

# Considerazioni e proposte sulla zonazione sismogenetica della Calabria

*I. Guerra, A. Gervasi, A. Moretti*

*Dipartimento di Scienze della Terra, Università della Calabria, Arcavacata CS (e-mail: guerra@unical.it)*

## 1 Introduzione

La capacità di acquisire dati strumentali di gran lunga superiori dal punto di vista quantitativo e qualitativo rispetto al passato e lo sviluppo di metodi di analisi numerica nella modellizzazione dei fenomeni alle sorgenti sismiche hanno reso possibile negli anni più recenti una caratterizzazione sempre più definita e dettagliata della sismicità della penisola italiana.

Nel quadro del continuo affinamento delle conoscenze esistenti vengono esposti sinteticamente, per la parte riguardante la Calabria, i dati geologici e sismografici di recente acquisizione e le loro implicazioni sulla zonazione sismogenetica.

La Rete Sismica Regionale dell'Università della Calabria, la cui installazione è cominciata nel 1979, ha raggiunto l'attuale configurazione solo nel 1986; nel seguito, tranne che in occasioni particolari, faremo riferimento ai dati strumentali acquisiti a partire da tale anno (Fig. 1).

Il catalogo dal quale vengono estratti i dati utilizzati è stato costruito elaborando oltre ai dati registrati dalla Rete Regionale della Calabria, anche quelli pubblicati da altre istituzioni scientifiche, a cominciare ovviamente dall'Istituto Nazionale di Geofisica. Sono stati inglobati nell'archivio delle letture sismiche anche quelle fornite da stazioni installate temporaneamente per obiettivi particolari. Per la localizzazione viene utilizzato un programma in grado di rappresentare le strutture crostali con stratificazioni piane le cui interfacce possono avere pendenze variabili e con sezioni verticali variabili per ciascun percorso ipocentro stazione (Guerra, 1996).

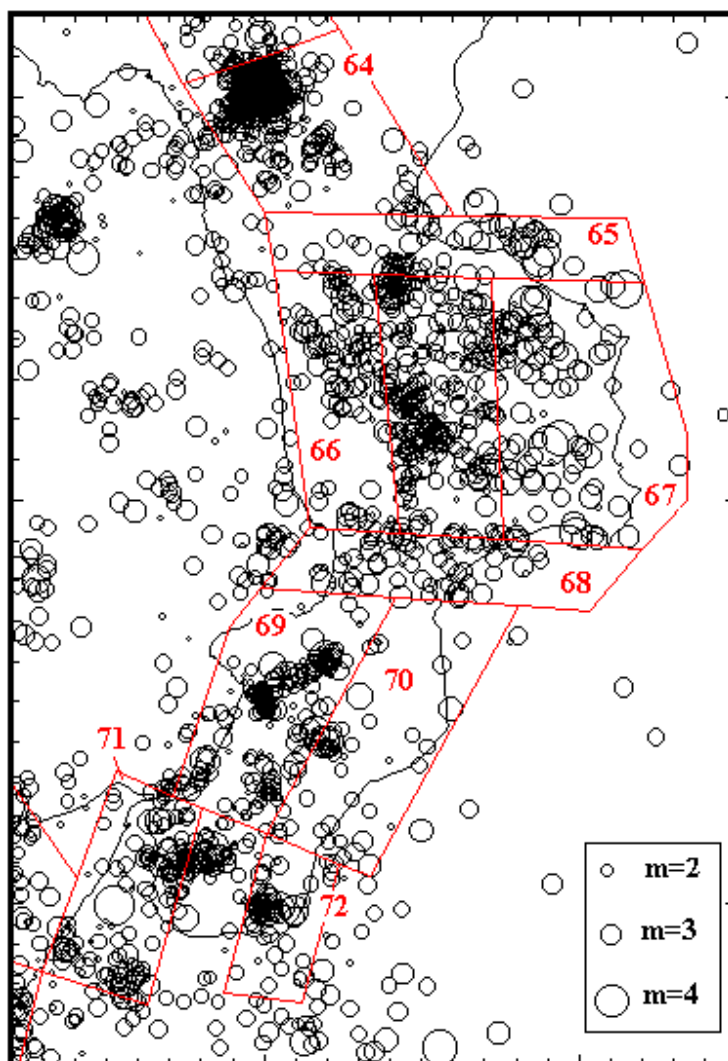
## 2 Zona Sismogenetica 64

La zona sismogenetica 64, situata al confine calabro-lucano, è stata interessata tempi storici da una sismicità di livello relativamente modesto. I dati strumentali dal 1986 confermano il persistere di un'attività di moderata energia nella sua porzione nord-occidentale, mentre scarsissima è stata la sismicità in quella sud-orientale, tra la Piana di Sibari e le pendici del Pollino.

La sequenza sismica iniziata il 9 settembre 1998 (Fig. 2) con una scossa di magnitudo 4.8 è stata senza dubbio l'evento di maggior rilievo degli ultimi 15 anni: da tale data infatti sono state finora registrate ben 31 scosse con  $m \geq 3.0$ . In precedenza, si può comunque notare un'attività microsismica piuttosto costante, con eventi di energia modesta, ma relativamente frequenti. L'unico evento di un certo rilievo nell'intervallo considerato è stato il terremoto dell'8 gennaio 1988 ( $m=3.7$ ) che interessò praticamente la stessa area epicentrale di quello dell'8 settembre 1998.

Gli ipocentri si dispongono prevalentemente a profondità inferiori a 5 km, e la loro densità diminuisce progressivamente fino ad annullarsi a circa 40 km. I massimi rila-

sci di energia sono invece localizzati a profondità maggiore: anche in questo caso la distribuzione è dominata dal terremoto del 9 settembre 1998, la cui profondità è stata calcolata tra i 20 ed i 25 km. Sono da segnalare sporadici ipocentri fino ad una profondità di 80 km.



*Fig. 1 - Attuali zone sismogenetiche e distribuzione superficiale della sismicità registrata e localizzata dalla Rete Regionale dell'Università della Calabria tra il gennaio 1986 e l'agosto 1999. Gli ipocentri sono stati selezionati in base alla profondità ( $h < 40$  km) ed alla qualità della localizzazione ( $rms < 1$ ,  $obs > 10$ ).*

Il recente terremoto del 9 settembre 1998 rappresenta probabilmente il massimo rilascio di energia finora verificatosi sulla struttura interessata, ed è confrontabile con altri eventi di magnitudo molto simile verificatisi nella stessa area in tempi storici (1708, 1894) e recenti (1980, 1988) (Baratta, 1895; Gasparini e Tertulliani, 1988; Currà et al., 1994; Monachesi e Stucchi, 1997).

Le sue repliche sono state registrate per più di un mese da una rete sismica temporanea di dodici stazioni digitali 3D installate dall'ING e dall'Università della Calabria: si tratta probabilmente del miglior dispositivo di osservazione impiegato in Italia per un terremoto di quel livello. Per seguire l'evoluzione nel tempo della sequenza, che non può dirsi ancora completamente esaurita, sono tenute tutt'ora attive dall'Università della Calabria due stazioni digitali 3D.

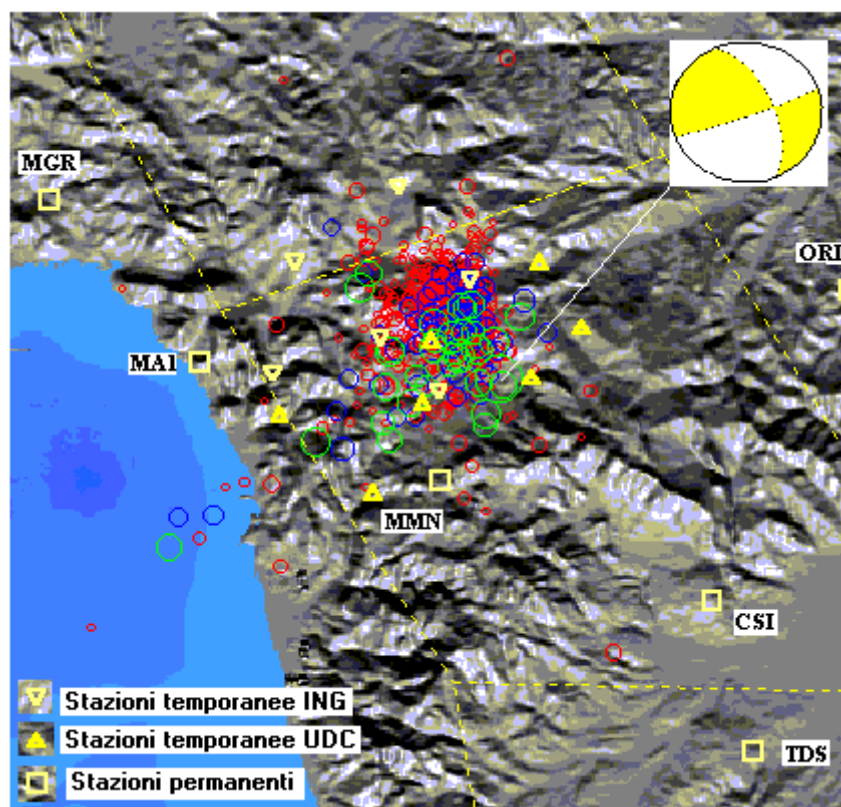


Fig. 2 - Distribuzione degli epicentri registrati in occasione della sequenza sismica del settembre 1998 - maggio 1999 al confine calabro-lucano e soluzione del piano di faglia della scossa principale (1998 09 09 11:28  $m=4.8$ ). Sono indicati con il colore rosso, azzurro e verde gli epicentri aventi rispettivamente  $m < 2.5$ ,  $2.5 < m < 3$ ,  $m > 3$ .

La soluzione del piano di faglia della scossa principale (Fig. 2), la distribuzione spaziale delle repliche ed il modello di velocità delle porzioni superiori della crosta nell'area in esame, ricavabile dall'inversione dei tempi di arrivo delle onde sismiche, sembrano confermare l'appartenenza delle strutture attivate alle propaggini meridionali del dominio appenninico.

Per quanto riguarda la porzione sud-orientale della Catena del Pollino, recenti misure sugli speleotemi di numerose cavità carsiche sembrano escludere terremoti di elevata energia almeno nelle ultime migliaia di anni (Moretti e Vulcano, 1999).

### 3 Zona Sismogenetica 65

La zona sismogenetica 65 segna il confine settentrionale dei domini più propriamente pertinenti all'Arco Calabro Peloritano, caratterizzati storicamente da eventi di forte energia. Alla Zona 65 possono essere attribuiti almeno tre eventi con intensità uguale o superiore all'ottavo grado MCS (24 aprile 1836,  $I_{\max} = 10$ ; 3 dicembre 1887,  $I_{\max} = 8.5$ ; 28 giugno 1913,  $I_{\max} = 9$ ) oltre ad una probabile riattivazione della struttura in occasione del grande terremoto del Crotonese del 9 giugno 1638 ( $I_{\max} = 10$ ). Per l'evento del 1836 sono anche state segnalate dalle cronache dell'epoca fenomeni di liquefazione e l'apertura di lunghe fratture parallelamente alla linea di costa (E-W), attribuibili a riattivazioni lungo linee di faglia.

La sismicità più recente si è invece mantenuta su livelli modesti: dal 1986 solo quattordici eventi hanno superato la soglia della magnitudo 3.0, e quattro quella di 3.5. Tra questi sono da ricordare gli eventi dell'8 agosto 1995 alla foce del Crati e quello del 28 dicembre 1995 che anticipa la sequenza dell'aprile-maggio 1996 in Sila Greca (Colozza et al., 1996; Gervasi et al., 1997), appena a sud dei confini della Zona. Sono comunque anche da ricordare il terremoto del 22 dicembre 1985 ( $m=3.9$ ) e, immediatamente a N dei confini della Zona 65, quelli del 5 febbraio 1985 e 12 aprile 1988 ( $m=4.4$ ). L'attività maggiore sembra essere confinata nella porzione orientale della Zona, in particolare lungo le coste rossanesi e nel prospiciente Golfo di Sibari; questa distribuzione coincide con l'area mesosismica dei due maggiori terremoti storici (9 giugno 1638 e 24 aprile 1836).

La distribuzione della sismicità strumentale nel tempo mostra un andamento costante ma di livello basso, con un numero mensile di scosse localizzate mediamente inferiore a 5, tranne che in occasione dell'attività del dicembre 1995-maggio 1996 in Sila Greca.

La profondità degli ipocentri è generalmente maggiore di 10 km, e la loro frequenza diminuisce progressivamente fino ai 40 km; gli eventi più energetici si hanno tra 10 e 30 km. I meccanismi focali disponibili rivelano movimenti prevalentemente trascorrenti, in buon accordo con la cinematica regionale, guidata da un elemento tettonico profondo a scorrimento trascorrente sinistro (*linea di Palinuro*, Finetti e Del Ben, 1986). Questa mostra nella sua porzione emersa evidenze morfologiche di movimento durante il Pleistocene superiore - Olocene. Il ruolo di linea di svincolo tra il blocco appenninico, relativamente stabile, e la porzione di Arco ancora in migrazione attiva verso est svolto dalla *linea di Palinuro* è confermato anche dalla brusca diminuzione della sismicità verso nord e dai meccanismi focali, trascorrenti a nord e prevalentemente estensionali verso sud (Moretti e Guerra, 1997).

Dalle informazioni acquisite e sinteticamente esposte può derivare l'opportunità di allargare sia verso nord che verso sud i confini della Zona per includere alcuni eventi limitrofi con meccanismo trascorrente, coerente quindi con la cinematica prevista. Può essere anche da valutare la possibilità di limitare la Zona 65 alla sua sola porzione orientale, incorporando la sismicità storica della bassa Valle del Crati (1887, 1913) nella Zona 66.

#### **4 Zona sismogenetica 66**

La zona sismogenetica 66 comprende la Valle del Crati e quella del Savuto fino a Falerna.

In epoca storica, il segmento meridionale è stato caratterizzato da un unico evento di grande energia (27 marzo 1638,  $I_{\max} = 11$ ), mentre quello settentrionale è stato interessato da eventi di intensità più bassa, anche se più frequenti.

Anche la distribuzione degli epicentri localizzati dal 1986 mostra una netta separazione tra la porzione settentrionale, sede di numerose scosse strumentali, e quella meridionale che appare al momento quiescente. Tra le scosse di maggiore energia registrate in questo periodo si possono contare venticinque terremoti con  $m \geq 3.0$ , anche se solamente due superano la magnitudo 3.5. Sono tuttavia da ricordare i due terremoti del 20 febbraio 1980, rispettivamente di magnitudo 4.3 e 4.0, che produssero danni del VII MCS nel territorio di Cosenza e dei comuni limitrofi. Gli eventi di maggiore energia negli ultimi 15 anni sembrano localizzati in prevalenza al margine orientale della zona, in continuità con la diffusa sismicità dell'altopiano silano, mentre sono rari gli epicentri localizzati in coincidenza dell'emersione delle maggiori faglie regionali sul bordo occidentale della Valle del Crati.

La sismicità mostra un andamento piuttosto regolare nel tempo anche se di basso livello. Gli eventi maggiori si sono espressi come scosse singole o sono stati seguiti da un numero sempre limitato di repliche. In profondità si nota un notevole addensamento di ipocentri tra i 10 ed i 30 km, carattere questo comune alla sismicità della contigua fascia silana (vedi oltre). Consistenti rilasci di energia si osservano fino a 60 km, verosimilmente connessi con la subduzione della piastra ionica sotto l'Arco. A profondità maggiori di 30 km infatti sono stati osservati diversi terremoti con meccanismo focale compressivo (Moretti e Guerra, 1997).

La cinematica recente è controllata da almeno 4 segmenti di faglia principali (CS2, CS3, CS4, CS6 in Moretti, 1999), attivi dopo il Pleistocene e con evidenze di riattivazione in occasione del terremoto del 27 marzo 1638 ( $I_{\max} = 11$ ). I diversi segmenti in realtà sono separati alla latitudine di Cosenza da una faglia di trasferimento diretta E-W (*linea delle Vette*, CS7 in Moretti, 1999) che divide la Zona in due settori, con caratteristiche morfologiche e strutturali piuttosto diverse. Tenendo presente anche la diversa distribuzione della sismicità strumentale e storica tra la porzione settentrionale (Valle del Crati) e quella meridionale (bacini di Piano Lago e Decollatura), sarebbe interessante approfondire le modalità di interazione tra i due segmenti e valutare l'opportunità di identificare due zone distinte.

#### **5 Settore centrale dell'Altopiano Silano.**

Tra le attuali zone sismogenetiche 66 e 67 è frapposta un'area nella quale non vengono ricordati eventi sismici di elevata energia in tempi storici.

Tuttavia indagini di campagna eseguite negli ultimi anni da componenti dell'U.R. dell'Università della Calabria hanno portato al riconoscimento di una faglia normale con attività olocenica che disloca la sommità del massiccio silano (*faglia Cecita - Silvana Mansio*, CS20 in Moretti, 1999) e di un sistema trascorrente positivo (*linea delle Vette*, CS7 in Moretti, 1999) lungo il quale si è localizzata negli anni più

recenti una insistente attività microsismica che ha più volte superato la soglia di avvertibilità. In effetti negli ultimi 15 anni sono stati registrati nell'area della Sila ventinove scosse con  $m \geq 3.0$ , di cui quattro superiori a 3.5 (tra queste la scossa principale della già citata sequenza dell'aprile 1996, ed i terremoti del 2 dicembre 1995 e del 24 aprile 1991).

Analoga alla Zona 66 è anche la distribuzione in profondità degli ipocentri, con un massimo tra 15 e 20 km e consistenti rilasci di energia fino a profondità di oltre 50 km.

Appare evidente che l'area della Sila è tutt'altro che asismica, e deve trovare una sua collocazione all'interno della zonazione sismogenetica. In alternativa alla sua possibile "promozione" a nuova zona, si potrebbe pensare di incorporarla in parte nella zona 65, allargando il limite meridionale di questa fino a comprendere tutta la fascia a cinematica trascorrente. La restante porzione potrebbe eventualmente venire associata alla zona 66, con cui ha in comune molti elementi nella distribuzione della sismicità, fermo restando la possibile distinzione di quest'ultima in due zone separate.

## **6 Zona sismogenetica 67**

La Zona Sismogenetica 67 comprende il versante orientale della Sila ed il Bacino Crotonese, arrivando a contenere anche parte dell'offshore ionico.

Storicamente la Zona è stata interessata da due terremoti di grande energia (9 giugno 1638,  $I_{\max} = 10$ ; 8 marzo 1832,  $I_{\max} = 10$ ), mentre mancano attendibili informazioni sulla sismicità di minore energia. Entrambi questi eventi furono preceduti da scosse premonitrici che limitarono il numero delle vittime.

La Zona è stata soggetta dal 1986 a trentatré scosse con  $m \geq 3.0$ , di cui quattro con magnitudo superiore a 4.0. Tra questi ricordiamo le due scosse del 24 gennaio 1990 ( $m = 4.5$  e  $4.1$ ). Il terremoto del 23 agosto 1993 ( $m = 4.0$ ) ha avuto profondità focale di 65 km, per cui gli effetti macrosismici sono stati modesti; va anche ricordato il terremoto di Crotona del 15 agosto 1977, di magnitudo 5.5, localizzato ad oltre 50 km di profondità e con meccanismo focale compressivo. Questi eventi subcrostali sono da mettere in relazione alla flessura della litosfera ionica ed appartengono quindi ad un diverso contesto sismotettonico rispetto alle scosse più superficiali, correlate alle faglie normali che separano la Sila dal Bacino Crotonese (Moretti, 1993) o ad elementi trascorrenti di trasferimento.

La distribuzione nel tempo della sismicità è piuttosto costante; analogamente alla Zona 65, le scosse maggiori non sono state seguite da un apprezzabile numero di repliche. La profondità degli ipocentri mostra un evidente massimo tra 15 e 20 km, mentre consistenti rilasci di energia sono localizzati fino a 50 km e, sporadicamente, fino a 90 km nella zona di flessura.

La struttura tettonica che caratterizza cinematicamente la Zona è costituita da una grande faglia normale (*Faglie del Marchesato*, CS8 in Moretti, 1999), che si estende in senso N-S per oltre 60 km e mostra dislocazioni verticali fino a 2000 m dopo il Pleistocene inferiore (Moretti, 1993); le fonti storiche riportano notizie di movimenti verticali della faglia principale e di altre strutture minori in occasione del ter-

remoto del 9 agosto 1638. Alla faglia principale è associato un esteso sistema idrotermale ad alimentazione profonda (Quattrocchi et. al., 2000) che evidenzia la tettonica attiva dell'elemento.

La Zona appare troppo estesa verso est perché comprende oltre alla sismicità connessa con le faglie N-S che bordano ad oriente l'altopiano silano anche quella subcrostale al largo delle coste crotonesi, che deve essere invece attribuita alla flessura ed alla subduzione dell'avampaese ionico. Si propone pertanto un ridimensionamento della zona sismogenetica, con la sua limitazione alla fascia interessata dalle strutture estensionali più superficiali. Nell'ottica di inglobare l'area silana nelle zone adiacenti potrebbe essere leggermente ampliata verso occidente fino a comprendere i bordi della Sila, interessati da terremoti con meccanismo distensivo (p.es. 24 aprile 1991,  $m=3.9$ ).

### **7 Zona sismogenetica 68**

La Zona Sismogenetica 68 comprende la fascia di raccordo tra i settori meridionale e settentrionale dell'Arco Calabro, in corrispondenza della Stretta di Catanzaro. La sismicità storica si è espressa in questa Zona con valori di danneggiamento estremamente elevati, in particolare in occasione dei terremoti del 5 novembre 1659 ( $I_{max} = 10$ ), del 28 marzo 1783 ( $I_{max} = 11$ ) e dell'8 settembre 1905 ( $I_{max} = 10$ ). Oltre a questi, la zona ha risentito anche di numerosi terremoti minori nonché degli effetti di eventi di grande energia nelle aree limitrofe.

La sismicità degli anni più recenti si è mantenuta su di un livello molto modesto, con solo dieci scosse di magnitudo superiore a 3.0, di cui solo una superiore a 3.5, localizzata sotto la *Moho*. Anche il numero mensile di scosse registrate è molto basso, con due picchi dovuti alle repliche della scossa del marzo 1994, tutte localizzate a profondità superiore a 15 km, e ad un piccolo sciame nel settembre 1990.

La profondità degli epicentri mostra un massimo tra 30 e 40 km, con un rilascio continuo di energia fino ad oltre 50 km. Questo sembra indicare che la struttura trascorrente evidente in superficie e ben nota dalla sismica di esplorazione (*faglia di Catanzaro*, Finetti e Del Ben, 1986) possa essere continua anche in profondità, fino ad interessare uno spessore molto ampio della crosta, favorendo l'indipendenza cinematica dei due segmenti dell'Arco Calabro, suggerita anche dalla distribuzione nel tempo della sismicità storica.

Evidenze di tettonica attiva si hanno solamente sul segmento di faglia (CS18 in Moretti, 1999) che borda il limite settentrionale della struttura, mentre la restante porzione dell'area è quasi sempre sepolta sotto depositi e coperture quaternarie.

Allo stato attuale non sussistono elementi che suggeriscano variazioni per i limiti o per l'interpretazione cinematica della Zona.

### **8 Zone sismogenetiche 69, 70, 71 e 72**

Per quello che riguarda la Calabria meridionale, una consistente attività microsismica si è verificata nelle Zone 69, 71 e 72, mentre è stata quasi completamente assente nella Zona 70, quest'ultima peraltro scarsamente interessata anche da terremoti storici.

Allo stato attuale tuttavia non è possibile fare una correlazione diretta tra l'andamento della sismicità strumentale e le strutture tettoniche superficiali, anche per mancanza di adeguate informazioni sulla cronologia delle deformazioni e sulla cinematica di queste ultime.

Una migliore caratterizzazione di questi parametri, oltre al proseguimento delle osservazioni strumentali sulla sismicità, fanno parte dei programmi di ricerca dell'Unità Operativa per i prossimi anni.

### **Bibliografia**

- Baratta M. (1895): Il terremoto di Viggianello (Basilicata) del 28 maggio 1894 - *Boll. Soc. Sism. It.*, **1**, 82-88.
- Gervasi A., Bruno G., Guerra I., Moretti A. (1997): La sequenza sismica dell'aprile 1996 al bordo settentrionale della Sila - *Atti 16° Conv. Ann. GNGTS*.
- Colozza R., De Sortis A., Goretto A., Gerard R. (1996): Missione di ricognizione degli effetti del sisma che ha interessato la Sila il 27 aprile 1996 - *T.R. Serv. Sismico Naz.*, Roma
- Currà F., Guerra I., Moretti A. (1994): Shallow seismic activity in the southeastern Tyrrhenian Sea and along the Calabria-Lucania border, Southern Italy - *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, **36**, 309-409.
- Finetti I., Del Ben A. (1986): Geophysical study of the tyrrhenian opening - *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, **28**, 75-155.
- Gasparini C., Tertulliani A. (1988): Il terremoto calabro-lucano dell'8 gennaio 1988 - *Geol. Tecn.*, **88/2**, 44-47
- Guerra I. (1996): LME97: programma per la localizzazione di terremoti. Descrizione e guida per l'utente - *TR/Sism9602*, Univ. Calabria.
- Monachesi G., Stucchi M., (1997): DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno - <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM>
- Moretti A.. (1993): Note sull'evoluzione tettono-stratigrafica del Bacino Crotonese dopo la fine del Miocene - *Boll. Soc. Geol. It.*, **112**, 845-867.
- Moretti A., (1999): Faglie attive nella Calabria Settentrionale - Progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili" - *GNDT: Aggiornamenti e contributi dalle UR* - [http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P512/UR\\_UNICS990623.html](http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P512/UR_UNICS990623.html)
- Moretti A., Guerra I. (1997): Tettonica dal Messiniano ad oggi in Calabria: implicazioni sulla geodinamica del sistema Tirreno-Arco Calabro - *Boll. Soc. Geol. It.*, **116**, 125-142.
- Moretti A., Vulcano A. (1999): Uso di speleotemi quali possibili indicatori della massima accelerazione sismica al sito - *GEOITALIA*, 2° Forum FIST, vol. 1, 355-357.
- Quattrocchi F., Lombardi S., Ciampi I., Guerra I., Moretti A., Pizzino L. (2000): Fluid geochemistry and seismotectonics of the Central-Northern Calabrian Arc - Submitted to *Appl. Geochem.*