

IL TERREMOTO DEL 9 SETTEMBRE 1998 NEL QUADRO DELLA SISMICITA' STORICA DEL CONFINE CALABRO-LUCANO. POSSIBILI IMPLICAZIONI SISMOTETTONICHE

P. Galli¹, D. Molin¹

1 Servizio Sismico Nazionale, Via Curtatone 3, 00185 Roma

paolo.galli@dstn.it
diego.molin@dstn.it

&

R. Camassi², V. Castelli²

² GNDT-INGV

romano.camassi@mail.ing.unibo.it
geoter@wnt.it

RIASSUNTO – Vengono presentati i risultati del rilievo macrosismico effettuato a seguito del terremoto del 9 settembre 1998 ($I_0=VI$ MCS, $M_l=5.5$). Il piano quotato ottenuto è confrontato con quelli relativi ai terremoti che hanno in passato interessato l'area in questione ed in particolare vengono presentati dati inediti riguardanti un terremoto locale del 1708. Sulla base delle caratteristiche e della distribuzione della sismicità storica, ovvero della distribuzione del danneggiamento di ciascun terremoto, e dei dati disponibili sulla tettonica attiva dell'area, il terremoto del 1998 viene inquadrato in un possibile schema sismotettonico della regione. In particolare, l'entità e la distribuzione circa E-W del danno ed i parametri strumentali dell'evento (profondità e meccanismo focale) lasciano ipotizzare l'attivazione di una zona di taglio profonda trasversale alla catena.

ABSTRACT – The Earthquake of September 9, 1998 in the Frame of the Historical Seismicity of the Calabria-Basilicata Border. Possible Seismotectonics Implication. We present the macroseismic data gathered after the September 9, 1999 earthquake ($I_0=6$ MCS, Mercalli Cancani Sieberg scale, $M_l=5.5$), which struck a wide area located between the Calabria and Basilicata regions (southern Italy). The highest intensity datapoints distribution (HIDD) of 1998 has been compared with those related to the historical events of the area. It is worth noting that the regions located northward and southward of the area affected by the 1998 event are characterized by the occurrence of strong and destructive earthquakes ($M \geq 6.5$), while the maximum historical intensity reached by this area does not exceed 8 MCS. On the basis of: 1) the HIDD of the historical earthquakes (new data has been provided for a local event of 1708) and of the 1998 one (which trends mainly E-W); 2) the instrumental parameters (depth close to 20-25 km and roughly E-W pure sinistral focal mechanism) and 3) the available data concerning the geodynamics context of the area (Gueguen et al., 1997; Patacca & Scandone, 1989), we hypothesize that the event can be related to a deep crustal shear zone, which is transversal to the chain and which is linked to differential eastward flexural retreat of the westward subducting Ionian crust.

Parole chiave: terremoto, sismotettonica, Appennino meridionale, rilievo macrosismico.

Keywords: earthquake, seismotectonics, Southern Apennines, macroseismic survey.

INTRODUZIONE

Il 9 settembre 1998 alle ore 13.28 una forte scossa di terremoto ha interessato una vasta area situata a nordovest del Monte Pollino, ai confini tra Basilicata, Calabria e Campania. La magnitudo stimata dall'Istituto Nazionale di Geofisica (ING) è stata $M_d=4.8$ e $M_l=5.5$, con un'ubicazione epicentrale di coordinate 39.99 di Lat.N e 16.01 di Lon.E. La profondità, sulla base dei dati registrati dalla rete locale dell'Università di Cosenza, è stata valutata di 20-25 km (Gervasi & Moretti, 1999; Moretti & Gervasi, 2000). L'USGS (1998) ha indicato, infine, una $M_b=5.3$.

Nella presente nota vengono presentati i risultati del rilievo macrosismico speditivo condotto a partire dal giorno successivo all'evento ed un confronto con alcuni terremoti storici dell'area, per i quali sono disponibili dati sulla distribuzione dell'intensità.

Le conoscenze storiche sulla sismicità dell'area (vedi Gruppo di Lavoro CPTI, 1999) risultano piuttosto incomplete e sostanzialmente limitate agli ultimi due

secoli, durante i quali si sono comunque verificati vari eventi di dimensioni confrontabili o di poco superiori al terremoto del 9 settembre 1998. Per i secoli precedenti si ha notizia di un solo evento avvenuto il 26 gennaio 1708, del quale daremo informazioni inedite nei prossimi capitoli.

Sulla base dei dati disponibili e dell'assetto strutturale regionale viene avanzata un'ipotesi sulle caratteristiche sismogenetiche dell'area.

INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO REGIONALE

L'epicentro del terremoto del settembre 1998 ricade poco ad occidente della culminazione assiale dell'Arco Appenninico meridionale. Come noto l'Appennino è una catena a *thrust* formata al di sopra di una litosfera in subduzione verso ovest, la cui cerniera è stata in arretramento verso est durante gli ultimi 30 Ma (Gueguen et al., 1997), ed in cui l'Arco Calabro rappresenta la parte più arcuata dell'orogene. I settori convessi dell'Arco Appenninico sono quelli ove l'arre-

tramento flessurale è stato massimo, e questo spiega come l'Arco Calabro sia migrato verso est ad una velocità superiore agli altri tratti della catena (3-4 cm/yr; Doglioni, 1991). In particolare la Calabria giace sopra una zona di subduzione caratterizzata da un piano di Benjoff ben identificabile (Amato et al., 1993) ed interpretato come una porzione della litosfera ionica che si immerge verso NW al di sotto della litosfera tirrenica, sino a 450 km di profondità nell'astenosfera (Patacca & Scandone, 1989).

L'evoluzione dell'Arco Appenninico meridionale ha prodotto una zona di disequilibrio crostale al margine di una catena in forte sollevamento (gruppi montuosi del Pollino, Sila, Serre e Aspromonte, su crosta continentale spessa da 25 a 45 km, Ghisetti & Vezzani, 1982) e il subsidente bacino tirrenico (con crosta suboceanica di neoformazione, spessa circa 10 km; Finetti & Morelli, 1973), causando la superimposizione di un regime distensivo sul sistema di *thrust* embricati già a partire dal Pliocene Superiore-Pleistocene.

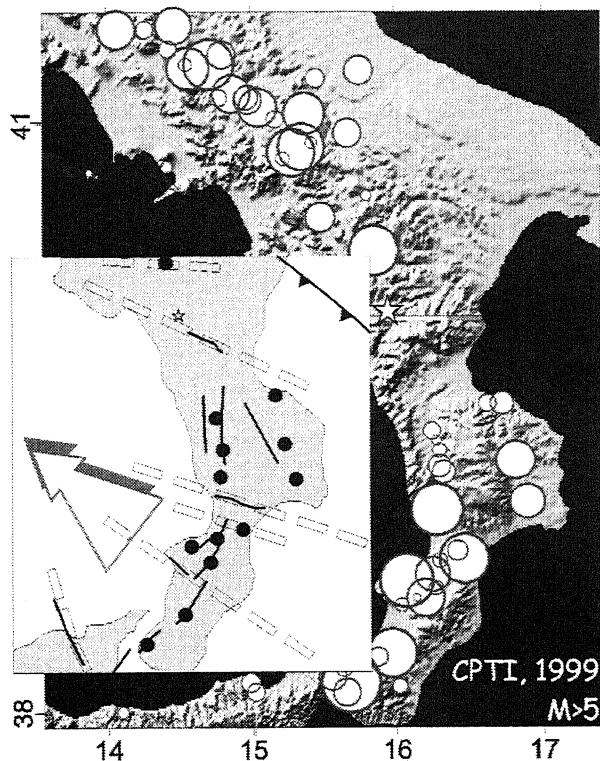


Figura 1 – Distribuzione dei terremoti con $M > 5$ nell'Arco Appenninico Meridionale. E' evidente la mancanza di sismicità storica nella zona colpita dall'evento del 1998 (stella bianca), in confronto con le aree limitrofe a nord ed a sud. Nel riquadro A sono riportate in grassetto le principali strutture sismogenetiche note in letteratura unitamente alle zone di svincolo trasversali (Scandone et al., 1990). I cerchi pieni sono gli eventi di maggior energia; la freccia indica la subduzione della litosfera ionica nel basso Tirreno. In alto a destra è indicato il fronte dell'alloctono.

Earthquakes distribution ($M > 5$) along the Southern Apenninic Arc. It is worth noting the lack of strong or moderate events in the region hit by the 1998 event (white star) in comparison with the neighboring areas. Inset A shows the main seismogenetic structures (bold lines) available from the literature together with the transversal shear zones (see Scandone et al., 1990). Filled circles represent the strongest events; the arrow indicates the subduction of the Ionian lithosphere in the lower Tyrrhenian Sea. The alloctonus front is shown in the upper right corner.

Nel corso del Pleistocene il perdurare del regime estensionale normale all'asse della catena ha comportato la formazione di una serie di bacini "intermontani" guidati da grandi faglie dirette ad immersione prevalentemente tirrenica, lungo direttrici NW-SE, NS e NE-SW, rispettivamente procedendo da nord verso sud (bacini del Mercure, di Castrovillari-Morano, Crati, Gioia Tauro, Stretto di Messina).

Dagli studi paleosismologici effettuati su alcune della faglie bordiere dei bacini (Cinti et al., 1997; Bosi & Galli, 2000) e dalla sismicità che caratterizza le depressioni tettoniche limitrofe consegue che la tettonica distensiva è ancora attiva e che ad essa sono connessi i maggiori terremoti noti degli ultimi secoli. In particolare gli eventi del 1184, marzo 1638 e la sequenza 1767-1835-1854-1870 del bacino del Crati; gli eventi del febbraio 1783 nei bacini di Gioia Tauro e del Mesima; l'evento del 1908 nello Stretto di Messina (Fig. 1; Bosi & Galli, 2000; Tortorici et al., 1995).

L'unitarietà longitudinale dell'Arco e dei bacini è interrotta da una serie di strutture trasversali a cinematica prevalentemente trascorrente, con significato di trasformati sorgente-accumulo, che avrebbero permesso il diverso avanzamento dell'Arco verso est (Fig.1A). Tali strutture non hanno trovato a terra un riscontro univoco circa la loro attività tardo Pleistocenica. Esse potrebbero corrispondere in profondità a strappi della litosfera ionica in subduzione, separanti porzioni della stessa a diversa pendenza e a diversa velocità di arretramento flessurale (Patacca & Scandone, 1989; Doglioni et al., 1998). A queste strutture potrebbe essere attribuita parte della sismicità storica minore (eventi con M_6) e della microsismicità (Moretti & Gervasi, 2000) e, molto dubitativamente, parte della sismicità più elevata (p.e., evento del 28 marzo 1783, Faglia Lamezia-Catanzaro; Moretti, 1999).

L'epicentro del settembre 1998 ricade in un'area non lontana dalla Valle del Mercure, situata appunto al confine tra Calabria e Lucania. La Valle del Mercure, come già menzionato, è un bacino continentale intermontano ed è costituito da sequenze di depositi lacustri e di conoide relative rispettivamente al Pleistocene medio ed al Pleistocene medio-superiore (Lona & Ricciardi, 1961). Il bacino è caratterizzato da una faglia normale NW-SE immergente a SW, composta da diversi segmenti in relazione di *step-over* sinistro e lunga nel complesso una decina di chilometri. Questa struttura, con elementi presenti anche nei termini lacustri stratigraficamente più alti, appare come il sistema di deformazione fragile più recente dell'area (Schiattarella et al., 1994 e bibliografia), anche se le fasi più importanti di strutturazione del bacino sono precedenti al Pleistocene superiore, non essendo, inoltre, segnalate deformazioni dei depositi tardo-pleistocenici ed olocenici. La sua geometria e lunghezza lasciano ipotizzare una profondità di compensazione del piano non superiore ai 10-12 km. Secondo Michetti et al. (2000), l'evento del 1998 avrebbe riattivato circa 200 m della Faglia del Mercure, con rigetti verticali fino a 1 cm.

TERREMOTO DEL 9 SETTEMBRE 1998

Con lo scopo di fornire un primo quadro degli effetti prodotti dal terremoto, nei giorni immediatamente successivi all'evento il Servizio Sismico Nazio-

nale ha effettuato un rilevamento macrosismico, essenzialmente finalizzato alla definizione e delimitazione dell'area di danneggiamento (Galli et al., 1998a; 1998b).

La raccolta delle informazioni macrosismiche per la stima delle intensità nei centri abitati è stata condotta interpellando tecnici comunali e quindi effettuando sopralluoghi per verificare direttamente l'entità degli effetti sull'uomo, sui fabbricati e sull'ambiente; per le località del Salernitano e per quelle della zona sud-orientale della provincia di Potenza le informazioni derivano solo da interviste telefoniche a tecnici comunali o Vigili Urbani.

Nel complesso, i danni agli edifici prodotti dal terremoto, considerando il livello di magnitudo raggiunto, sono risultati piuttosto modesti: nonostante la presenza di qualche singolo danno grave, questi sono riferibili al VI e al V-VI grado della scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS, 1930) e solo in due casi rispettivamente al VI-VII e VII grado. In grande maggioranza si tratta quindi di danni lievi o molto lievi, a volte prodotti o aggravati dalla presenza di fenomeni franosi.

È importante sottolineare che il patrimonio edilizio della quasi totalità dei centri abitati visitati è risultato caratterizzato dalla preponderante presenza di edifici recentemente restaurati con criteri antisismici (tutti i comuni rientrano in 2a categoria) dai danni prodotti da alcuni terremoti succedutisi dal 1980 in poi e in minor misura da edifici non restaurati da tali danni e quindi affetti da lesioni preesistenti alla scossa del 9 settembre; la presenza di tali lesioni ha reso spesso difficoltosa l'individuazione dei nuovi danni.

I danni preesistenti sono attribuibili ai seguenti eventi:

- terremoto dell'Irpinia-Basilicata del 23 novembre 1980 ($M_s = 6.9$; $l_o = IX-X$): ha interessato l'area danneggiata dal terremoto del 9 settembre con intensità di VI grado circa;

- terremoto della Basilicata meridionale del 21 marzo 1982 ($M_s = 4.8$; $l_o = VII-VIII$); ha interessato l'area con intensità comprese tra il V ed il VII-VIII grado;

- terremoto della Basilicata meridionale dell'8 gennaio 1988 ($M_s = 3.7$; $l_o = VII$); ha interessato l'area con intensità comprese tra il V ed il VII grado.

I dati raccolti durante il rilevamento macrosismico sono sintetizzati in tab. 1, nella quale sono elencate le località interessate dal terremoto con relativa stima dell'intensità secondo la scala macrosismica MCS (1930); in Fig. 2 è rappresentata la distribuzione delle

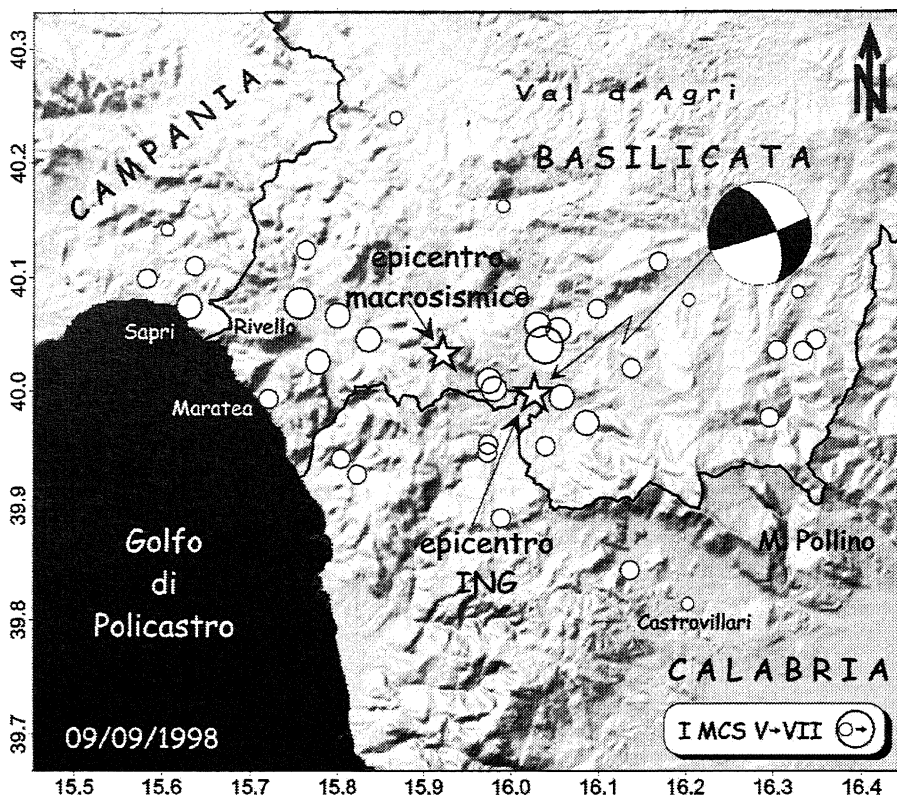


Figura 2 - Modello digitale del terreno della zona interessata dall'evento del 9 settembre 1998 e distribuzione delle intensità MCS (mod. da Galli et al., 1998). Notare come la distribuzione del danneggiamento si allunghi in direzione circa E-W. E' mostrato anche il meccanismo focale proposto da Gervasi & Moretti (1999).

Figure 2 - Digital Elevation Model of the area affected by the September 9, 1998 earthquake and MCS intensities distribution (after Galli et al., 1998). The damage distribution is stretched in a roughly E-W direction, in agreement with one of the focal mechanism solution proposed by Gervasi & Moretti (1999).

Località	Prov.	Comune	I (MCS)
Perricchio	PZ	Latronico	VII
Rivello	PZ	Rivello	VI-VII
Castelluccio Inferiore	PZ	Castelluccio Inferiore	VI
Castelluccio Superiore	PZ	Castelluccio Superiore	VI
Galizzi (Pedali)	PZ	Viggianello	VI
Lauria	PZ	Lauria	VI
Magnano	PZ	Latronico	VI
Mileo	PZ	Latronico	VI
Nemoli	PZ	Nemoli	VI
Sapri	SA	Sapri	VI
Trecchina	PZ	Trecchina	VI
Viggianello	PZ	Viggianello	VI
Aieta	CS	Aieta	V-VI
Cersosimo	PZ	Cersosimo	V-VI
Episcopia	PZ	Episcopia	V-VI
Fardella	PZ	Fardella	V-VI
Lagonegro	PZ	Lagonegro	V-VI
Laino Borgo	CS	Laino Borgo	V-VI
Laino Castello	CS	Laino Castello	V-VI
Maratea	PZ	Maratea	V-VI
Morano Calabro	CS	Morano Calabro	V-VI
Mormanno	CS	Mormanno	V-VI
Rotonda	PZ	Rotonda	V-VI
San Costantino Albanese	PZ	San Costantino Albanese	V-VI
San Paolo Albanese	PZ	San Paolo Albanese	V-VI
San Severino Lucano	PZ	San Severino Lucano	V-VI
Terranova del Pollino	PZ	Terranova del Pollino	V-VI
Torraca	SA	Torraca	V-VI
Tortora	CS	Tortora	V-VI
Vibonati	SA	Vibonati	V-VI
Castelsaraceno	PZ	Castelsaraceno	V
Castrovillari	CS	Castrovillari	V
Franca Villa in Sinni	PZ	Franca Villa in Sinni	V
Latronico	PZ	Latronico	V
Moliterno	PZ	Moliterno	V
Noepoli	PZ	Noepoli	V
Tortorella	SA	Tortorella	V

Tabella 1 - Elenco delle località interessate dal terremoto del 9 settembre 1998.

Table 1 - List of the localities affected by the September 9, 1998 event.

intensità. A questo proposito si fa presente che i gradi di intensità sono stati così assegnati:

- **VII** grado al piccolo centro abitato di Perricchio, frazione del comune di Latronico composta da una ventina di case, in cui si sono riscontrati danni gravi in edifici in muratura (alcuni crolli parziali, fessurazioni profonde, fuori piombo di pareti; Fig. 3); tali danni sono da imputarsi soprattutto al cattivo stato di conservazione degli edifici, alla presenza di danni preesistenti e, in qualche caso, anche alla concomitanza di fenomeni franosi;
- **VI-VII** grado al centro abitato di Rivello, la cui parte meridionale ha subito danni notevoli e diffusi in edifici in muratura (alcuni limitati crolli parziali, fessurazioni gravi, abbondante caduta di calcinacci e di qualche camino), mentre la parte settentrionale (più estesa) ha subito solo qualche danno lieve ad eccezione di due piccole chiese, che sono state interessate da profonde lesioni ai muri;
- **VI** grado a varie località in cui sono stati osservati singoli danni gravi o molto gravi, generalmente in chiese (Fig. 4) o in costruzioni in cemento armato



Figura 3 – Perricchio (VII MCS). Ribaltamento di facciata in edificio in muratura mancante di collegamenti.

Figure 3 – Perricchio village (7 MCS). Toppling of the facade of a masonry building which has not structural connection between horizontal and vertical elements.



Figura 4 – Viggianello (VI MCS), chiesa di S. Francesco. L'edificio, appena terminato di restaurare, presenta profonde lesioni nell'abside e nella facciata. Si notano un meccanismo di rottura locale dell'architrave ed una lesione a taglio che interessa l'intera facciata.

Figure 4 – Viggianello (6 MCS), San Francesco church. The building, which was just restored, shows pervasive fracture in the apse and in the facade. A local rupture mechanism affect the architrave, while a long shear crack affect the whole facade.

di notevoli dimensioni (Fig. 5-6), e danni lievi e/o molto lievi abbastanza diffusi, quasi sempre in fabbricati in cattivo stato di conservazione e affetti da lesioni preesistenti; il danneggiamento più comune è rappresentato dalla riapertura di tali lesioni, da caduta di calcinacci, di tegole e di qualche camino;

- **V-VI** grado a numerose località interessate da danni lievi e/o molto lievi poco diffusi e in grande maggioranza costituiti da riapertura di lesioni preesistenti; molte di queste stime, di per se stesse incerte, risultano ancora più incerte (più facilmente per sopravvalutazione) in quanto questo tipo di danno non è ben precisabile;
- **V** grado, oltre che alle località con assenza di danno in cui il sisma è stato generalmente avvertito dalla popolazione, anche a quelle con singoli danni lievi o molto lievi.

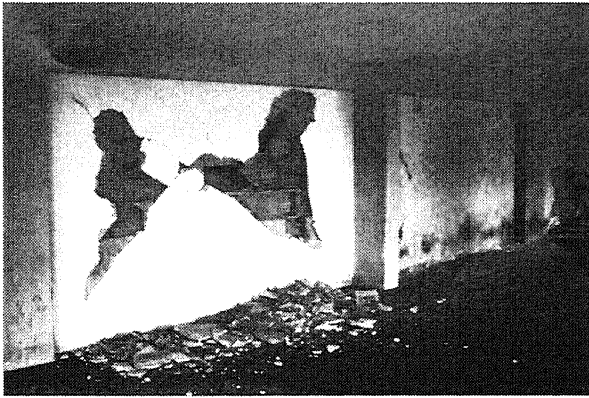


Figura 5 – Castelluccio inferiore (VI MCS). “Esplosione” delle tamponature al piano terreno di una palazzina in c.a.

Figure 5 – Castelluccio inferiore (6 MCS). “Explosion” of the bricks filling at the ground floor of a R.C. building.

L'epicentro macrosismico (40.040 di Lat.N e 15.920 di Lon.E), inteso come baricentro delle località con intensità $\geq VI$ grado, ricade tra Lauria e Castelluccio Superiore (Fig. 2), circa 10 km a NNW di quello strumentale fornito dall'ING. Dalla Fig. 2 si può anche osservare che l'area interessata da danni è notevolmente estesa e che le località con intensità $\geq VI$ grado sono distribuite lungo una stretta fascia, orientata grosso modo in direzione E-W, che si estende da Sapri a Viggianello e che i due punti di intensità più elevata (VII e VI-VII grado) non ricadono nei pressi dell'epicentro macrosismico.



Figura 6 – Castelluccio inferiore (VI). Rottura del pilastro tozzo nel retro della palazzina di Fig. 5.

Figure 6 – Castelluccio inferiore (6 MCS). Collapse of the thick pillar at the ground floor of the same building of Fig. 5.

SISMICITA' DELL'AREA

La regione colpita dal terremoto del 9 settembre 1998 è caratterizzata da un livello di sismicità relativamente modesto (vedi Gruppo di Lavoro CPTI, 1999), specialmente se confrontato con quello delle zone situate verso nord (terremoti della Val d'Agri e del Vallo di Diano) e verso sud (terremoti della Sila e della valle del Crati; Fig. 1). La più alta intensità epicentrale raggiunta non è infatti superiore all'VIII MCS (Tab. 2 e Figg. 7-10), e si attesta in genere su intensità paragonabili o di poco superiori a quella del terremoto del 1998 (VI o VII MCS).

In particolare, un evento abbastanza prossimo all'epicentro del 1998 è quello avvenuto nel 1894 con un'intensità epicentrale pari al VII MCS (Fig. 9). Piuttosto simile, anche se con intensità epicentrale di un grado più elevata e leggermente spostato verso NW, risulta anche l'evento del 1831 (Fig. 7; VIII MCS), che interessò molte delle località colpite nel 1998, così come quello del 1836 che raggiunse l'VIII MCS (ma per il quale sono probabili effetti cumulati sul danneggiamento dell'evento di cinque anni prima).

data	ora	loc. epicentrale	Rif.	Lat.N	Lon.E	Io	Mm	Me	Ms
1708	01 26	Pollino	¹	39.955	16.033	8.0	5.4 ²	5.67 ³	-
1831	01 02 14 07	Lagonegro	DOM	40.082	15.785	8.0	5.4	5.00	-
1836	11 20 07 30	Basilicata mer.	CFTI	40.150	15.780	8.0	5.4	6.34	-
1894	05 28 20.15	Pollino	DOM	39.995	16.035	7.0	4.8	4.66	-
1917	10 13 16 04	Castelsaraceno	DOM	40.231	16.009	6.0	4.3	-	-
1955	07 03 23 55	Vibonati	POS85	40.100	15.700	6.0	4.3	-	-
1982	03 21 09 44	Golfo Policastro	CFTI	40.000	15.770	7.5	5.1	5.30	4.8
1988	01 08 13.05	Lucania	ING	40.130	15.988	7.0	4.8	-	3.7
1998	09 09 13.28	Castelluccio S.	¹	40.040	15.920	6.0	4.3 ²	4.97 ³	5.4 ⁴

Tabella 2 - Eventi con origine nell'area maggiormente interessata dal terremoto del 9.9.98 (modificato da CPTI, 1999). DOM, CFTI, POS85 ed ING si riferiscono, rispettivamente, a: Monachesi & Stucchi (1997), Gruppo di Lavoro CPTI (1999), Postpischl D. (1985), Bollettino Macrosismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica.

¹ Questo lavoro.

² Valore ottenuto usando la relazione tabellare in CPTI, 1999.

³ Valore ottenuto usando la relazione "BOXER" di CPTI, 1999.

⁴ Valore ottenuto dalla media delle grandezze ottenute da MI e Mb secondo le relazioni tabellari contenute in CPTI, 1999.

Table 2 – Historical catalogue of the area struck by the 1998 event (modified after CPTI, 1998). DOM, CFTI, POS85 ed ING are, respectively: Monachesi & Stucchi (1997), Gruppo di Lavoro CPTI (1999), Postpischl D. (1985), Bollettino Macrosismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica.

¹ This paper.

² Value gathered using the tabular relation in CPTI, 1999

³ Value gathered using the "BOXER" relation in CPTI, 1999

⁴ Value gathered as a mean of the MI and Mb values, according to the tabular relations in CPTI, 1999.

L'evento del 1708. Il catalogo NT4.1 (Camassi & Stucchi, 1997) riporta anche un evento avvenuto il 26 gennaio 1708 e localizzato nell'area del Pollino con $Io=VII-VIII$. Questo terremoto è stato incluso nel catalogo fin dalla versione preliminare del 1993 sulla base di dati provenienti da fonti giornalistiche coeve italiane ed europee, dati che portavano a ipotizzare che si

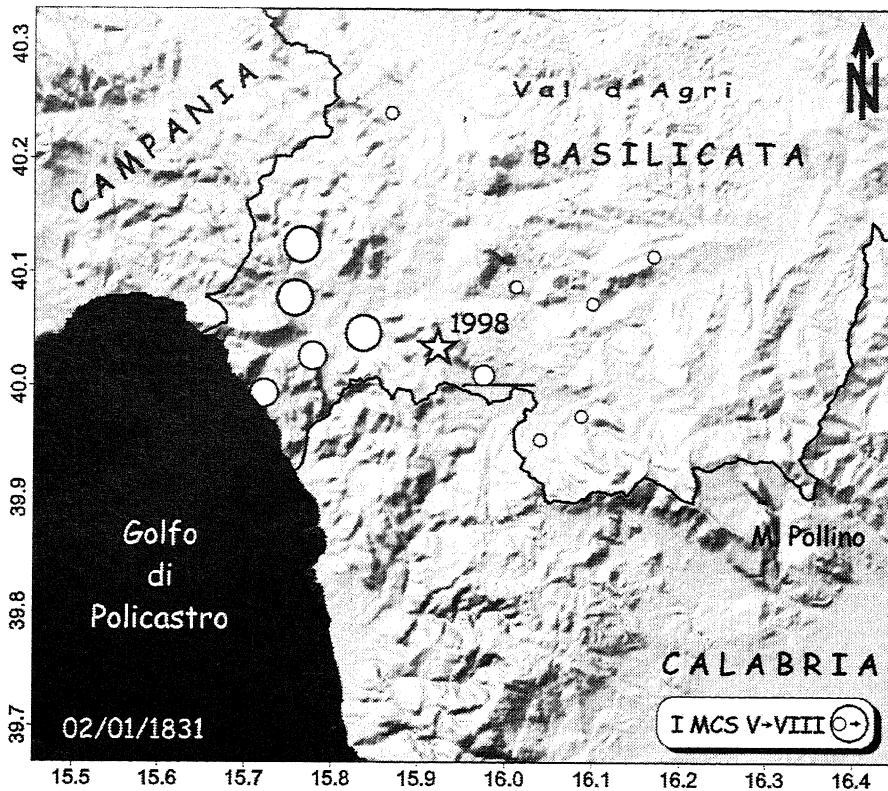


Figura 7 – Distribuzione delle intensità valutate per il terremoto di Lagonegro del 1831 (finestra di intensità dal V all'VIII MCS. Modificato da CPTI, 1999). E' evidente il danneggiamento nell'area occidentale della regione colpita nel 1998 (zona di Lagonegro, Rivello, Treccina e Lauria; Tab. 1).

Figure 7 – Intensities distribution for the Lagonegro earthquake of 1831 (5-8 MCS range). It is worth noting the damage which affect the western area hit during the 1998 event (area of Lagonegro, Rivello, Treccina and Lauria; Tab. 1).

trattasse di un evento "nuovo" in quanto non presente nei precedenti cataloghi sismici italiani (vedi ad es. Postpischl, 1985). La prosecuzione delle ricerche ha invece dimostrato che in realtà l'evento non è nuovo alla tradizione sismologica. Baratta (1901) lo segnala infatti sotto una data errata (marzo 1707) e con un

quadro di effetti generico (danni gravi fra Calabria e Basilicata), sulla base di un diario napoletano coevo (Diario napoletano, 1885). L'analisi incrociata del diario e di varie gazzette dell'epoca (Bologna, Forlì, Amsterdam, Gazette, Avvisi di Napoli) ha portato a ricostruire un quadro di effetti più dettagliato, con

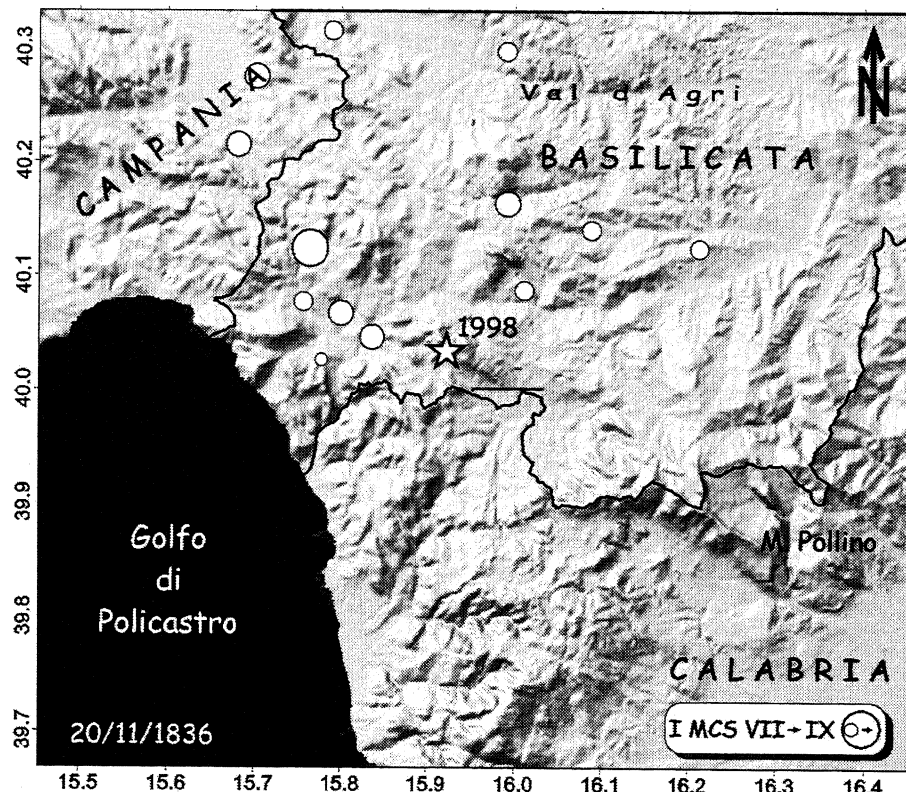


Figura 8 – Distribuzione del danneggiamento stimata per il terremoto del 1836 (finestra di intensità dal VII al IX MCS. Modificato da CPTI, 1999).

Figure 8 – Damage distribution of the 1836 earthquake (7-9 MCS range).

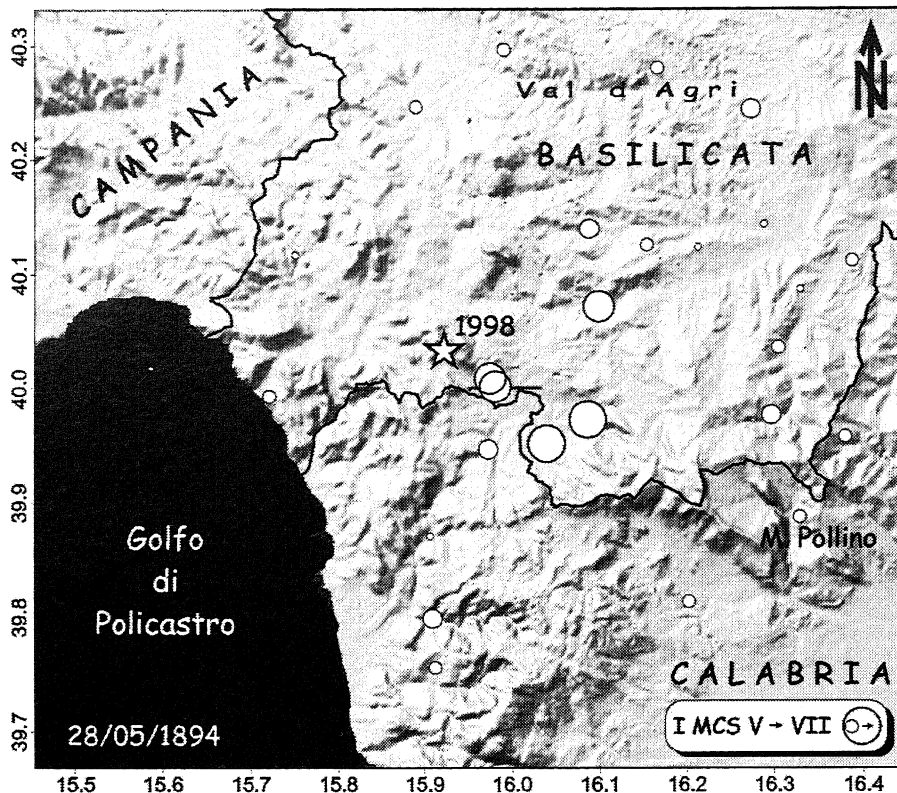


Figura 9 – Distribuzione delle intensità per il terremoto del 28 maggio 1894 (finestra di intensità dal V al VII MCS. Modificato da CPTI, 1999).

Figure 9 – Intensities distribution of the May 28, 1894 earthquake (5-7 MCS range).

danni a Castelluccio, Viggianello, Rotonda e Tortora. La storiografia locale recente (Caterini, 1977; Miner vini, 1940) conserva traccia dell'evento anche per Mormanno e Laino Castello.

Nell'insieme, le informazioni al momento disponibili prefigurano uno scenario abbastanza complesso,

con un periodo sismico durato per alcuni mesi (si segnalano scosse forti a fine gennaio e inizio marzo, oltre a qualche scossa a metà aprile nell'area di Lago negro), che produsse danni abbastanza seri, specie fra Castelluccio e Viggianello. In queste località le gaz zette segnalano anche alcune decine di vittime.

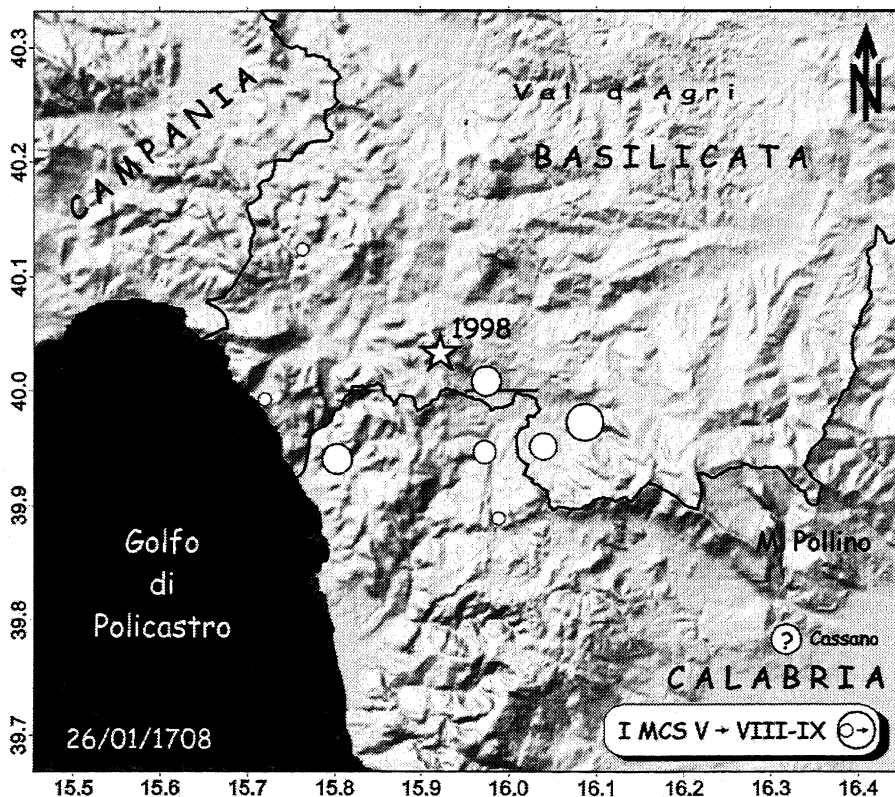


Figura 10 – Distribuzione delle intensità per il terremoto del 26 gennaio 1708. Le nuove ricerche storiche presentate in questo lavoro hanno permesso di delineare una diversa distribuzione degli effetti prodotti dall'evento del gennaio 1708 rispetto a quanto conosciuto prima. Si nota, così come per l'evento del 1998, un certo allungamento in direzione E-W dell'area di danneggiamento. Il dato di Cassano è fortemente dubbio. Finestra di intensità dal V all'VIII-IX MCS.

Figure 10 - Intensities distribution of the January 26, 1708 earthquake (5-8.5 MCS range). The new data concerning the January 1708 event allow to highlight a different intensity distribution with respect to the previous known framework of this earthquake. It is worth to note, similarly to the 1998 event, a rough E-W stretching of the damage area. Actually, the Cassano village point, which we report on the map for information completeness, is affect by source uncertainties.

Le gazzette e la diaristica napoletana riprendono informazioni provenienti da corrispondenze locali. Ciò può aver determinato una certa confusione nell'attribuzione dei danni alle diverse località: un possibile effetto di questa confusione potrebbe essere la segnalazione del crollo della cattedrale di Cassano, che avrebbe causato la morte di alcune monache.

La complessità del quadro delineatosi ha portato ad avviare alcune ricerche archivistiche, attualmente in corso, finalizzate al corretto dimensionamento dell'evento. È stata così rinvenuta presso l'Archivio di Stato di Napoli, nel fondo Regia Camera della Sommaria (magistratura competente in materia fiscale), una relazione sugli effetti del terremoto a Viggianello, basata su una sorta di perizia giurata complessiva (Elenco, 1708). Ne emerge un quadro di effetti molto gravi: la perizia menziona 52 case crollate, 27 gravemente danneggiate, dalle 10 alle 20 vittime e una trentina di feriti. Il quadro degli effetti prodotti da questo evento (Fig. 10) risulta decisamente più serio di quanto ipotizzabile in precedenza. Non è comunque da escludere l'esistenza di un generalizzato degrado del patrimonio edilizio di quest'area, degrado che sarà possibile riscontrare anche nei primi decenni dell'Ottocento nelle aree interessate dagli eventi del 1831 e 1836. L'intensità massima è stata attribuita a Viggianello (VIII-IX MCS). L'area di maggior danneggiamento, seppure nell'incompletezza delle informazioni, ricade in parte nell'area colpita dall'evento del 1998.

Per completare infine il quadro della sismicità locale, si deve ricordare l'esistenza di dati geologici (analisi paleosismologiche effettuate tramite lo scavo di trincee) che ipotizzano l'occorrenza di un evento di elevata energia (magnitudo intorno a 6.5; vedi Cinti et al., 1997) che sarebbe avvenuto al passaggio tra l'alto ed il basso Medioevo nella zona del Monte Pollino, circa 20 km a sudest dall'area interessata dal terremoto del 1998. Questo evento medioevale non è stato finora riscontrato in alcun documento o lapide, né è risultato possibile evincerne l'occorrenza dalla lettura delle vicende storico-economiche della regione (su problematiche concernenti l'occorrenza di forti terremoti nell'area del M. Pollino, si veda anche Moretti & Vulcano, 1999). È quindi da tener presente che, se l'intensità massima osservata storicamente non supera l'VIII grado MCS, quella massima credibile potrebbe essere decisamente più elevata tenendo conto dei risultati delle analisi paleosismologiche.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il terremoto del 9 settembre 1998 ha interessato un'area caratterizzata da una storia sismica piuttosto breve (due o tre secoli) e caratterizzata da un livello di sismicità relativamente moderato. La particolare situazione "geomorfologica" di molti centri abitati (situazioni di "cresta" e/o di pendio instabile), unita all'intrinseca vulnerabilità di molti edifici (scadenti tecniche costruttive e vetustà del patrimonio edilizio), rendono comunque tale sismicità capace di indurre un esteso e "capillare" grado di danneggiamento.

Dal punto di vista della sismicità pregressa, gli eventi del 1708 e 1894 sono i più prossimi a quello in oggetto, avendo danneggiato parte delle località col-

pite nel 1998. In particolare, i nuovi dati presentati sul terremoto del 1708, evidenziano per questo evento un maggiore grado di danneggiamento rispetto a quanto sinora conosciuto, in un'area anch'essa allungata secondo una direttrice E-W.

L'assenza di terremoti di elevata energia in questo tratto di catena è di particolare rilevanza se si osserva l'intensissima attività, sia in termini di frequenza che di energia liberata, dei settori posti a nord (Irpinia-alta Val d'Agri) ed a sud (Valle del Crati-Sila-Serre-Aspromonte-Stretto di Messina; Fig. 1). Gli unici eventi noti dell'area sono riferiti agli ultimi due o tre secoli e sono caratterizzati da modesti valori di intensità (\leq VIII) e magnitudo ($M < 5.5$). Solo nel bacino di Castrovillari, su basi paleosismologiche, si è inferita l'occorrenza di un evento medioevale di elevata magnitudo, che comunque non sarebbe sufficiente a "colmare" il *gap* sismico evidenziato dal trend e dai valori di energia messi in gioco lungo questo tratto di catena.

Per quanto riguarda l'evento del 1998, a fronte del valore di magnitudo misurato, la considerevole profondità stimata (20-25 km) potrebbe spiegare da un lato la notevole estensione dell'area epicentrale e dall'altro il relativamente basso livello di intensità che la caratterizza, pari al VI grado MCS. Infatti, terremoti italiani di magnitudo comparabile a quella registrata nel 1998, mediamente comportano un'intensità epicentrale di VIII MCS (si veda vedi Gruppo di Lavoro CPTI, 1999).

La soluzione del meccanismo focale proposta da Gervasi & Moretti (1999) mostra una coppia di piani subverticali, l'uno ad orientazione NNW-SSE e l'altro ENE-WSW, con cinematica trascorrente, rispettivamente destra e sinistra, quasi pura. In effetti, se da un lato è noto dalla letteratura che la distribuzione del danneggiamento più grave avvenga in genere entro una fascia nell'*hanging wall* allungata in direzione della struttura sismogenetica (faglie normali appenniniche; vedi Galli & Galadini 1999), l'effetto di direttività recentemente osservato per terremoti originati su faglie strike-slip (subverticali) è stato ancora più marcato (Mucciarelli et al., 2000).

Tenuto conto quindi della distribuzione del danneggiamento dell'evento del 1998 (fortemente allungata in senso E-W e riconosciuta anche in alcuni dei pochi eventi occorsi nel periodo storico), si potrebbe ipotizzare che la scossa principale si sia originata a seguito di un movimento "sinistro" avvenuto sul piano circa E-W, così come sembra confermare anche la distribuzione spaziale delle repliche (in Moretti & Gervasi, 2000). La notevole profondità dell'ipocentro sembra infine escludere che si possano essere originati fenomeni di fagliazione superficiale.

In conclusione, il terremoto del 1998 potrebbe essere connesso con una delle zone di taglio profonde che hanno permesso l'avanzamento differenziale dei diversi settori dell'Arco Appenninico, dividendo la litosfera in settori a diversa pendenza nel lato in subduzione interno della catena e a diversa velocità di arretramento flessurale nella parte esterna. L'attività di queste zone di taglio, massima sino al Pleistocene Medio come *tear faults* (si veda la zona WMW-ESE Cilento-Pollino di Cinque et al., 1993), potrebbe attualmente essere interpretata in chiave di svincolo profondo tra settori di litosfera a diverso *rebound*

visco-elastico, invero di svincolo tra litosfera apula e ionica, libere - quasi sicuramente la prima e plausibilmente la seconda (Patacca & Scandone, 1989) - dallo slab litosferico distaccato - ed in sollevamento differenziale l'una rispetto all'altra.

LAVORI CITATI

- Amato A., Alessandrini B., Cimini G.B., Frepoli A. & Selvaggi G., 1993. *Active and remnant subducted slabs beneath Italy: evidence from seismic tomography and seismicity*, Annali di Geofisica, **XXXVI**, 201-214.
- Baratta M., 1901. *I terremoti d'Italia*, ristampa anastatica Arnaldo Forni Editore, Bologna.
- Bosi V., Galli P., 2000. *Paleoseismic investigation along the February 5, 1783 earthquake ruptures (Cittanova Fault, Calabria, Southern Italy)*. Abstract of the XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), Lisbon, 10-15 September 2000, 69.
- Camassi R. & Stucchi M. (a cura di), 1997. *NT4.1 un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*. C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), versione NT4.1.1. del luglio 1997. Sito internet: <http://emidius.itim.mi.cnr.it>.
- Caterini G., 1977. Laino antichissima comunità calabrese, Cosenza.
- Cinque A., Patacca E., Scandone and Tozi M., 1993. Quaternary kinematic evolution of the Southern Apennines. Relationships between surface geological features and deep lithospheric structures. Annali di Geofisica, **36**, 249-260.
- Cinti F.R., L. Cucci, D. Pantosti, G. D'Addezio & M. Meghraoui, 1997. *A major seismogenic fault in a "silent area": the Castrovillari fault (southern Apennines, Italy)*. Geophys. Int., **130**, 595-605.
- Diario Napoletano dal 1700 al 1709, Archivio Storico per le Province Napoletane pubblicato a cura della Società di Storia Patria. Anno X, Napoli 1885. pp. 85-129; 215-267; 462-501; 599-652.
- Dogliani C., 1991. *A proposal for the kinematic modeling of W-dipping subductions - possible application to the Tyrrhenian-Apennines system*, Terra Nova, **3**, 423-434.
- Dogliani C., Innocenti F. & Mariotti G., 1998. *On the geodynamic origin of Mt. Etna*, GNGTS, Atti del 17° Convegno Nazionale, 9 pp.
- Elenco degli edifici crollati e lesionati nella Terra di Viggianello a seguito del Terremoto del 25/27 gennaio 1708. Archivio di Stato di Napoli, Regia Camera della Sommaria, Attuari diversi.
- Finetti I. & Morelli C., 1973. *Geophysical exploration of the Mediterranean Sea*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata, **14**, 263-341.
- Galli P. & Galadini F., 1999. *Seismotectonic framework of the 1997-98 Umbria-Marche (Central Italy) earthquakes*. Seismological Research Letters, **70**, 4, 404-414.
- Galli P., Molin D. & Falzone G., 1998a. *Terremoto calabro-lucano del 9 settembre 1998: Rilievo macrosismico preliminare*. SSN, sito internet <http://www.dstn.it/ssn/ RT/RRP/980909/terremoto.html>.
- Galli P., Molin D., Camassi R. & Castelli V., 1998b. *Il terremoto calabro-lucano del 9 settembre 1998: i risultati del rilievo macrosismico a confronto con alcuni terremoti storici dell'area*. Riassunti del 17° Convegno nazionale del GNGTS, Roma 10-12 novembre 1998, 119.
- Gervasi A. & Moretti A., 1999. Considerazioni e proposte sulla zonazione sismogenetica della Calabria. In: Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Progetto Esecutivo 98, Progetto 5.1.1, Mappa delle zone sismogenetiche e probabilità degli eventi associati, coordinatori: P. Scandone & M. Stucchi, sito internet: http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P511/UNI_CS/rel991016.htm.
- Ghisetti F. & Vezzani L., 1982. *Different styles of deformation in the Calabrian Arc (Southern Italy): implication for a seismotectonic zoning*. Tectonophysics, **25**, 149-165.
- Gruppo di Lavoro CPTI, 1999. *Catalogo Parametrico Terremoti Italiani*, ING, GNDT, SGA & SSN, Editrice Compositori ed., Bologna, 88 pp.
- Gueguen E., Doglioni C., Fernandez M., 1997. *Lithospheric boudinage in the western Mediterranean back-arc basins*, Terra Nova, **9**, 184-187.
- Lona F. & Ricciardi E., 1961. *Studio pollinico stratigrafico su una serie lacustre pleistocenica dell'Italia centrale (bacino di Gubbio, Perugia)*, Pollen et Spores, **3**, 93-100.
- MCS, 1930. Scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg. In Sieberg A. "Geologie der Erdbeben", Tab. 2, Handbuch der Geophysic. Berlin.
- Michetti A., Ferrelì L., Esposito E., Porfido S., Blumetti A., Vittori E., Serva L., Roberts G., 2000. *Ground effects during the 9 September 1998, Mw=5.6, Lauria Earthquake and the seismic potential of the "aseismic" Pollino region in southern Italy*, Seismological Research Letter, **71**, 31-46.
- Minervini V., 1940. *Mormanno d'una volta*, Castrovillari.
- Monachesi G. & Stucchi M. (a cura di), 1997. DOM4.1 un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. GNDT, Rapporto interno, Milano-Macerata. InterNet: <http://emidius.itim.mi.cnr.it>.
- Moretti A., 1999. *Active faults in northern Calabria*, sito Internet http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P512/UR_UNICS990623.html
- Moretti A. & Gervasi A., 2000. *Considerazioni e proposte sulla zonazione sismogenetica della Calabria*. GNDT, Sottoprogetto 5.1.1, rapporto inedito.
- Moretti A. & Vulcano A., 1999. *Uso di speleotemi quali possibili indicatori della massima accelerazione sismica al sito*, GEOITALIA, 2° Forum FIST, **1**, 355-357.
- Mucciarelli M., Camassi R., Gallipoli M.R., 2000. *The Izmit (Turkey) 1999 Earthquake. QTVR damage survey, HVSR ground amplification measurements and preliminary EMS intensity assessment*, sito internet http://www.pz.cnr.it/imaaa/turchia/report_e.html.
- Patacca E. & Scandone P., 1989. *Post-Tortonian mountain building in the Apennines: the role of the passive sinking of a relic lithospheric slab*, In The Lithosphere in Italy: Advance in Earth Science Research, pp. 157-176, eds. Boriani A., Bonafede M., Piccardo G.B. & Vai G.B., Accademia Nazionale dei Lincei, Rome, 1987.

- Postpischl D. ed., 1985. *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, Quaderni de "La Ricerca Scientifica", n. 114 - 2B.
- Scandone P., Patacca E., Meletti C., Bellatalla M., Perilli N., Santini U., 1990. *Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana*. Atti del Convegno GNDT 1990, 1, 119-135.
- Schiattarella M., Torrente M., Russo F., 1994. *Analisi strutturale ed osservazioni morfostratigrafiche nel bacino del Mercure (confine calabro-lucano)*. Il Quaternario, 7, 613-626.
- Tortorici L., Monaco C., Tansi C., Cocina O., 1995. *Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy)*, Tectonophysics, 243, 37-55.
- USGS, 1998. Near Real Time Earthquake List USGS NEIC Golden, Colorado. Sito internet: <http://www-neic.cr.usgs.gov/neis/bulletin/bulletin.html>

Ms. ricevuto il 18 dicembre 2000

Testo definitivo ricevuto il 13 febbraio 2002

Ms. received: December 18, 2000

Final text received: February 13, 2001