle Timpe sul fianco orientale dell'Etna (CT). La prima, denominata faglia di S. Tecla-Linera, ha una cinematica distensiva con componente trascorrente destra e si attiva in occasione di forti terremoti, mentre la seconda, faglia di Acicatena, presenta la medesima cinematica ed è caratterizzata da movimenti cosismici e asismici.

L'intensità dei processi deformazionali in atto in quest'area è rivelata da chiare evidenze geomorfologiche, da una elevata sismicità e da intensi eventi di dislocazione anche in regime di *creep*, responsabili di effetti di rilievo sulle strutture antropiche.

## Abstract

This Apat project is a contribution to the seismic hazard assessment and it is aimed at the construction of a series of permanent geodetic benchmarks in the eastern flank of the Etna volcano (Sicily) along the Timpa system in an area of great interest from the seismic hazard point of view because it is affected by the presence of a series of known active faults. Two GPS permanent networks have been projected respectively monitoring the S. Tecla-Linera and the Acicatena faults. Both the structures are affected by extensional movements with right strike-slip and in the second case "creep events" often occur. Evident damages to the human structures, widespread diffused in this densely urbanised area, are caused by seismic and aseismic slip. The GPS data will allow to distinguish the slip rate generated by seismic event from continuous creep, to assess the crustal deformation rate of the area and to contribute in terms of Civil Protection issues.

## Contesto tettonico

L'apparato vulcanico etneo è localizzato in corrispondenza dell'intersezione di due faglie regionali (master faults) attive, la Scarpata Ibleo-Maltese e la linea tettonica Messina-Fiumefreddo, che separano la crosta continentale da quella oceanica del Mar Ionio (Mc Guire et al., 1997). L'interazione tra tale assetto tettonico regionale e processi vulcanici a scala locale condizionano i principali fenomeni di fagliazione superficiale presenti sul Monte Etna (Lo Giudice et al., 1982).

Le locali faglie capaci (faglie attive capaci di produrre rigetti significativi permanenti della superficie topografica in un intervallo di tempo di interesse sociale) sono localizzate principalmente lungo il versante orientale del vulcano e appartengono al Sistema delle Timpe, costituito da una serie di strutture distensive a prevalente direttrice Nord Nord-Ovest – Sud Sud-Est (Figura 1). Tale sistema di faglie rappresenta la prosecuzione settentrionale in terraferma della Scarpata Ibleo-Maltese, discontinuità crostale regionale che borda il settore sud-orientale della Sicilia (Scandone et

al., 1981; Lo Giudice et al., 1982; Monaco et al., 1995). Allo stesso tempo il sistema esprime le dinamiche locali legate a processi vulcano-tettonici relativi a spinte magmatiche e ad effetti di instabilità gravitativa (Lo Giudice & Rasà, 1986, McGuire et al., 1997). L'intensità dei processi deformazionali in atto (i tassi di deformazione annui sono spesso millimetrici e in qualche caso anche centimetrici) è rivelata da chiare evidenze geomorfologiche che si sviluppano in corrispondenza delle linee di faglia (Monaco et al., 1997), da una elevata sismicità che produce effetti sulle strutture antropiche anche distruttivi (Imax IX – X MSK) (Azzaro et al., 1989) e da intensi eventi di dislocazione in regime di creep.

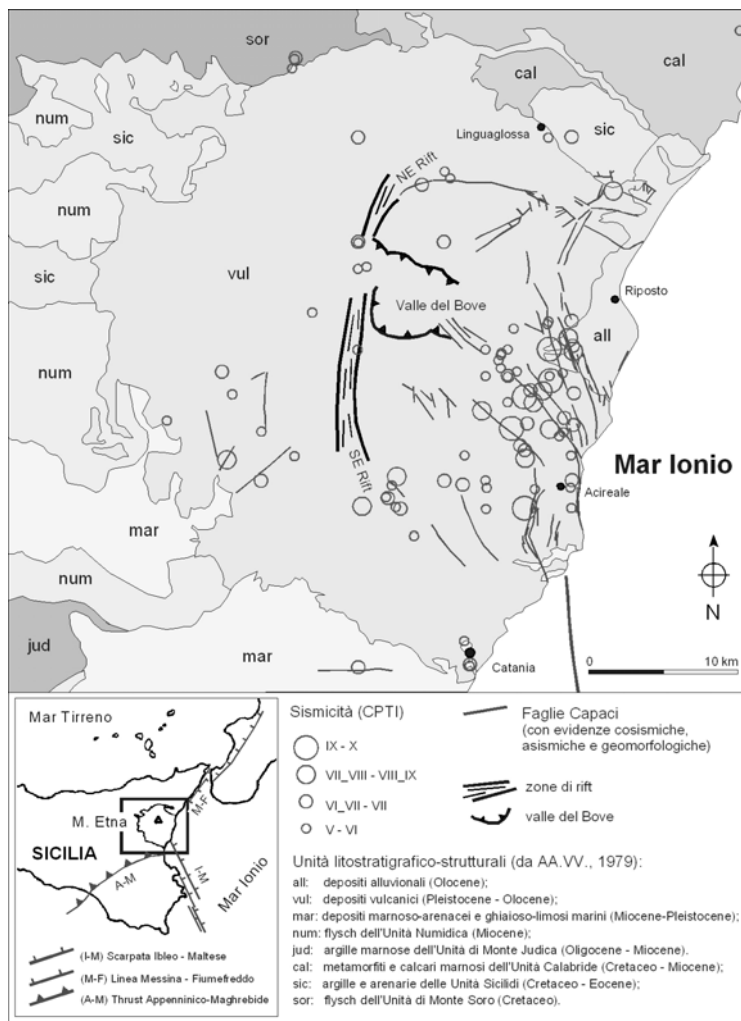


Figura 1 – Distribuzione delle faglie capaci dell'apparato vulcanico etneo (da ITHACA)

I principali caratteri della sismicità dell'area etnea (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 217 a.C.-1992 – CPTI, Gasperini et al., 2004), tipici anche delle altre aree vulcaniche, sono rappresentati da: a) elevata frequenza di terremoti, b) ridotta profondità ipocentrale, generalmente inferiore a 3 km (Gresta e Patanè, 1987), c) moderata magnitudo degli eventi (non eccede il valore di 4,9). L'assetto geodinamico locale determina l'attivazione di fagliazione superficiale cosismica per soglie di magnitudo modeste (intorno a 3,0) ed effetti elevati, che in aree epicentrali possono risultare distruttivi (valori di intensità macrosismica fino a X EMS). In un contesto densamente urbanizzato, così come il fianco orientale dell'Etna, gli effetti macrosismici sulle strutture antropiche e sull'ambiente, oltre ad essere chiara evidenza dello scenario di elevato rischio sismico dell'area, rappresentano anche elementi importanti per l'identificazione e la caratterizzazione delle faglie capaci.

Le faglie di Santa Tecla – Linera e di Acicatena appartengono al Sistema delle Timpe e rappresentano due classici esempi di strutture con movimento cosismico (la prima) e asismico (la seconda). In corrispondenza di queste due fasce deformative è stata programmata la realizzazione di una rete GPS.

### La rete di monitoraggio GPS

La rete di monitoraggio GPS lungo le faglie di Santa Tecla-Linera e Acicatena (CT) ha l'obiettivo di controllare e quantizzare gli spostamenti legati all'attività sismica e di creep asismico lungo tali lineamenti tettonici. La topologia della rete di monitoraggio prevede l'articolazione in due sottoreti (Linera e Acicatena) con punti ubicati al tetto ed al letto delle omonime faglie secondo allineamenti quanto più possibile perpendicolari alle loro direttrici di allungamento. Ciascuna sottorete è articolata in un primo segmento di acquisizione in continuo con gestione in telemisura dalla sede APAT di Roma ed un secondo non-permanente costituito da vertici a misura periodica. Nel caso della sottorete di Acicatena i punti di monitoraggio, sia essi permanenti che periodici, sono distribuiti con una maggiore densità all'interno dell'abitato e nelle sue immediate vicinanze (Figura 2). Tale scelta, concordata anche con le Autorità locali, è dettata dal notevole rischio a cui questa porzione di territorio, altamente urbanizzata, è sottoposta in seguito al carattere prevalentemente asismico della faglia il cui *slip rate*, valutato da Rasà et alii (1996), raggiunge valori massimi di circa 2 cm/yr.

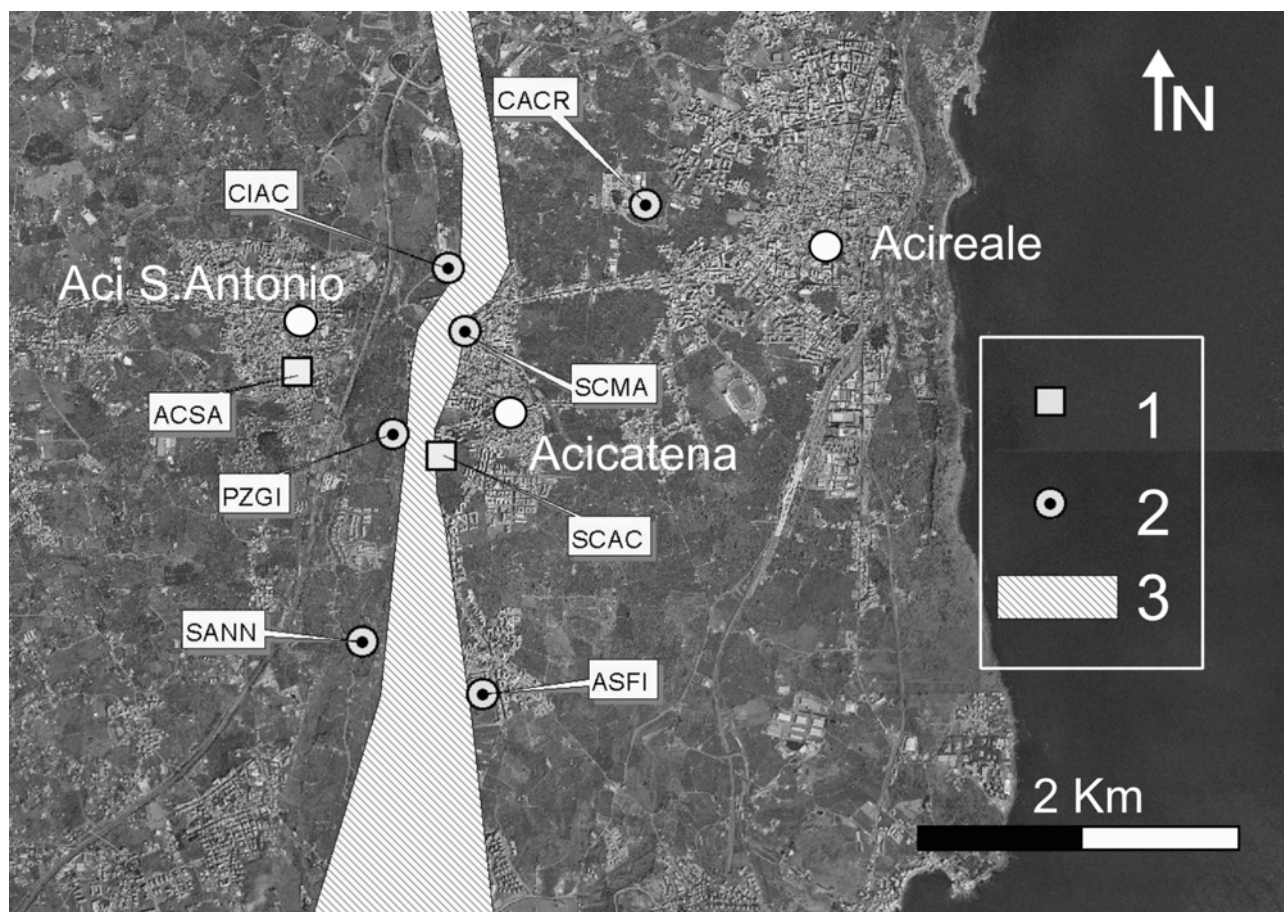


Figura 2 - Rete di monitoraggio di Acicatena :1) stazioni permanenti; 2) vertici GPS; 3) fascia di deformazione

### Sottorete di Linera

Tale rete si estende per circa 7 km con una ampiezza di 2 km con un andamento circa NE-SW. Il segmento con acquisizione in continuo è costituito da 4 punti, disposti al tetto ed al letto della faglia con una geometria tale da poter registrare adeguatamente gli spostamenti. La loro ubicazione è stata scelta sulla base della significatività geologica mentre la tipologia di monumentazione ha previsto preferibilmente la realizzazione di monumenti in cemento armato ancorati al substrato. Laddove non era possibile una completa messa in sicurezza della stazione, oppure nel caso di aree densamente urbanizzate dove la presenza di edifici rendeva parzialmente coperto il cielo al disopra dell'antenna, questa è stata ubicata su manufatti in cemento armato di ridotta altezza. L'installazione di stazioni a terra ha previsto la messa in opera di un pilastro in cemento armato del diametro di 40 cm infisso nel terreno fino ad attestarsi nel substrato roccioso. L'antenna, del tipo *choke-ring* è avvitata su un palo di acciaio inox a circa 200 cm dal piano campagna. L'alloggiamento della strumentazione è stato predisposto, nelle migliori condizioni, all'interno di una struttura chiusa dotata di corrente. Nel caso in cui ciò non è stato possibile sono stati predisposti degli appositi armadietti a tenuta stagna. A integrazione delle stazioni in continuo è stata predisposto un segmento periodico costituito da 5 stazioni ubicate a cavallo della struttura al di fuori della fascia più strettamente di deformazione con una posizione in grado di misurare con certezza il *rate* tettonico di questa faglia. I punti (Figura 3) sono stati monumentati su roccia con capisaldi 3D e, laddove le condizioni logistiche non lo permettevano, su muro in cemento armato. Le campagne di misura, la prima delle quali verrà effettuata nel settembre/ottobre 2005, saranno condotte inizialmente con scansione semestrale utilizzando pilastri a centramento forzato. I tempi di acquisizione varieranno tra 24 e 8 ore con tre occupazioni per punto.

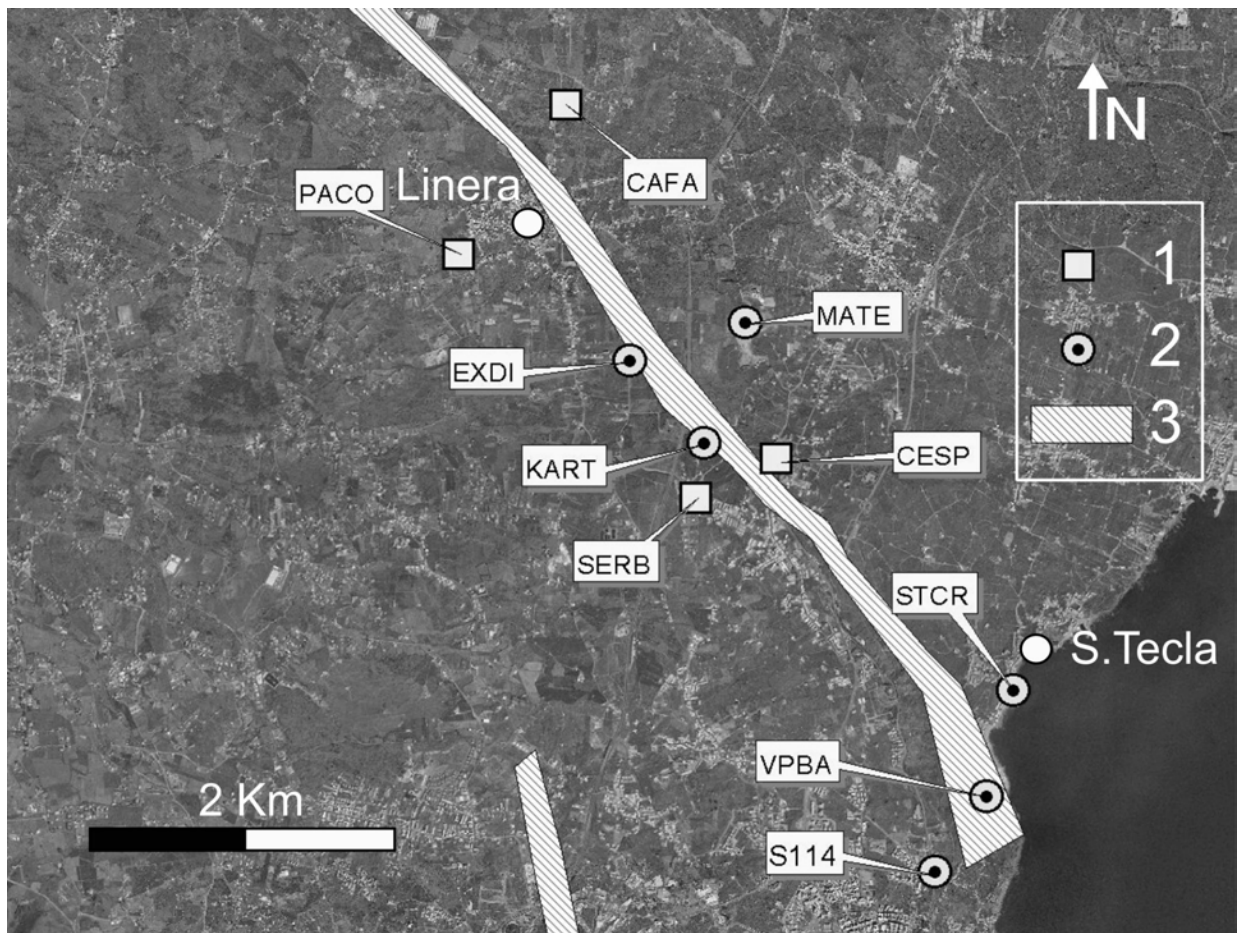


Figura 3 - Rete di monitoraggio di Santa Tecla-Linera: 1) stazioni permanenti; 2) vertici GPS; 3) fascia di deformazione

### **Sottorete di Acicatena**

La rete GPS di Acicatena (Figura 2) è stata progettata con gli stessi criteri della sottorete di Linera. L'elevato rischio cui è sottoposta questa porzione di territorio in relazione al carattere anche di *creep* asismico di questa faglia, come approfonditamente segnalato da diversi Autori (Lo Giudice, 1988; Rasà et alii, 1996) e l'elevato grado di urbanizzazione ci hanno spinto a tenere sotto controllo soprattutto il tratto di faglia lungo il quale si estende l'abitato di Acicatena. La rete, costituita anch'essa da i due segmenti di monitoraggio periodici e in continuo, si estende per 4 km con una ampiezza di circa 3 km con andamento circa N-S. La rete è costituita da 6 stazioni GPS per il monitoraggio periodico e 2 in acquisizione continua. Le modalità di monumentazione sono state analoghe a quelle seguite per la sottorete di Linera ma l'area non ha offerto le condizioni logistiche idonee per l'installazione delle stazioni a terra. Le stazioni permanenti installate su tetto sono costituite da pilastri in acciaio inox di 90 cm ancorati ai pilastri in cemento armato dell'edificio per una profondità di almeno 20 cm e dotati di un apparato alla base che rende rigida la struttura. L'antenna verrà posizionata sul pilastro mediante un adattatore con messa in bolla che permetta il riposizionamento con elevata precisione.

### **Procedure di trasmissione ed elaborazione del dato**

Le stazioni GPS permanenti acquisiranno dati 24 ore al giorno con intervallo di campionamento a 30 s. Successivamente tali dati verranno trasmessi tramite modem GSM al Centro di Raccolta Elaborazione e Controllo localizzato a Roma presso la sede APAT. Qui i dati, dopo essere stati convertiti in formato Rinex e sottoposti a test di qualità tramite il software TEQC ([www.unavco.org/facility/software/teqc/teqc.html](http://www.unavco.org/facility/software/teqc/teqc.html)) in modalità qc, saranno elaborati con il software scientifico BERNESE 4.2 (Beutler *et al*, 2000) in modalità BPE. La rete verrà inquadrata e compensata rispetto alle stazioni di Cagliari, Matera, Lampedusa e Noto1 della rete permanente E.U.R.E.F. Le coordinate di queste stazioni, pubblicate sulla soluzione ITRF2000 e riferite all'epoca 1997.0, saranno propagate con le loro velocità e bloccate si procederà a graficare le serie temporali della rete con cadenza mensile. La strategia di elaborazione che si adotterà e che è stata sperimentata anche su altre reti GPS dell'APAT è quella suggerita dal manuale del software BERNESE 4.2 per campagne di tipo nell'elaborazione con un s.q.m. pari a 5 mm sia in planimetria che in quota: successivamente regionale, con eliminazione delle ambiguità e stima delle coordinate in due passi (strategia QIF + ELIMIN). Si utilizzeranno esclusivamente le effemeridi precise e la precisione attesa sulle coordinate è millimetrica.

### **Osservazioni conclusive**

L'acquisizione di dati geodetici permetterà di migliorare la conoscenza del campo di deformazione attiva delle faglie di S. Tecla-Linera e Acicatena, i rispettivi tassi di deformazione nonché le condizioni geodinamiche dell'area investigata.

Allo stesso tempo le informazioni raccolte potranno rappresentare un utile contributo nel campo della mitigazione dei rischi da fagliazione superficiale delle strutture antropiche e quindi essere utilizzate dalle amministrazioni locali e dagli organi interessati.

Il progetto costituisce un esempio di collaborazione tra APAT e diversi Enti che operano sul territorio per la conoscenza e la salvaguardia dal rischio sismico e da frana.

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano per la disponibilità offerta i Comuni di: S.Venerina, Acicatena, Aci S. Antonio, Aci S.Filippo, Acireale.

Si ringraziano per il supporto tecnico alla realizzazione delle reti: Sig. D. Matarazzo, P.M. F. Vullo, Ing. A. Cametti, Ing. K. Merli.

## Riferimenti bibliografici

- Azzaro R., Lo Giudice E. & Rasà R. (1989), "Catalogo degli eventi macrosismici e delle fenomenologie da creep nell'area etnea dall'agosto 1980 al dicembre 1989", *Boll. GNV*, 1: 13-46.
- Beutler G., Brockmann E., Dach R., Fridez P., Gurtner W., Hugentobler U., Johnson J., Mervart L., Rothacher M., Schaer S., Springer T., Weber R., (2000), *Bernese Software 4.2.*, Astronomical Institute, University of Berne.
- Bonci, L., Calcaterra, S., Cametti, A., Gambino, P., Merli, K., (2004), "Definizione di un protocollo operativo per il monitoraggio degli spostamenti superficiali" *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, 3: 145-155.
- C.P.T.I. Gruppo di lavoro (1999), *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp.
- Gasperini P., Camassi R., Mirto C. e Stucchi M. (2004), "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 217 a.C.-1992 – CPTI", <http://www.ingv.it>.
- Gresta, S., Bella, D., Musumeci, C. and Carveni, P. (1997), "Some efforts on active faulting processes (earthquakes and aseismic creep) acting on the eastern flank of Mt. Etna", *Acta Vulcanol.*, 9: 101-108.
- Lo Giudice E. & Rasà R. (1986), "The role of the NNW structural trend in the recent geodynamic evolution of north-eastern Sicily and its volcanic implications in the etnean area", *J. Geodynamics*, 25: 309-330.
- Lo Giudice E. (1988), "Particolari aspetti del rischio sismico nell'area Etnea", *Atti del Convegno Internazionale di Studio "L'organizzazione territoriale delle aree sismiche e vulcaniche"*, Zafferana E., maggio 1985: 59-85.
- Lo Giudice E., Patanè G., Rasà R. & Romano R. (1982), "The structural framework of Mount Etna", *Memorie Società Geologica Italiana*, 23: 125-158.
- McGuire W.J., Stewart I.S. & Saunders S.J. (1997), "Intra-volcanic rifting at Mount Etna in the context of regional tectonics", *Acta Vulc.*, 9, 1/2: 147-156.
- Monaco C., Petronio L. & Romanelli M. (1995), "Tettonica estensionale nel settore orientale del Monte Etna (Sicilia): dati morfotettonici e sismici", *Studi Geol. Camerti*, Volume Speciale 1995/2: 363-374.
- Monaco, C., Tapponnier, P., Tortorici, L. and Gillot, P.Y. (1997), "Late Quaternary slip rates on the Acireale-Piedimonte normal faults and tectonic origin of Mt. Etna (Sicily)", *Earth Planet. Sci. Letters*, 147: 125-139.
- Rasà R., Azzaro R. & Leonardo O. (1996), "Aseismic creep on faults and flanks instability at Mount Etna volcano, Sicily", in *McGuire, W. J. Jones, A.P. & Neuberg J. (eds) in Volcano Instability on the Earth and Other Planets, Geological Society Special Publication*, 110: 179-192.
- Scandone P., Patacca E., Radoicic R., Ryan W.B.F., Cita M.B., Rawson M., Chezar H., Miller E., McKenzie J. & Rossi S. (1981), "Mesozoic and Cenozoic rocks from Malta Escarpment (Central Mediterranean)", *A.A.P.G. Bull.*, 65: 1299-1319.