

ATTIVITA' TETTONICA RECENTE NEL MASSICCIO DEL POLLINO SUGGERITA DALLO STUDIO DI SPELEOTEMI FRATTURATI

L. Ferranti⁽¹⁾ - S. Improta⁽²⁾ - L. Maschio⁽³⁾ - E. Vittori⁽³⁾

⁽¹⁾Geomare Sud CNR, Napoli e Centro di Geodinamica, Università della Basilicata, Potenza

⁽²⁾Dip.to di Fisica, Università di Roma "La Sapienza", Roma

⁽³⁾Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA), Roma

ABSTRACT - Recent tectonic activity in the Pollino Massif as deduced from the study of fractured speleothems - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 10(2), 1997, 507-512 - Fractures or anomalies along the growth axis of speleothems may yield valuable information on suspected tectonically active regions, when more conventional deformation markers are absent. Radiometric dating of deformed speleothems provides a record of continuous motion, once the tectonic nature of deformation has been assessed. Deformed speleothems were collected in caves of an about 20 km long stretch of the southern border of the Pollino carbonate Massif, in Northern Calabria (Southern Italy). Contrary to conterminous regions, lack of evidence of active tectonics and significant historical seismicity induced to consider this area seismically quiescent. The cave systems are aligned along-strike of a through-going fault system (Pollino Line), where recent paleoseismological investigations indicated late Pleistocene and Holocene earthquake-induced slips. The investigated caves exhibit a very recent transition from phreatic to vadose conditions and are tectonically displaced from their primary speleogenetic and morphologic setting. This suggests a differential uplift of the carbonate block and a recent tectonic sinking of the karst base-level. At least two growing generations of speleothems have been distinguished on a morphological and structural basis. A recurrent east-southeast shift of growth axes of younger speleothems was observed in all sites, which is consistent with the overall Quaternary kinematics of this region and also of the Crati area which is more to the South. Preliminary dating indicates activity in the late Pleistocene (40 ka) and Holocene. The lack of concretion growth observed between about 40 ka and 10 ka might be preliminarily related to a reduced water supply during the glacial maximum. This is consistent with observations in continental Europe and North America, but differs from the nearby sites of the Tyrrhenian coast of Italy so as to suggest periglacial conditions at low-moderate elevations near the sea in the Pollino Massif.

Parole chiave: Tettonica attiva, speleotemi fratturati, datazioni assolute, M. Pollino, Calabria, Italia meridionale
Key-words: Active tectonics, fractured speleothems, absolute dating, Mt. Pollino, Calabria, Southern Italy

1. IL CONTESTO METODOLOGICO E IL PROBLEMA GEOLOGICO

Lo studio di speleotemi fratturati e dislocati all'interno di cavità carsiche può fornire importanti indicazioni sulla tettonica attiva e la paleosismicità. Rotture con successive riconcrezioni di speleotemi e anomalie lungo l'asse di crescita vengono infatti considerate come precisi indicatori di deformazione, potenzialmente legata a eventi sismici (Forti & Postpischl 1984; Postpischl *et al.*, 1991). Particolare attenzione va posta nello stabilire la reale natura della deformazione degli speleotemi, che può essere indotta, oltre che dalla tettonica regionale, da movimenti più o meno locali di tipo gravitativo. Il quadro cronologico di tali eventi può essere stabilito con metodi di datazione radiometrica ¹⁴C e U/Th, una volta verificato che il sistema in osservazione sia geochimicamente isolato.

Il Massiccio del Pollino, ubicato al confine calabro-lucano è costituito essenzialmente da successioni sedimentarie meso-cenozoiche in facies di piattaforma carbonatica. Alla tettonogenesi contrazionale del Miocene superiore-Pliocene è seguita una fase con movimenti trascorrenti nel Pliocene superiore-Pleistocene inferiore e una successiva tettonica estensionale a partire dall'inizio del Pleistocene medio (Ghisetti & Vezzani, 1982; Turco *et al.*, 1990; Ghisetti *et al.*, 1994; Schiattarella, 1996). La deformazione quaternaria si è concentrata lungo il bordo meridionale del massiccio (Bousquet,

1973), in particolare attraverso un complesso sistema di faglie prevalentemente orientato NO-SE (Fig. 1), noto in letteratura come Linea del Pollino (Ghisetti & Vezzani, 1982), condizionando l'apertura e la successiva disattivazione di bacini intermontani come quelli di Castrovillari e Morano (Fig. 1) (Bousquet & Guerey, 1969; Russo & Schiattarella, 1993; Perri & Schiattarella, 1997). Nonostante l'intensa deformazione quaternaria accumulata lungo la Faglia del Pollino, non sono segnalati in letteratura fagliamenti successivi al Pleistocene superiore. Dal punto di vista sismico (storico e strumentale), il bordo meridionale del Pollino appare quiescente se paragonato alle regioni limitrofe (bacino del Mercure-Vallo di Diano e graben del Crati; Moretti *et al.*, 1992; Tortorici *et al.*, 1995; Camassi & Stucchi, 1997). Recenti studi paleoseismologici lungo il bordo pedemontano meridionale del massiccio hanno evidenziato movimenti tettonici lungo faglie normali ad alto angolo, riconosciuti in depositi di conoide del tardo Pleistocene superiore-Olocene e attribuiti a terremoti di magnitudo non inferiore a 6.0-6.5 avvenuti anche in epoca storica, alto e basso medievale (Ferrelli *et al.*, 1996; Michetti *et al.*, 1997).

L'evidenza di una continuità di attività cinematica lungo l'intero lineamento integra i dati storici che invece mostrano una quiescenza sismica del segmento centro-orientale della linea del Pollino, indicando che l'area sia da considerare potenzialmente sismogenetica. La mancanza di attività strumentale suggerisce un attuale accu-

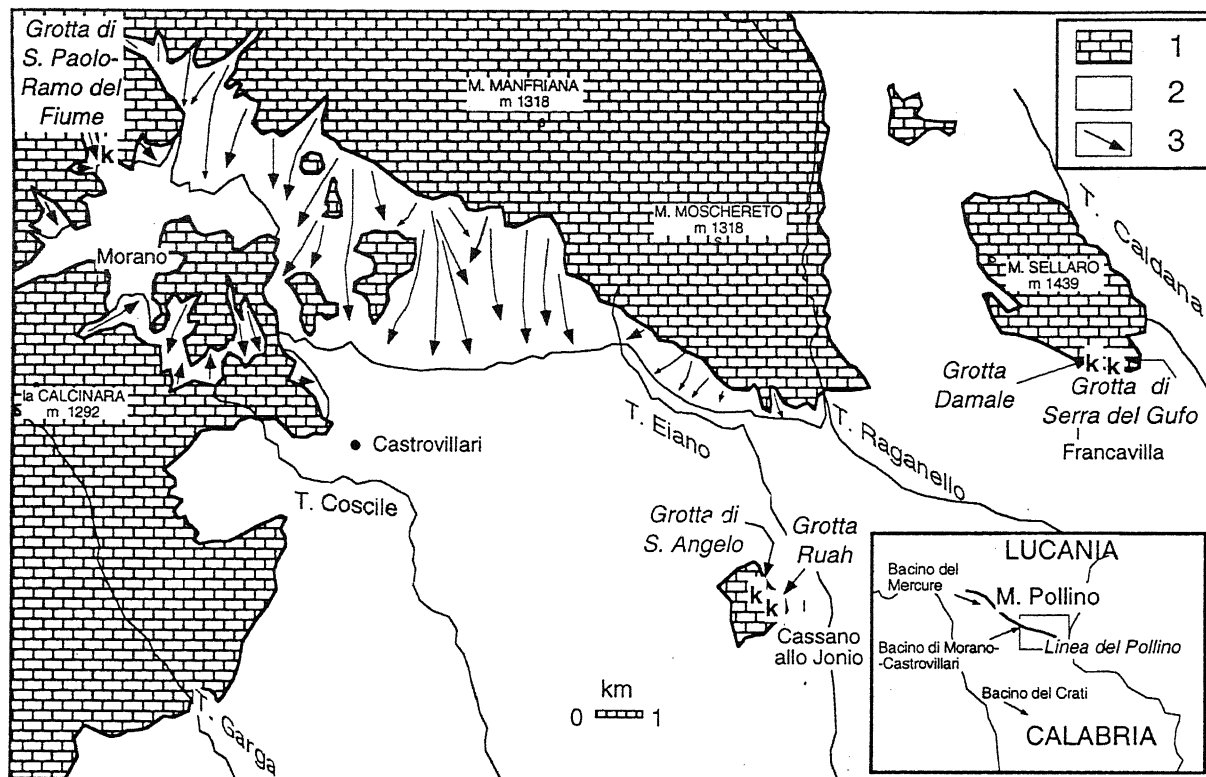


Fig. 1 - Carta geologica schematica del versante Sud-Est del Massiccio del Pollino con ubicazione delle cavità investigate. Il riquadro in basso individua la linea del Pollino e i principali bacini del confine calabro-lucano. Legenda: 1) terreni carbonatici dell'Unità del Pollino; 2) terreni dell'Unità Liguride e relative coperture terrigene mioceniche; depositi continentali pleistocenici (bacini di Castrovillari e Morano) e recenti; 3) conoidi detritico-torrentizi cementati, Pleistocene.

Geologic map of the south-eastern portion of the Pollino Massif and location of the investigated sites. The inset shows the Pollino Line and the most important basins along the Calabro-Lucanian border. Legend: 1) Pollino Unit limestone; 2) Miocene terrigenous deposits of Ligurid Units; with Pleistocene continental deposits (Castrovillari and Morano basins) and Recent deposits; 3) Pleistocene cemented alluvial fan.

mulo di *strain* elastico, con caratteri non dissimili da quelli che hanno agito, per esempio, nel Fucino prima del terremoto del 1915 (Michetti *et al.*, 1996; 1997).

2. IL CONTRIBUTO DEL PRESENTE STUDIO

Per favorire la caratterizzazione sismotettonica del massiccio carbonatico del Pollino, è stato avviato uno studio sia su speleotemi fratturati presenti in cavità ipogee ubicate lungo il bordo meridionale del Pollino che sulla generale evoluzione del paesaggio carsico. Sono stati visitati cinque complessi carsici distribuiti su una fascia di circa 20 km di lunghezza (Fig. 1) localizzati nella terminazione meridionale del gruppo del M. Sellaro (Grotta Serra del Gufo; Grotta Damale), nel piccolo blocco di Cassano allo Jonio a Sud del massiccio principale (Grotta Superiore di S. Angelo, Grotta Ruah) e nei rilievi che circondano il bacino intermontano di Morano Calabro (complesso Grotta S. Paolo-Ramo del Fiume), anch'esso a Sud del lineamento tettonico bordiero del massiccio. Le cavità analizzate sono le principali tra quelle note nell'area. Tutte presentano evidenze di fratturazione nelle concrezioni e sono ubicate all'interno di blocchi di dimensioni limitate e strutturalmente definiti, così da minimizzare gli effetti perturbativi sulle datazioni

(scambi geochimici con il substrato). Il campionamento è stato effettuato in diversi ambienti (sale, strettoie, pozzi), generalmente di difficile accessibilità, per assicurare che la rottura degli speleotemi fosse naturale e non il risultato di attività antropica, anche recente, considerata la documentata frequentazione almeno sin dal Neolitico (Grotta S. Paolo; Tinè, 1964). Le cavità visitate si sono impostate essenzialmente lungo piani di faglia e sistemi di fratture (Grotta Ruah; Grotta Damale) e, solo localmente, lungo giunti di strato; sono caratterizzate da uno sviluppo suborizzontale, con lunghezze che in genere non superano qualche centinaio di metri e con al tetto poche decine o al più un centinaio di metri di spessore di copertura rocciosa. Caratteristica ricorrente nella sezione delle cavità è la sovrapposizione di morfologie di tipo vadoso su quelle di tipo freatico, queste ultime caratterizzate da sezione pienamente a pressione con *scallops* decametrici e marmitte di evorsione al soffitto. Singolarmente, morfologie freatiche ben sviluppate si rinvengono anche in cavità inscritte in blocchi di limitata estensione staccati dal massiccio principale, quali l'alto di Cassano (Fig. 1); tali cavità (per es. il complesso di S. Angelo) risultano dunque troncate e sganciate rispetto al livello di base esistente al tempo della loro genesi primaria. La troncatura tettonica di tali sistemi è ben documentata dalla presenza di gradini e rotture nel profilo morfologico,



Fig. 2 - Grotta Superiore di S. Angelo presso Cassano (localizzazione in Fig. 1). Speleotema colonnare interessato da piani di frattura a basso angolo E-SE immergenti (a sinistra nella figura).

Grotta Superiore di S. Angelo near Cassano (see location in Fig. 1). A columnar speleothem with ESE-dipping low-angle fractured surfaces (on the left).

altrimenti ben regolarizzato. Gli elementi di tipo vadoso, rappresentati da riempimenti concrezionari più che da morfologie da erosione, sono invece sviluppati in maniera discontinua, suggerendo una limitata disponibilità di volumi idrici susseguente allo sganciamento morfo-idrogeologico delle originarie cavità freatiche. Le fratture che interessano gli speleotemi variano in tipologia: tensionale, sovente beanti e arrangiate *en échelon*, che interessano le concrezioni e il loro substrato (ben sviluppate nelle Grotte Damale e Superiore di S. Angelo); di taglio a basso angolo, che troncano e rigettano di pochissimi centimetri speleotemi colonnari e che risultano ben rappresentate in tutte le cavità visitate (Fig. 2). La risposta del mezzo allo sforzo è localmente variabile; si osserva, sovente, una modificazione graduale dell'inclinazione dell'asse di crescita degli speleotemi senza alcuna apprezzabile rottura, tale da suggerire un movimento differenziale continuo tipo *creep* nel substrato. Viceversa, l'evidenza maggiore di movimenti "istantanei" è rappresentata dalla crescita di speleotemi non disturbati sopra altri fratturati e basculati (Grotta Serra del Gufo, Fig. 3). Localmente (Grotta Superiore di S. Angelo) sono stati osservati più episodi di deformazione, con speleotemi

fratturati concresciuti su altri più antichi, spezzati e basculati, che presentano, inoltre, differenti caratteristiche cromatiche e morfologiche. In generale si osserva uno spostamento verso ESE degli assi di crescita degli speleotemi sia fratturati che non, consistente con la generale immersione dei piani di frattura (Fig. 4D-F), il senso di dislocazione lungo le faglie in quelli fratturati (Fig. 4A-B) e con il senso di basculamento di blocchi concrezionati.

Le prime datazioni ^{14}C effettuate su due campioni di speleotemi della prima generazione (apice campione SG2a-R2907, "a" in Fig. 3) e della seconda (pedice campione SG2b-R2906, "b" in Fig. 3) hanno fornito un'età convenzionale di 37500 ± 1800 BP e 7400 ± 90 BP (età non ancora calibrate e corrette per la diluizione dovuta a scambi geochimici).

3. CONSIDERAZIONI E INTERPRETAZIONI PRELIMINARI

Le dimensioni longitudinali e in sezione, i caratteri morfologici e le direttrici dei sistemi freatici, i quali rappresentano il primo e principale stadio speleogenetico delle cavità investigate e che, attualmente, si rinvergono in blocchi strutturalmente separati, suggeriscono una loro impostazione all'interno di un sistema idrologico continuo e di più grande sviluppo. Tale considerazione vale in particolare per i sistemi caratterizzanti l'alto di Cassano (Fig. 1) e la sua supposta paleo-connessione idrologica con il Massiccio principale del Pollino. Sulla base dei dati esistenti in letteratura (Bousquet & Gueyremy, 1969; Russo & Schiattarella, 1993; Perri & Schiattarella, 1997) lo sganciamento definitivo del paleoreticolo carsico è attribuibile alla fase tettonica siciliana (fine Pleistocene inferiore-inizio Pleistocene medio) che disattiva l'antistante bacino di Castrovillari (Fig. 1). Pertanto, la speleogenesi freatica deve essere occorsa tra il Pliocene inferiore e la fine del Pleistocene inferiore, probabilmente dopo la fase tettonica emiliana che individua il bacino di Castrovillari e crea un iniziale gradiente topografico verso SE (Ionio) e SO (valle del Crati). Tale ipotesi risulta in accordo col senso di approfondimento dei sistemi freatici dell'alto di Cassano e del M. Sellaro (Fig. 1).

I dati raccolti sulla orientazione dei sistemi di fratture e sulle variazioni dell'asse di crescita degli speleotemi (Fig. 4) sono ancora insufficienti per trarre considerazioni probanti sullo stato di deformazione più recente. L'orientazione delle fratture e delle faglie in località distanti tra loro fino a 20 km (Fig. 1) permette di avanzare l'ipotesi che la deformazione osservata non sia il risultato di fenomeni gravitativi locali ma di una direttrice deformativa regionale. Anche lo spostamento degli assi di crescita degli speleotemi (misurato sia nella Grotta Superiore di S. Angelo che nella Grotta Damale) suggerirebbe una dislocazione prevalentemente verso ESE e subordinatamente verso SO (Fig. 4C). Il perdurare di dislocazioni in direzione ONO-ESE, caratteristiche della evoluzione del Pleistocene inferiore dell'area ma sostituite a partire dal Pleistocene medio dalla generalizzata estensione ad asse ENE-OSO (Russo & Schiattarella, 1993; Perri & Schiattarella, 1997), testimonierebbe la complessità spaziale del campo di deformazione recente. Difatti, l'area in esame rappresenta la zona di giunzione tra strutture



Fig. 3 - Grotta Serra del Gufo (localizzazione in Fig. 1). Stalattite crollata di prima generazione (40 ka) sormontata da stalagmiti non deformate di seconda generazione (post-8 ka). Le lettere "a" e "b" si riferiscono alle parti degli speleotemi (rispettivamente, apice e pedice) sulle quali sono state effettuate le datazioni discusse nel testo.

The Grotta Serra del Gufo (see location in Fig. 1). Crashed stalactite of primary generation (more than 40 ka old) surmounted by undeformed stalagmites of secondary generation (younger than 8 ka). Letters "a" and "b" refer to radiometrically dated speleothems.

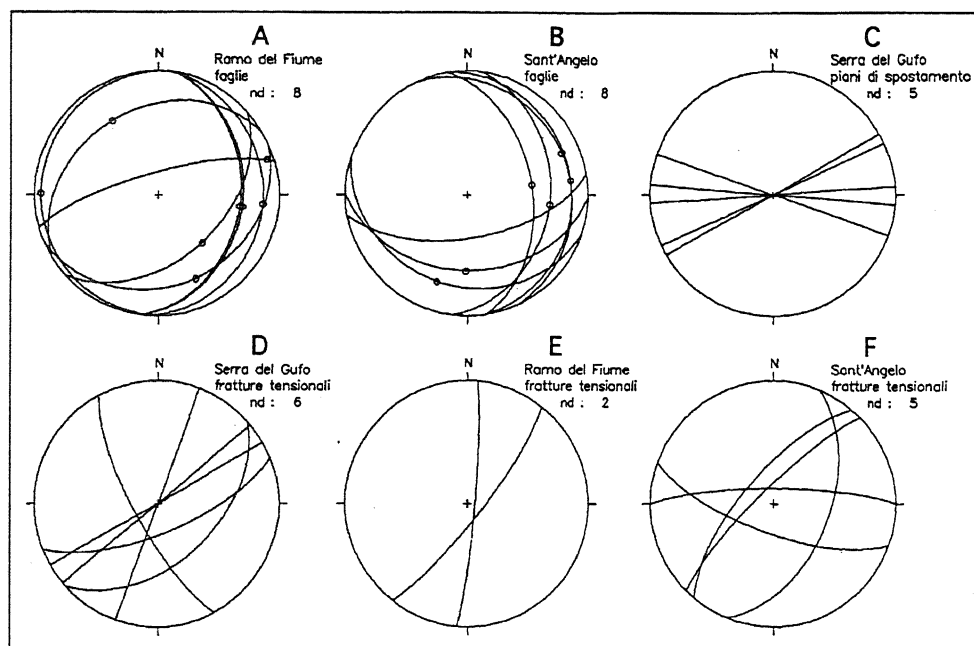


Fig. 4 - Proiezioni stereografiche (emisfero inferiore) dei dati strutturali raccolti sugli speleotemi del versante meridionale del Pollino. A-B) faglie; C) piani di spostamento in speleotemi fratturati; D-E-F) fratture tensionali.

Stereonets showing structural data (lower hemisphere) in the speleothems along the southern part of the Pollino Massif. A-B) faults; C) shift surfaces along fractured spalaethems; D-E-F) tension fractures.

sismogenetiche tipiche dell'Appennino meridionale, attive con assi tensili NE-SO (Cristofolini *et al.*, 1985) e strutture caratteristiche dell'arco calabro, quali la valle del Crati, che presentano attività con orientazione degli assi tensili ONO-ESE (Moretti *et al.*, 1992; Tortorici *et al.*, 1995).

La fratturazione di speleotemi e la variazione degli assi di crescita sembrano il risultato di processi deformativi recenti (caratteristiche di "freschezza" morfologica, taglia relativamente limitata di concrezioni più recenti e tuttora attive accresciutesi su quelle fratturate). Le prime datazioni ottenute, benché effettuate su un singolo sito e

quindi da considerarsi preliminari, suggeriscono attività deformativa quantomeno intorno a 40 ka e dopo 8 ka. Questa osservazione è consistente con il rinvenimento di fagliazione in depositi di conoide del tardo Pleistocene superiore-Olocene lungo il bordo pedemontano meridionale del massiccio (Ferrelli *et al.*, 1996; Michetti *et al.*, 1997). Le ulteriori datazioni radiometriche in corso permetteranno di definire meglio il quadro cronologico di tali eventi che sono, in ogni caso, da inserire pienamente nell'attività deformativa recente che interessa il massiccio. Come ipotesi di lavoro, i caratteri morfologici e l'orientazione delle fratture suggeriscono una deforma-

zione degli speleotemi per processi neotettonici controllati verosimilmente da attività sismica in relazione agli stadi finali di sollevamento del massiccio e al definitivo approfondimento del livello di base carsico.

L'assenza di concrezionamento osservato tra 40 e 8 ka potrebbe essere attribuito a una ridotta disponibilità di volumi idrici durante l'ultimo acme glaciale; ciò è stato ampiamente osservato in Europa e America continentale (Lively, 1983; Gewalt, 1985) ma non nelle fasce costiere tirreniche soggette a clima più temperato (Alessio *et al.*, 1992), suggerendo condizioni pienamente periglaciali anche in ambienti prossimi al mare ma posti a quote di media montagna.

RINGRAZIAMENTI

Siamo grati agli amici Piero Festa e Antonio La Rocca per aver condiviso con noi la loro competenza speleologica.

Lavoro parzialmente eseguito con fondi MURST 60% 1994-1995 assegnati a B. D'Argenio, Dip.to di Scienze della Terra, Università di Napoli "Federico II" e stampato con fondi MURST 60% 1996 intestati a C. Doglioni, Centro di Geodinamica, Università della Basilicata, Potenza.

BIBLIOGRAFIA

- Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Ferranti L., Improta S., Manfra L. & Proposito A., 1992 - *Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale*. Giorn. di Geologia, **54**, 165-193.
- Bousquet J.C., 1973 - *La tectonique récente de l'Apennin calabro-lucanien dans son cadre géologique et géophysique*. Geol. Romana, **12**, 1-103.
- Bousquet J.C. & Guerey P., 1969 - *Quelques phénomènes de néotectonique dans l'Apennin calabro-lucanien et leurs conséquences morphologiques. II - L'escarpement méridional du Pollino et son piémont*. Géogr. Phys. Géol. Dynam., **11**, 223-236.
- 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*. CNR, Gruppo Naz. Difesa dai Terremoti, Tipolitografia Garattoni, Rimini, 66+XXVIII.
- Cristofolini R., Ghisetti F., Scarpa R. & Vezzani L., 1985 - *Character of the stress field in the Calabrian arc and Southern Apennines (Italy) as deduced by geological seismological and volcanological information*. Tectonophysics, **117**, 39-58.
- Ferrelli L., Michetti A. M., Serva L., Vittori E. & Zambonelli E., 1996 - *Tettonica recente ed evidenze di fagliazione superficiale nella catena del Pollino (Calabria settentrionale)*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, 451-466.
- Forti P. & Postpischl D., 1984 - *Seismotectonics and paleoseismic analysis using karst sediments*. Mar. Geol., **55**, 145-161.
- Gewelt M., 1985 - *Datations ¹⁴C de concrétions de grottes belges: vitesses de croissance durant l'Holocène et implications paléoclimatiques*. In: Paterson K. & Sweeting M. (Ed.), *New directions in karst*. Proc. 2nd Anglo-French Karst Symposia, Oxford, 1983, Geobooks, Norwich, 289-317.
- Ghisetti F. & Vezzani L., 1982 - *Strutture tensionali e compressive indotte da meccanismi profondi lungo la linea del Pollino (Appennino meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 385-440.
- Ghisetti F., Monaco C., Tortorici L. & Vezzani L., 1994 - *Struttura ed evoluzione del settore del Pollino*. Guida all'escursione GIGS, Catania, 101 pp.
- Lively R.S., 1983 - *Late Quaternary U-series speleothem growth record from SE Minnesota*. Geology, **11**, 259-262.
- Michetti A.M., Brunamonte F., Serva L. & Vittori E., 1996 - *Trench investigations of the 1915 Fucino earthquake fault scarps (Abruzzo, Central Italy): geological evidence of large historical events*. J. Geophys. Res., **101**, 5921-5936.
- Michetti A.M., Ferrelli L., Serva L. & Vittori E., 1997 - *Geological evidence for historical earthquakes in an "aseismic" region: the Pollino case (Southern Italy)*. In: P.L. Hancock & A.M. Michetti (Eds.), Special Issue, "Paleoseismology: understanding past earthquakes using Quaternary geology", J. Geodynam., **24**(1-4), 67-86.
- Moretti A., Corea I. & Guerra I., 1992 - *Sismicità attuale e sistemi di fratture superficiali in Calabria*. In: *Zonazione e riclassificazione sismica*. GNDT, Atti Convegno Pisa, Giugno 1990, **1**, 89-101.
- Perri E. & Schiattarella M., 1997 - *Evoluzione tettonica quaternaria del bacino di Morano Calabro (Catena del Pollino, Calabria settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., in stampa.
- Postpischl D., Agostini S., Forti P. & Quinif Y., 1991 - *Paleoseismicity from karst sediments: the "Grotta del Cervo" cave case study (Central Italy)*. Tectonophysics, **193**, 33-44.
- Russo F. & Schiattarella M., 1993 - *Osservazioni preliminari sull'evoluzione morfostrutturale del bacino di Castrovillari (Calabria settentrionale)*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. (1992/1), 271-278.
- Schiattarella M., 1996 - *Tettonica della catena del Pollino (confine calabro-lucano)*. Mem. Soc. Geol. It., **51**, 543-566.
- Tinè S., 1964 - *La Grotta di S. Angelo III a Cassano Jonio*. Atti e Mem. Soc. Magna Grecia, n. ser., **5**, 11-54.
- Tortorici L., Monaco C., Tansi C. & Cocina O., 1995 - *Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy)*. Tectonophysics, **243**, 37-55.
- Turco E., Maresca R. & Cappadona P., 1990 - *La tettonica Plio-Pleistocenica del confine calabro-lucano: modello cinematico*. Mem. Soc. Geol. It., **45**, 519-529.

Ms. ricevuto il: 16. 6. 1997
 Inviato all'A. per la revisione il: 3. 9. 1997
 Testo definitivo ricevuto il: 10. 11. 1997

Ms received: June 6, 1997
 Sent to the A. for a revision: Sept. 3, 1997
 Final text received: Nov. 10, 1997