

**TETTONICA ATTIVA IN APPENNINO CENTRALE
E IMPLICAZIONI PER L'ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA
DEL SETTORE ASSIALE DELLA CATENA UMBRO-MARCHIGIANA-ABRUZZESE(**)**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 115
ABSTRACT	115
INTRODUZIONE	115
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	117
ANALISI STRUTTURALE	119
— Dati relativi alle singole zone di faglia	119
<i>La zona di Colfiorito</i>	119
<i>La zona del Monte Vettore</i>	121
<i>La zona di Norcia</i>	121
<i>La zona di Cascia</i>	121
<i>La zona di Leonessa</i>	131
<i>La zona di Monte Gorzano</i>	131
<i>La zona di Pizzoli</i>	132
<i>La zona di Tornimparte</i>	132
— Interpretazione strutturale	133
DISCUSSIONE	135
CONCLUSIONI	136
Energia di rottura	136
Rotture multiple	136
Dimensioni di un terremoto	136
Segmentazione	137
BIBLIOGRAFIA	137

RIASSUNTO

Il sistema di faglie quaternarie dell'Appennino centrale (CAFS: Central Apennines Fault System) è costituito da un *interconnecting network* sovrainposto alle strutture delle zone assiali della catena neogenica e comprende segmenti caratterizzati da una diffusa sismicità, distribuita lungo una fascia di 50-60 km di larghezza, che si sviluppa dalla Toscana all'Abruzzo. Il *pattern* e la cinematica dei segmenti di faglia attivi, analizzati mediante un dettagliato studio strutturale e morfotettonico, sono stati messi in relazione a faglie crostali trascorrenti sinistre a direzione N-S. L'analisi dei dati disponibili sulle strutture attive ha inoltre consentito di evidenziare che il rapporto tra *slip-rate* orizzontali e verticali dedotti per alcune *linked faults* del CAFS è di circa 3:1.

Il campo di *stress* remoto responsabile dello sviluppo e dell'evoluzione del CAFS, come emerge dall'analisi degli *slip vectors*, dai dati sismologici e da quelli paleomagnetici, risulta caratterizzato da una componente orizzontale della compressione orientata NW-SE e da un'estensione orientata circa NE-SW.

Il riconoscimento nell'Appennino centrale di un sistema di faglie trascorrenti profonde ha notevoli implicazioni per l'analisi della pericolosità sismica; l'esistenza di strutture sismogenetiche di questo tipo comporta infatti lo sviluppo di un'area di fagliamento cosismico abbastanza ampia e implica che il rigetto cumulativo lungo una struttura attiva includa verosimilmente componenti normali e trascorrenti dello spostamento.

I modelli di rottura sismica che prevedono l'attivazione di un singolo segmento di faglia devono pertanto essere uti-

lizzati con cautela nell'analisi del potenziale sismico associato al CAFS. Detto potenziale può essere infatti meglio valutato mediante modelli di rottura multipla che prevedono l'integrazione di contributi parziali dovuti a strutture di ordine inferiore rispetto alle principali faglie sismogenetiche del sistema.

ABSTRACT

In peninsular Italy the Central Apennines Fault System (CAFS), overprinting earlier structures of a Neogene thrust belt, includes segments characterized by a diffuse seismicity distributed within a 50-60 km wide zone. The system has been analysed by means of morphotectonic and structural investigations of exposed active fault segments. The CAFS pattern and its overall kinematics have been related to left-lateral strike-slip motion on north-south trending crustal faults. Post-Wurmian vertical vs. horizontal slip rate ratios computed from linked outcropping CAFS structures, display a consistent value of ca 1:3. The remote stress field responsible for the development and evolution of the CAFS, as inferred from slip vector analysis and seismological and paleomagnetic data, is characterized by a NW-SE compression and by a NE-SW extension. The existence of deep-seated strike-slip faults in the central Apennines has implications for seismic hazard analysis. Motion along these structures implies, in fact, that coseismic surface faulting is distributed, and that cumulative displacements include normal and strike-slip components. This suggests that single-segment rupture models must be used with caution in seismic hazard analysis and that segmentation criteria should include other factors playing a role in partitioning the deformation within volumes or areas. Examples of areal segmentation within the CAFS show that the seismogenic potential of a major fault structure is best described by multiple-ruptures models and better analysed in terms of partial contributions of lower-rank features constituting congruent structural associations within the system.

PAROLE CHIAVE: Italia centrale, Tettonica trascorrente, Sismotettonica, Rischio sismico.

KEY WORDS: Central Italy, Strike slip tectonics, Seismotectonics, Seismic hazard analysis.

INTRODUZIONE

L'Appennino umbro-marchigiano-abruzzese (Fig. 1) corrisponde al settore centrale della catena appenninica, un segmento post-collisionale del sistema montuoso Africa-vergente derivante dalla convergenza e dalla collisione tra il margine continentale Europeo e il blocco Afro-Adriatico (di affinità Africana) (CELLO *et alii*, 1995 e referenze citate).

La successione meso-cenozoica affiorante, riferibile a una sedimentazione di margine continentale passivo nei suoi termini triassico-paleogenici e di avanfossa e *piggy-back* in quelli mio-pliocenici, è deformata da

(*)Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Camerino.

(**)Lavoro eseguito con fondi MURST (60% CELLO) e CNR (Contratto n° 9500353).

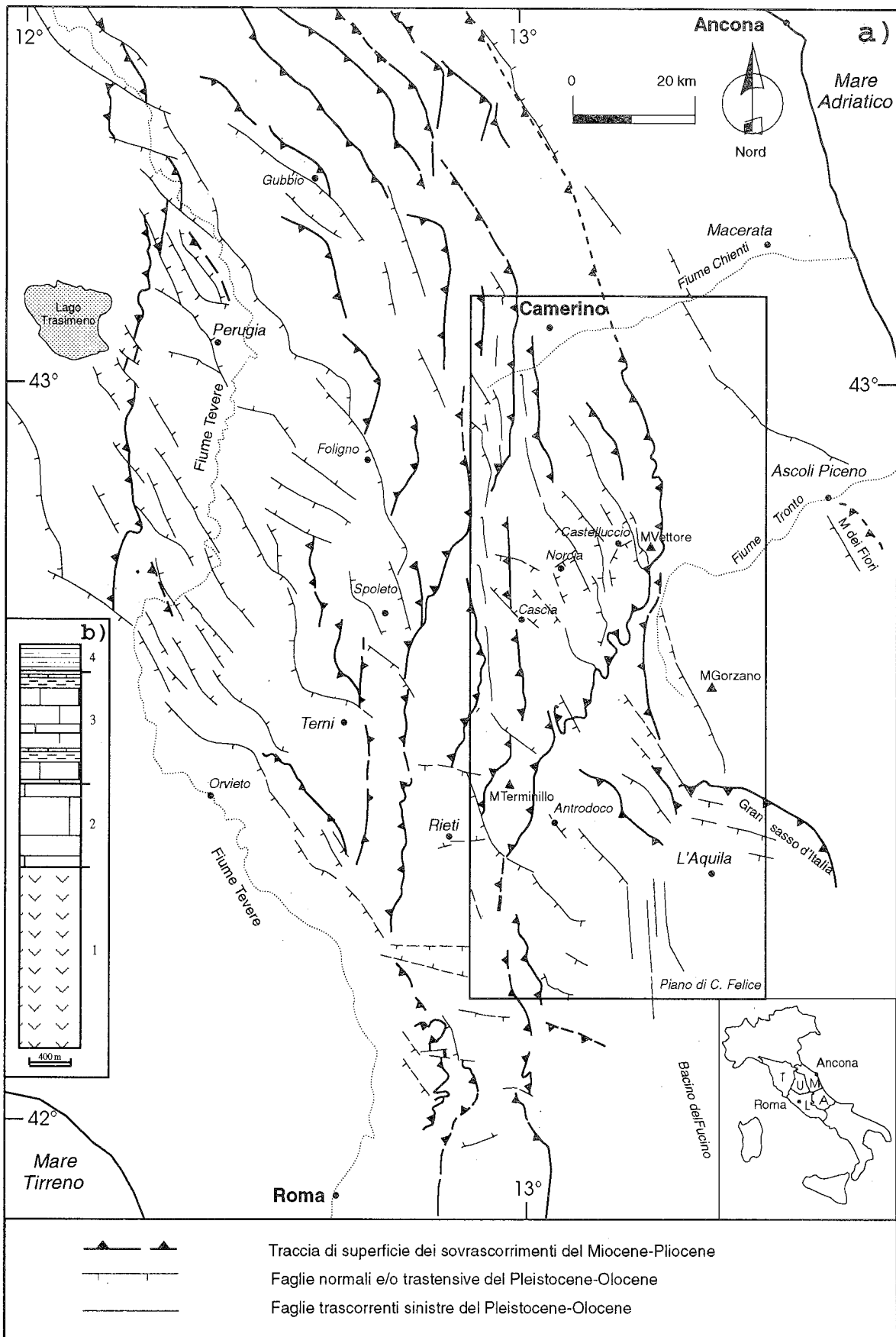


Fig. 1 - (a) Schema strutturale dell'Appennino centrale da PIERANTONI (1995, modificato). Nel riquadro è delimitata l'area analizzata. (b) Schema stratigrafico della successione mesozoico-miocenica dell'Appennino umbro-marchigiano-sabino 1) anidridi e dolomie; 2) *Calcare massiccio*; 3) calcari e calcari-marnosi pelagici; 4) torbiditi siliciclastiche.

pieghe e sovrascorrimenti di età neogenica, a generale vergenza adriatica (BOCCALETTI *et alii*, 1990a, e bibliografia citata. Queste strutture, nella fascia pedemontana più esterna, sono sepolte sotto la successione plio-pleistocenica, trasgressiva e blandamente deformata (CALAMITA *et alii*, 1994a).

La zona topograficamente più elevata dell'Appennino è interessata da un sistema di faglie, qui chiamato "Central Apennines Fault System" (CAFS), che tagliano e/o invertono le più antiche strutture della catena (Fig. 2). Secondo i più recenti lavori, queste faglie sono di tipo estensionale ed il loro sviluppo ed evoluzione sono stati messi in relazione ai processi di assottigliamento crostale avvenuti nell'area Tirrenica (CALAMITA *et alii*, 1994b, e bibliografia citata).

Negli ultimi anni alcune di queste faglie sono state analizzate in dettaglio, per la loro rilevanza nella valutazione della pericolosità sismica, ed è stato dimostrato che la maggior parte di esse è più giovane di 700 ka (Pleistocene medio-Olocene) (CALAMITA *et alii*, 1994b, e bibliografia citata).

In accordo con TRIFONOV & MACHETTE (1993) e con VITTORI (1993), le faglie di questa età devono essere considerate tutte "capaci", e "possibilmente attive", meritevoli quindi di attenzione per la valutazione del loro potenziale sismogenetico (MUIR WOOD & MALLARD, 1992). Gli studi di tettonica attiva volti alla valutazione della pericolosità sismica di una data area dovrebbero pertanto contemplare oltre alla caratterizzazione di segmenti di faglie attive (quelle cioè con movimenti documentati negli ultimi 50-80- ka; IAEA, 1991) anche l'analisi delle faglie capaci e di ogni altra struttura ereditata orientata favorevolmente per una sua potenziale riattivazione nel campo di sforzi attuali (RAMELLI & SLEMMONS, 1990; VITTORI, 1993).

Nell'Appennino centrale, l'attività tettonica è caratterizzata da un pattern sismico peculiare che riflette la complessità dei processi in atto nell'area (Fig. 3).

Nella zona più esterna del sistema a *thrust* la sismicità è per lo più localizzata lungo alcune strutture principali situate nella fascia costiera o nel mare Adriatico e la soluzione dei meccanismi focali dei terremoti di media grandezza (che sono tipici della zona periadriatica) mostra come l'attuale campo di *stress* è caratterizzato da un asse di massima compressione orientato ENE-WSW (GASPARINI *et alii*, 1985).

Un *pattern* sismico completamente differente caratterizza invece la zona più interna e topograficamente più elevata della catena, dove la sismicità è di tipo diffuso. I terremoti storici hanno qui una magnitudo massima di 6.6 e fanno parte, per lo più, di una fascia larga circa 50-60 km che si estende in direzione NNW-SSE, dalla Toscana all'Abruzzo. Particolarmente interessante per gli argomenti qui discussi, è la sequenza sismica del 1703 che interessò l'Italia centrale ed il terremoto di Norcia del 19 Settembre 1979. Il primo è ben noto per gli effetti altamente distruttivi registrati su una vasta area (da Norcia a L'Aquila), come conseguenza della propagazione verso sud di rotture multiple verificatesi tra il 14 Gennaio ed il 2 Febbraio 1973 (BLUMETTI, 1995). Il terremoto di Norcia del 19 Settembre 1979, di magnitudo Ms 5.9 e con ipocentro localizzato ad una profondità di circa 6 km, interessò invece una piccola area a sud dell'abitato e distrusse completamente il villaggio di Castel Santa Maria. Gli *aftershock* associati a questo evento (Tab. 1; G. IANNACCONE, dati non pubblicati, in BROZZETTI & LAVECCHIA, 1994) mostrano una

distribuzione degli ipocentri attorno a due zone sub-verticali che si estendono, al di sotto del bacino di Norcia, da 2-3 km a circa 16 km di profondità e, sotto il bacino di Cascia, da circa 8 km a 16 km (Fig. 4).

Le stime della magnitudo effettuate attraverso lo studio delle superfici di rottura cosismica, individuate attraverso analisi paleosismologiche in diversi siti dell'Appennino (PANTOSTI *et alii*, 1993; BOSCHI *et alii*, 1994; MICETTI *et alii*, 1995), suggeriscono infine che il massimo terremoto prevedibile può raggiungere valori di magnitudo prossimi o anche superiori a 7, in quanto l'intervallo di ricorrenza per i maggiori eventi è maggiore di 2-3 ka.

Come sopra ricordato, la maggior parte degli eventi sismici che caratterizzano il settore umbro-marchigiano-abruzzese sono interpretati come il risultato di processi estensionali. Le interpretazioni del *pattern* sismico regionale sembrano, tuttavia, scarsamente vincolate per la mancanza di dati significativi che permettono di discriminare tra differenti modelli sismotettonici. La natura dei processi tettonici in atto nell'area può quindi considerarsi non ancora del tutto chiarita.

Nel presente lavoro vengono presentati nuovi dati relativi a numerose faglie capaci, attive e possibilmente attive, presenti nell'area del CAFS compresa tra Colfiorito e L'Aquila (Fig. 2; Allegato 1, Tav. II).

Queste strutture vengono messe in relazione a processi tettonici tardo quaternari generatisi in risposta al nuovo regime di *stress* impostatosi, in quest'area, dopo la messa in posto degli ultimi *thrust sheets*.

Le implicazioni dei risultati acquisiti nel corso di questo studio vengono infine discussi in relazione ad alcuni dei fattori che governano il rilascio dell'energia sismica, con l'obiettivo di integrare i criteri di valutazione del potenziale sismogenetico delle strutture del CAFS.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'Appennino umbro-marchigiano-abruzzese rappresenta la porzione sudorientale della catena a pieghe e sovrascorrimenti dell'Italia centro settentrionale (CALAMITA & DEIANA, 1987; BALLY *et alii*, 1988) (vedi Fig. 1). In questo settore della catena appenninica, i principali elementi strutturali sono dati da pieghe e sovrascorrimenti a vergenza orientale, con direzione variabile da NW-SE a N-S, che in superficie interessano una successione sedimentaria meso-cenozoica.

Dati geofisici dimostrano che il principale livello di scollamento della copertura sedimentaria è ubicato nelle anidriti alla base della copertura, anche se le unità del basamento sono coinvolte nelle strutture profonde della catena (SAGE *et alii*, 1991; CALAMITA *et alii*, 1994 e bibliografia citata).

La successione sedimentaria deformata è costituita da:

— unità deposte su margine continentale passivo: anidriti e dolomie del Trias superiore; carbonati neritici del Lias inferiore (fino al Cretaceo superiore nelle aree di piattaforma carbonatica abruzzese); calcari selciferi e marnosi, talora detritici, marne del Lias medio-Eocene medio e litotipi marnosi dell'Eocene superiore-Miocene inferiore (per maggiori dettagli vedi CENTAMORE *et alii*, 1971; CENTAMORE & DEIANA, 1986 e bibliografia citata);

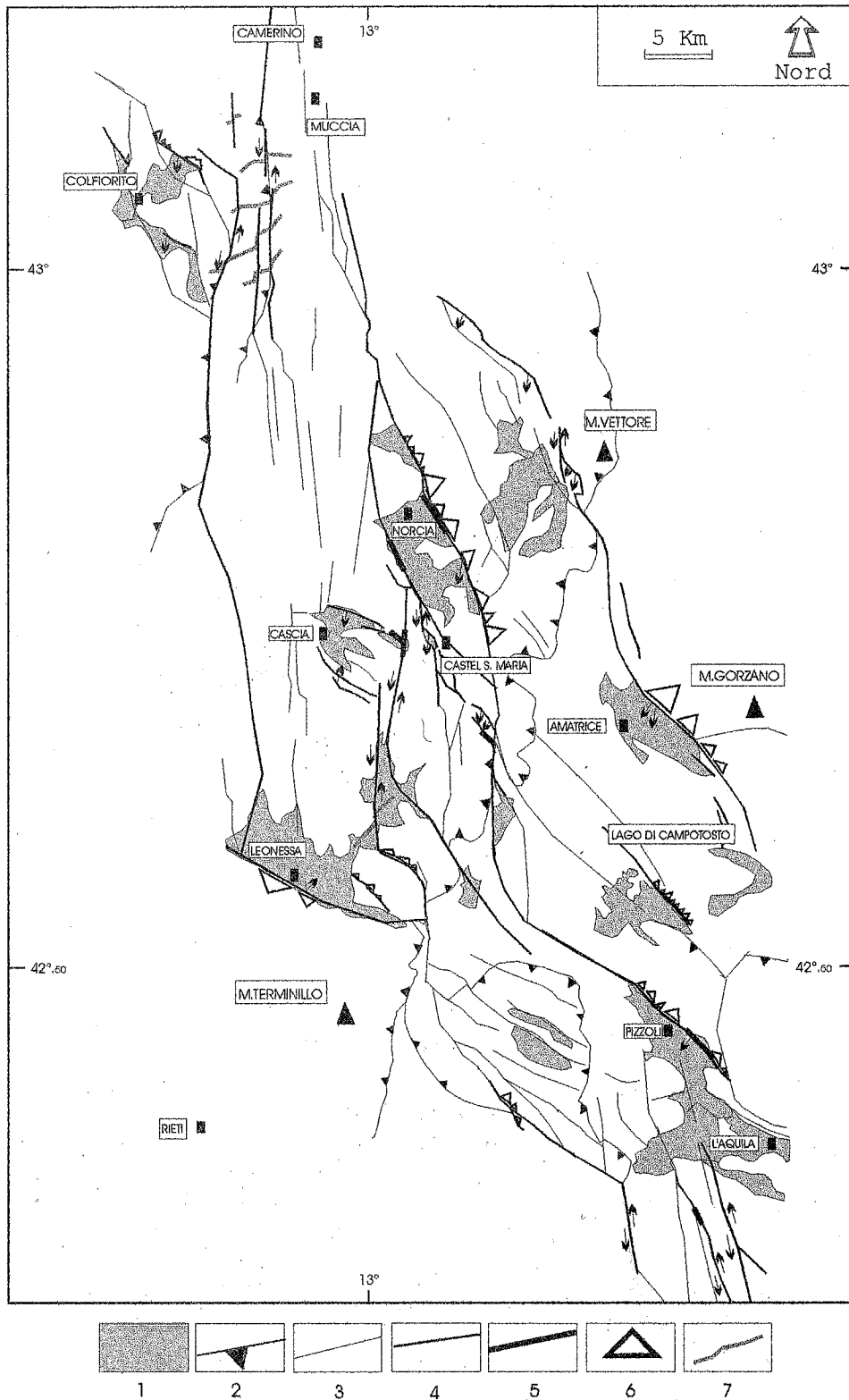


Fig. 2 - Carta delle faglie attive e/o possibilmente attive in Appennino centrale e dei relativi bacini quaternari intramontani (1: sedimenti fluvio-lacustri del Pleistocene-Oleocene; 2: traccia di superficie dei sovrascorrimenti del Miocene-Pliocene; 3: faglia normale, obliqua e trascorrente senza evidenze certe di attività olocenica; 4: faglia normale, obliqua e trascorrente con evidenze certe di attività olocenica; 5: scarpate di faglia nei sedimenti continentali del Pleistocene-Olocene; 6: faccette triangolari, la grandezza dei triangoli è proporzionale all'area di superficie; 7: incisioni vallive.

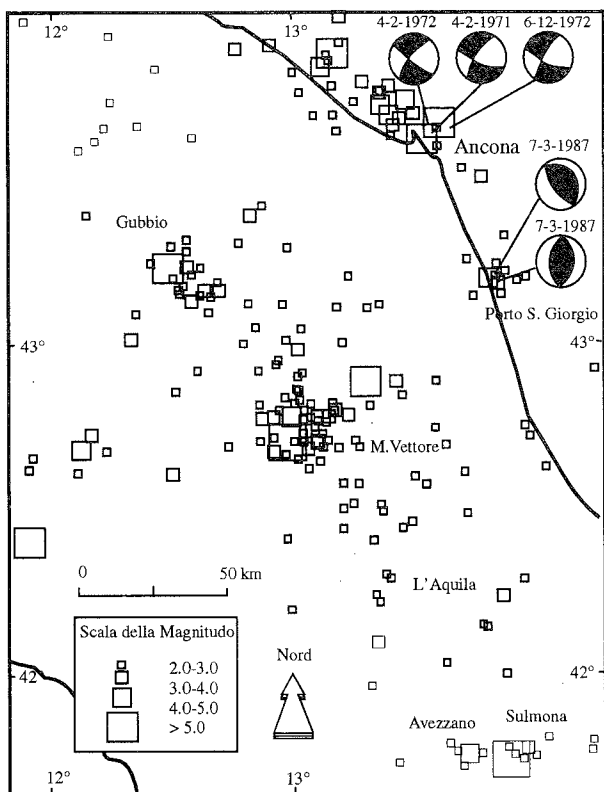


Fig. 3 - Distribuzione degli epicentri dei terremoti dal 1970 al 1990, con i meccanismi focali dell'area peri-Adriatica (da GASPARINI *et alii*, 1985; Istituto Nazionale di Geofisica).

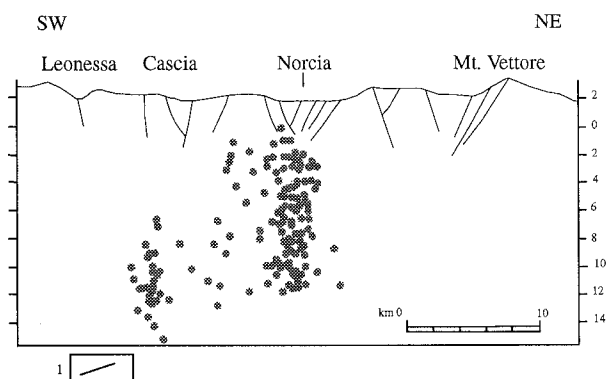


Fig. 4 - Distribuzione degli ipocentri della sequenza di *after-shocks* del terremoto di Norcia 1979, lungo la sezione Leonessa-Monte Vettore (dati sismometrici da IANNACONE in BROZZETTI e LAVECCHIA, 1994).

— unità torbiditiche di avanfossa o di bacino satellite del Miocene medio-superiore Pleistocene inferiore, depositi durante la messa in posto dei principali *thrust sheets* (BOCCALETTI *et alii*, 1986).

Numerose faglie normali ad alto angolo sono inoltre sovrainposte alle strutture compressive neogeniche.

Nella Toscana orientale e nell'Umbria occidentale dette faglie bordano *graben* e *semi-graben* orientati da NW-SE a NNW-SSE e riempiti con depositi continentali plio-pleistocenici. Nell'Umbria orientale, nelle Marche e negli Abruzzi occidentali, le faglie del CAFS, che si sviluppano con direzioni da N-S a NW-SE e WNW-ESE (Fig. 2; Allegato 1, Tav. II), bordano pic-

cole depressioni tettoniche (bacini quaternari intramontani) riempite, durante il Pleistocene e l'Olocene, da depositi fluvio-lacustri.

L'esistenza (sia nel substrato che nei depositi quaternari) di numerose scarpate di faglia e l'intensa sismicità che caratterizza l'Appennino centrale, suggeriscono che almeno lungo alcune di queste faglie si sia sviluppata una forte attività tettonica tardo-quaternaria (CALAMITA *et alii*, 1994b).

ANALISI STRUTTURALE

L'analisi strutturale delle faglie capaci, attive e possibilmente attive del CAFS, è stata eseguita mediante: individuazione dei lineamenti principali presenti nella zona che va da Camerino fino a sud del bacino del Fucino (Allegato 1, Tav. I); interpretazione di immagini da satellite (LANDSAT) e compilazione di una carta in scala 1:500.000 dei lineamenti presenti nella zona che va da Colfiorito a L'Aquila; analisi di foto aeree alla scala 1:33.000 e 1:13.000 per la caratterizzazione morfotettonica delle faglie attive; rilevamento con cartografia di dettaglio ed analisi cinematica delle zone di faglia esposte.

— Dati relativi alle singole zone di faglia

La zona di Colfiorito

Ad est di Colfiorito (nella zona di Monte Cavallo) sono stati individuati, dall'analisi di immagini da satellite (LANDSAT), importanti lineamenti a direzione principale N-S (Allegato 1, Tav. II). La rete idrografica, che in questa zona si sviluppa essenzialmente in direzione NE-SW, subisce in corrispondenza di alcuni di questi lineamenti, delle brusche variazioni di trend (Fig. 5a). Variazioni dell'andamento dei corsi d'acqua si osservano, ad esempio, ad est di Serravalle del Chienti e, in località Monte Cavallo, lungo i torrenti Vasaino e Piazza. Uno dei principali lineamenti presenti in questa zona, è rappresentato dalla faglia di Monte Tolagna-Monte Le Scalette. Questa borda ad oriente uno dei bacini quaternari intramontani dell'Appennino centrale, il bacino di Colfiorito. La faglia ha andamento N 160° per una lunghezza di circa 7 km (circa N-S per un tratto ad est di Monte Tolagna) mentre più a sud (tra Forcella e Collattoni) riutilizza un precedente piano di sovrascorrimento ad andamento N20°. Nel primo tratto, dove le strie hanno direzione N-S e N10°, detta faglia è transtensiva sinistra (Fig. 5b). Il rigetto verticale calcolato sulla base dei contatti *Maiolica-Scaglia bianca* a nord (Monte le Scalette) e *Formazione del Bugarone-Maiolica* a sud (Monte Prefoglio) è dell'ordine dei 100-150 m.

La roccia di faglia è di tipo cataclastico e le superfici esposte, lucide e prive di asperità, sono indicative di elevata profondità e di notevole entità del movimento. La presenza sulle superfici di faglia di strie di abrasione indicano anche un probabile movimento cosismico (SIBSON, 1977; HANCOCK & BARKA, 1987).

A est di M. Tolagna la faglia assume, come si è detto, direzione N-S e carattere trascorrente sinistro, mentre poco a sud nel tratto N20°, tra Collattoni e Forcella a questa stessa faglia è associata una zona di taglio fragile-duttile con piani di taglio N10°-20° trascorrenti-traspressivi sinistri e un clivaggio di dis-

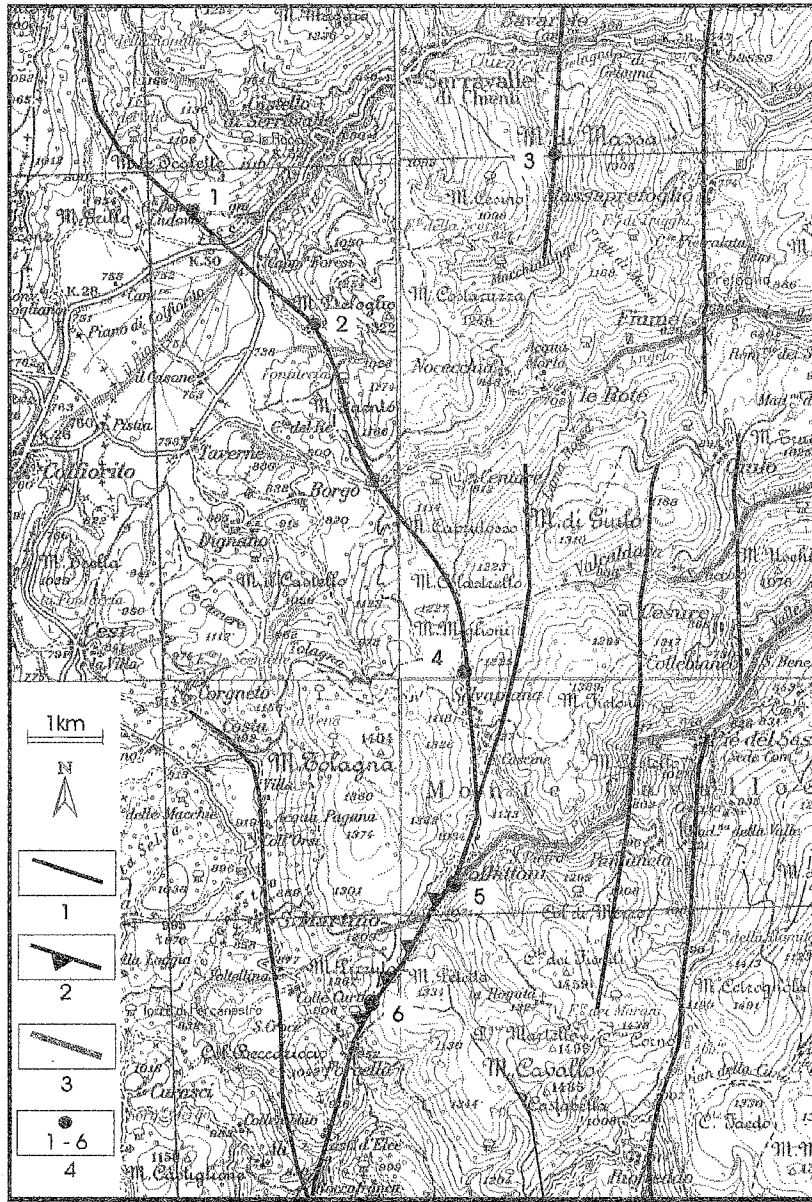


Fig. 5a - Zona di Colfiorito. Carta strutturale (scala 1:100.000) (1: faglie normali, transtensive e trascorrenti; 2: faglia transpressiva; 3: incisioni vallive; 4: ubicazione delle stazioni di misura).

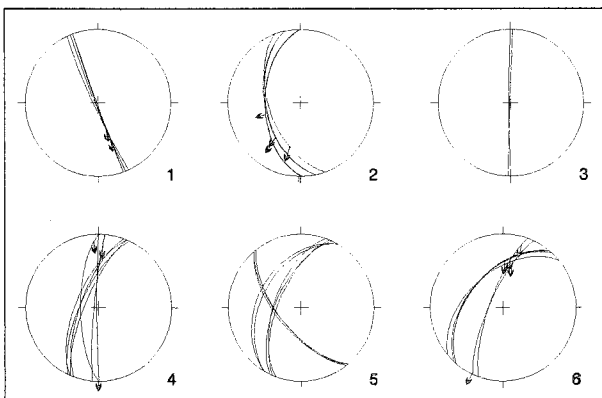


Fig. 5b - Zona di Colfiorito. Stereogrammi (reticolo di Schmidt emisfero inferiore) sui quali sono riportati i dati delle faglie principali, la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto. Il numero si riferisce alla stazione di misura.



Fig. 5c - Zona di Colfiorito. Depositi quaternari fagliati in località Monte Acuto.

soluzione per pressione orientato $N30^{\circ}-40^{\circ}$ (Fig. 5b). Lungo questa zona di taglio si osservano anche indicatori cinematici (strie meccaniche, gradini di calcite e clivaggio di dissoluzione per pressione) che suggeriscono un movimento trascorrente destro. Questo tipo di cinematica è stato associato alla precedente fase tettonica compressiva (PIZZI, 1992).

Indizi di tettonica attiva nel bacino di Colfiorito sono dati dalla presenza di depositi stratificati di versante (Pleistocene medio-superiore) interessati da faglie minori normali e/o transtensive, con rigetti da centrimetrici a decimetrici, osservabili sia sul versante meridionale di M. Acuto (Fig. 5c) che in località S. Martino.

La zona del Monte Vettore

Il bacino quaternario di Castelluccio è bordato ad ENE da una faglia ben esposta lungo il versante occidentale del M. Vettore, dove la stessa si suddivide in due *splays*. Questi ultimi danno luogo a due scarpate di faglia, ubicate nella Formazione della Corniola, che interrompono bruscamente la regolarità del versante e costituiscono un'importante elemento morfologico (Fig. 6d). La scarpata topograficamente più elevata è chiamata "Cordone del Vettore".

A nord (Fig. 6a), in località Forca Viola, la faglia del Cordone del Vettore ha andamento N-S e presenta strie trascorrenti indicative di movimento sinistro; nel tratto centrale, ha andamento $N150^{\circ}$ e carattere transtensivo sinistro, mentre a sud in località Forca di Presta riprende una direzione prossima N-S ($N165^{\circ}$) e un carattere trascorrente sinistro (Fig. 6b). Questi dati sono in accordo con quelli di CALAMITA & PIZZI (1992) che mostrano, per questa struttura, un incremento della

componente di trascorrenza sinistra passando da una orientazione NW-SE a una N-S (Fig. 7).

Dettagliati profili topografici eseguiti lungo il versante occidentale del Monte Vettore (Fig. 6c), mettono bene in evidenza le caratteristiche geometriche delle due scarpate di faglia.

La scarpata topograficamente più bassa (a) ha una pendenza decisamente minore dell'altra (b). In quest'ultima è indicata in grassetto la parte basale del piano di faglia che si presenta lucido e privo di asperità nel tratto con 72° di pendenza e rugoso ed alterato nel tratto con 63° di pendenza. Nella parte centrale (nel tratto con 56° di pendenza), si ha una breccia di faglia (cataclasite) cementata; qui la scarpata si presenta irregolare, manca la vegetazione erbosa ed, a tratti, sono presenti resti del piano di faglia (tratti con 65° di pendenza). Nella parte basale, inoltre, sporadici residui di un piano di faglia con pendenza di 65° si osservano lungo un trend circa N-S.

La faglia del Cordone del Vettore per le sue caratteristiche strutturali e morfologiche può essere considerata attiva e sismogenetica (CALAMITA *et alii*, 1994b). I tratti a pendenza diversa, rilevati dall'analisi topografica, indicano che la faglia ha avuto ricorrenti periodi di attività (PELTZER *et alii*, 1989). In accordo con CALAMITA *et alii* (1994b) anche noi riteniamo che questa scarpata si è sviluppata dopo l'apice della glaciazione wurmiana (20-15ka). In base alle sue caratteristiche geometriche (Fig. 6c) e cinematiche (Fig. 6b) si ottiene, quindi, un valore dello *slip rate* di 0.4-0.6 mm/yr.

Dati paleomagnetici disponibili per l'area di Castelluccio-Monte Vettore indicano che alcuni settori limitati da faglie normali, hanno subito rotazioni sia orarie che antiorarie intorno ad un asse verticale (Tab. 2; vedi anche Fig. 6a). Tali rotazioni di blocchi sono state messe in relazione all'attività quaternaria di faglie pre-esistenti ad andamenti E-W e N-S, (rispettivamente trascorrenti destre e sinistre) riattivate in risposta ad un campo tensionale caratterizzato da una direzione di massima compressione orientata NW-SE (RON *et alii*, *submitted*).

La zona di Norcia

Due principali faglie ad andamento NNW-SSE (Fig. 2) bordano la depressione tettonica di Norcia che è riempita da depositi continentali del Pleistocene-Olocene (Fig. 8a). Evidenze di attività lungo le due faglie bordiere sono date da scarpate fresche nei depositi continentali alla base dei versanti occidentale e orientale (Fig. 8c,d) e da faccette triangolari (BLUMETTI & DRAMIS, 1992) anch'esse presenti su entrambi i versanti. In particolare, sul versante occidentale, sono ben visibili faccette triangolari e trapezoidali che interrompono bruscamente la regolarità del versante stesso (Fig. 8d).

La superficie di faglia del segmento orientale, raramente esposta nelle unità del substrato, mostra una direzione $N160^{\circ}$ e un'inclinazione di 60° verso WSW con un pitch medio delle strie di abrasione di 55° S (Fig. 8b).

Il rigetto verticale stimato risulta essere di circa 1000 m. Tale rigetto diminuisce bruscamente a sud e a nord del bacino, dove questa stessa faglia assume un andamento circa N-S ed ha carattere prevalentemente trascorrente.

La zona di Cascia

L'area ad est e a sud dell'abitato di Cascia è ca-

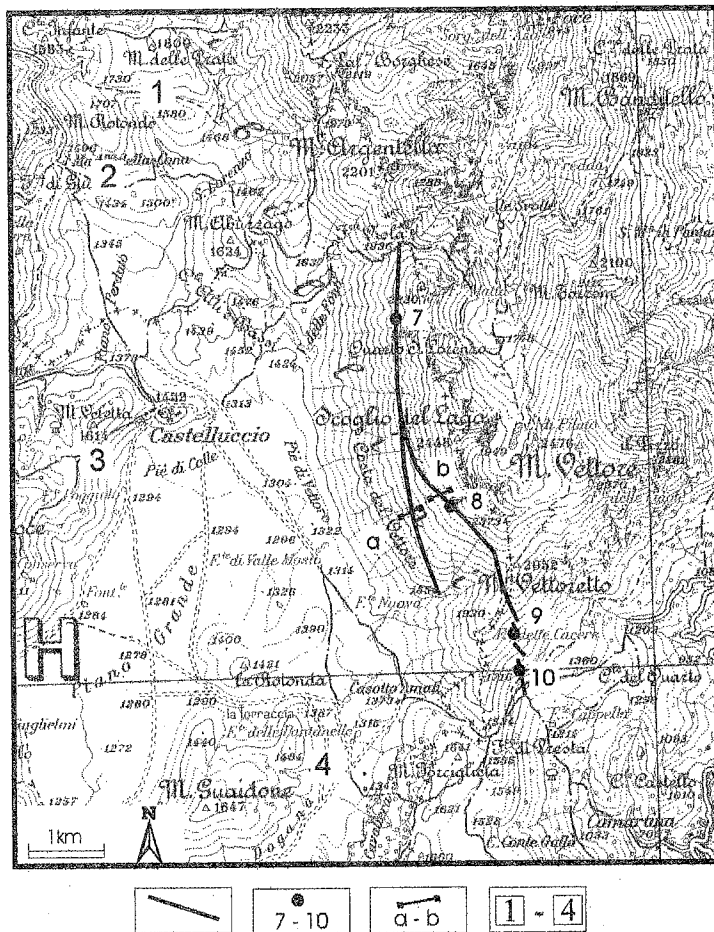


Fig. 6a - Zona del Monte Vettore. Carta strutturale (scala 1:100.000) (1: faglie normali, transensive e trascorrenti; 2: stazioni di misura; 3: tracce dei profili topografici; 4: zone di campionamento per analisi paleomagnetiche).

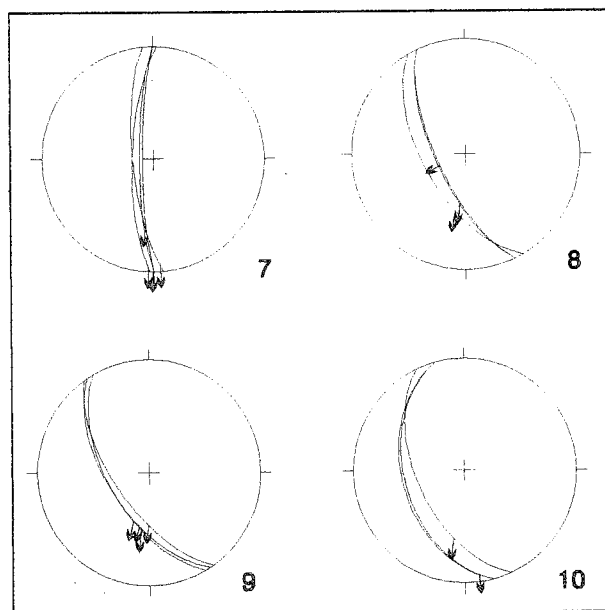


Fig. 6b - Zona del Monte Vettore. Stereogrammi (reticolo di Schmidt emisfero inferiore) sui quali sono riportati i dati delle faglie principali: la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto; il numero si riferisce alla stazione di misura.

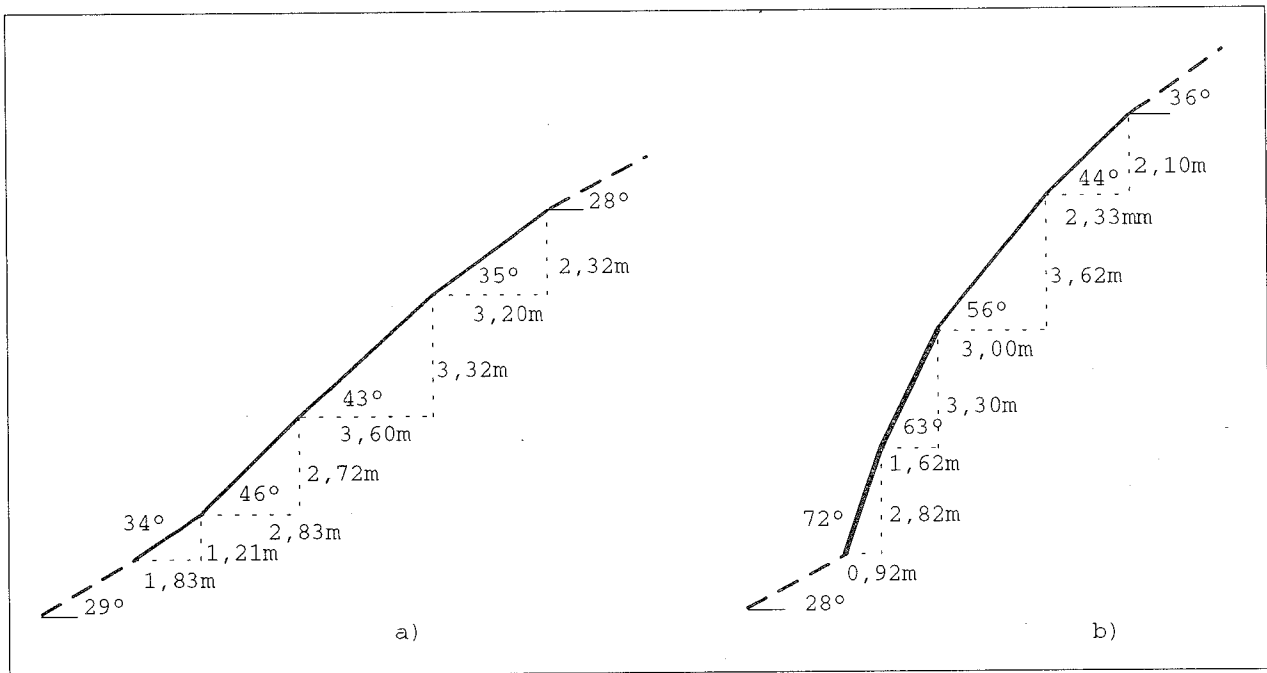


Fig. 6c - Zona del Monte Vettore. Profili topografici delle scarpate di faglia nel *bedrock*.

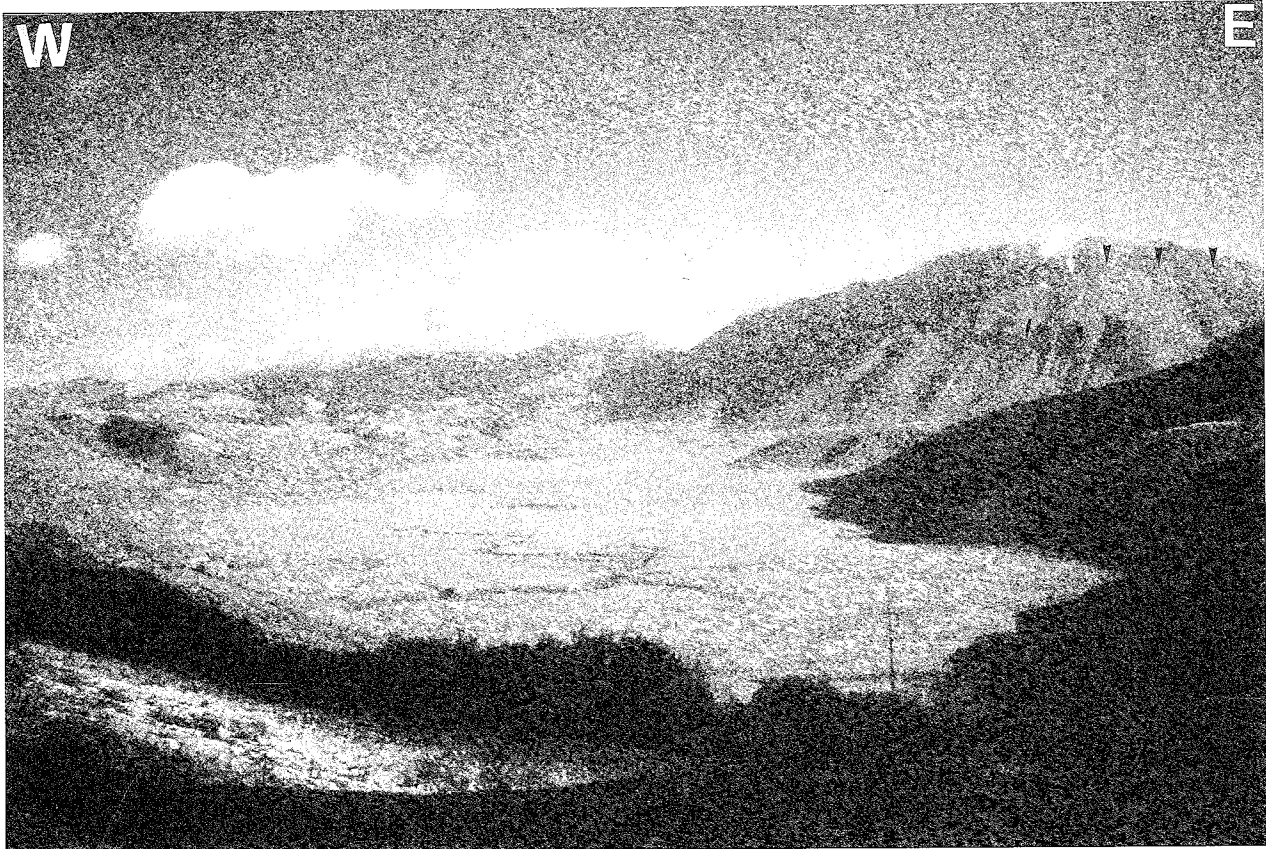


Fig. 6d - Zona del Monte Vettore. Veduta da SW del bacino di Castelluccio; le frecce indicano le due scarpate di faglia sul versante occidentale del Monte Vettore.

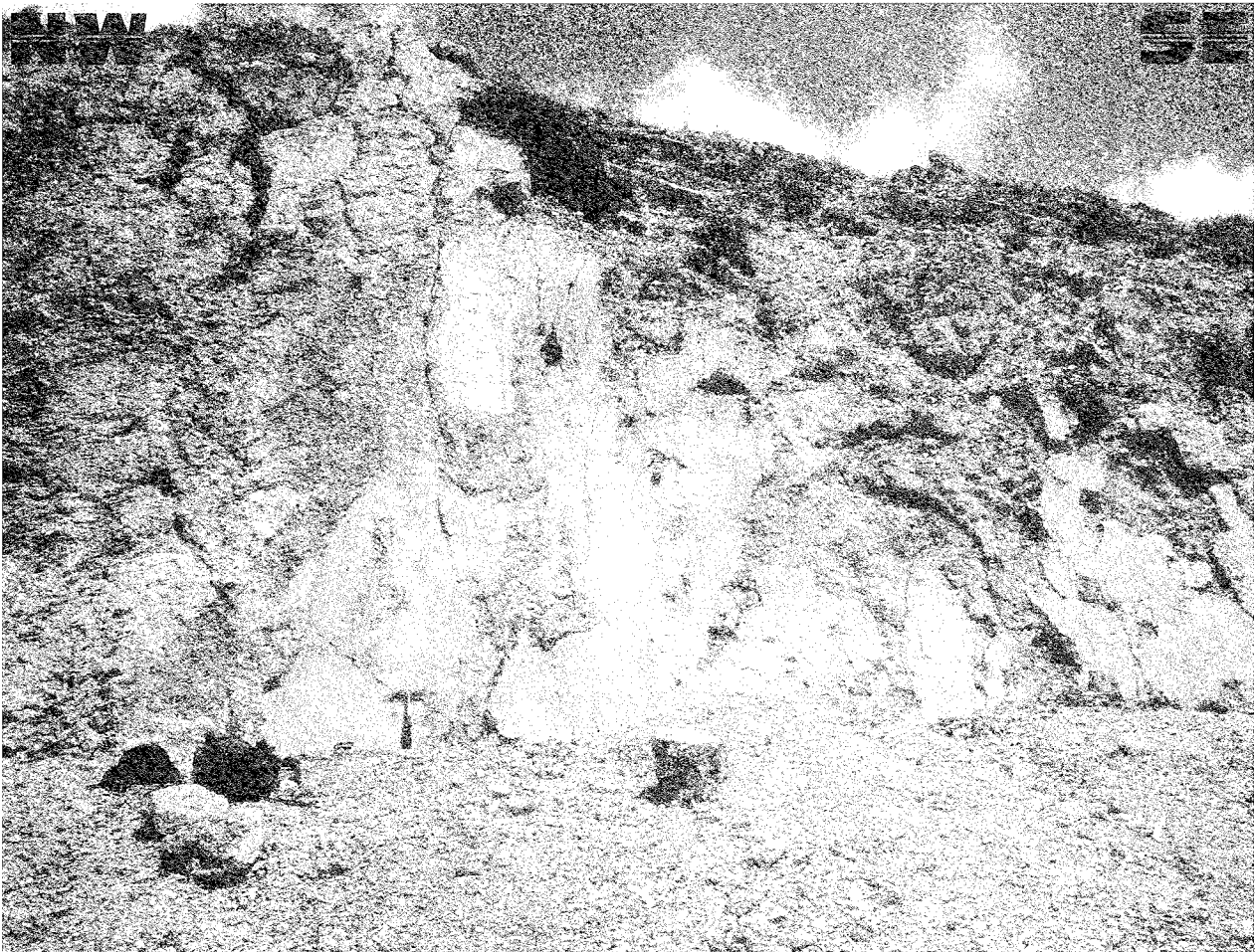


Fig. 6e - Zona del Monte Vettore. Faglia del "cordone del Vettore". Sul piano di faglia, a direzione N 150°, le strie meccaniche hanno un pitch di 60°S.

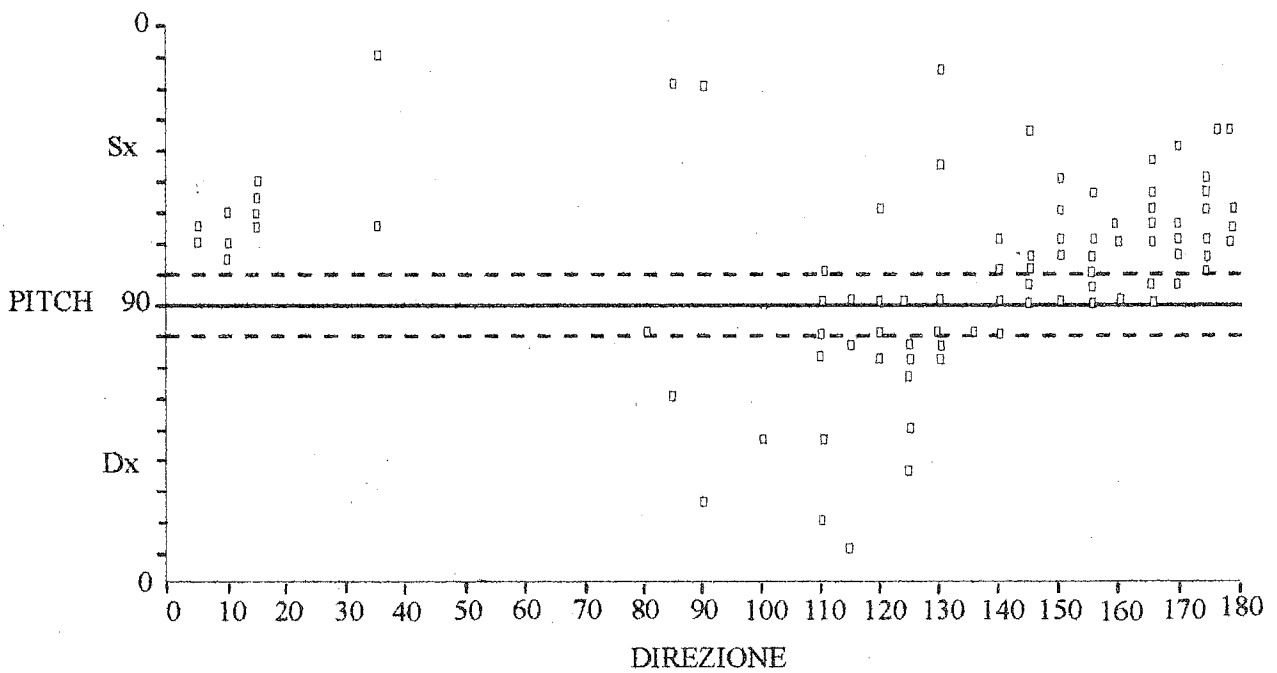


Fig. 7 - Diagramma mostrante la relazione tra la direzione delle faglie e il pitch delle strie nella zona del Monte Vettore (da CALAMITA & PIZZI, 1992).

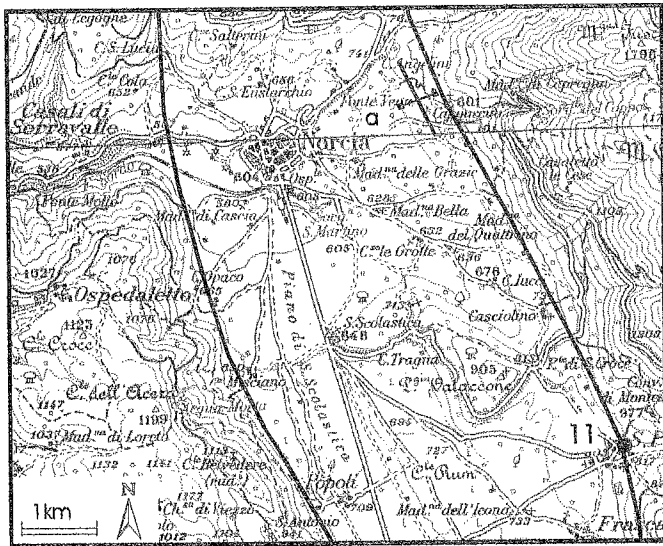


Fig. 8a - Zona di Norcia. Carta strutturale (scala 1:100.000) (1: faglie normali o transverse; 2: stazione di misura; 3: traccia del profilo topografico).

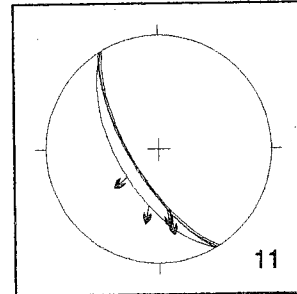


Fig. 8b - Zona di Norcia. Stereogramma (reticolo di Schmidt emisfero inferiore) sul quale sono riportati i dati della faglia principale, la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto; il numero si riferisce alla stazione di misura.

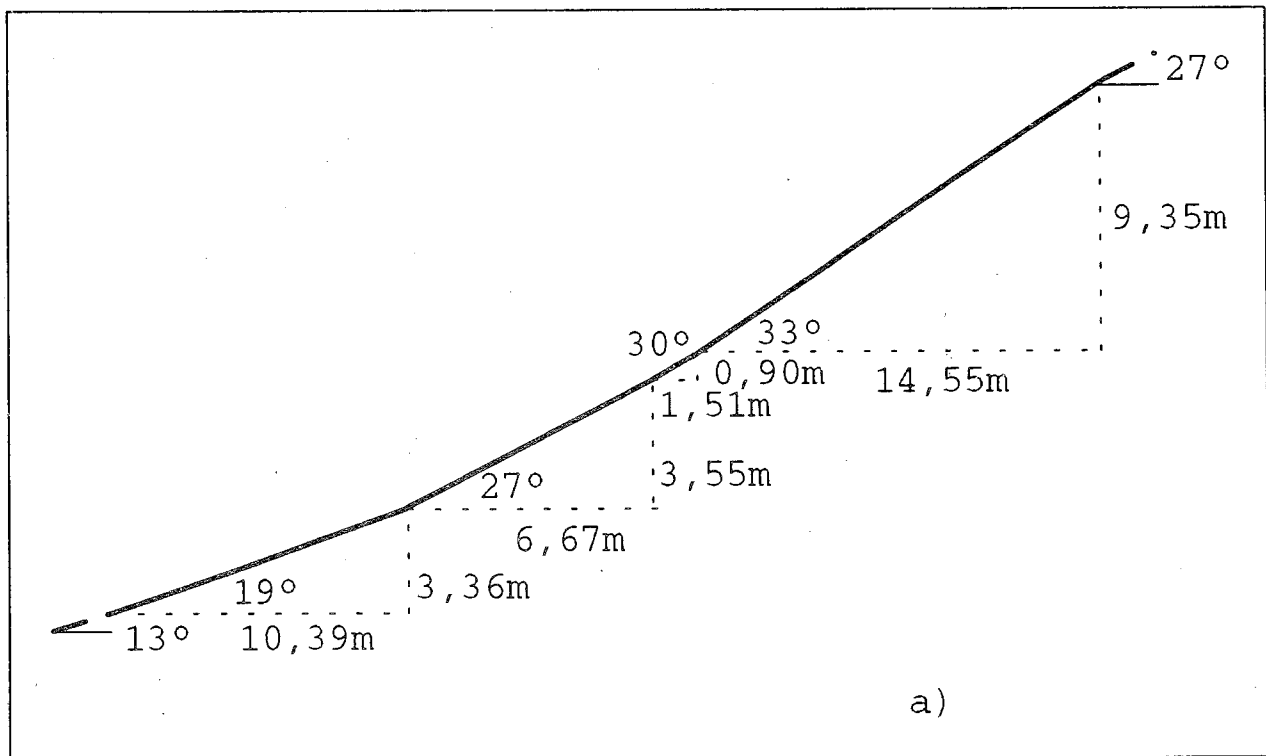


Fig. 8c - Zona di Norcia. Profilo topografico della scarpata di faglia nei depositi continentali Pleistocenici.

SE

NW

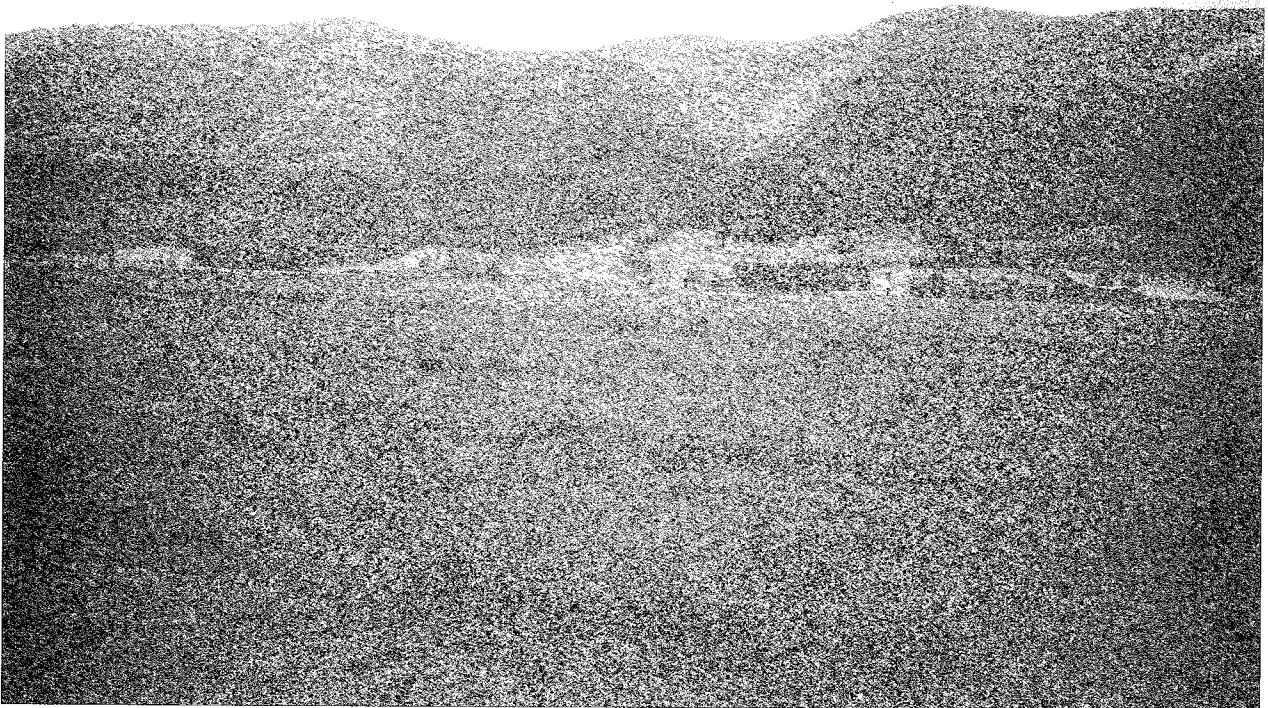


Fig. 8d - Zona di Norcia. Panoramica del versante che borda ad occidente il bacino di Norcia, le frecce indicano la scarpata di faglia nel *bedrock* e nei depositi continentali Pleistocenici; molto evidenti sul versante sono le faccette triangolari e trapezoidali.

SE

NW

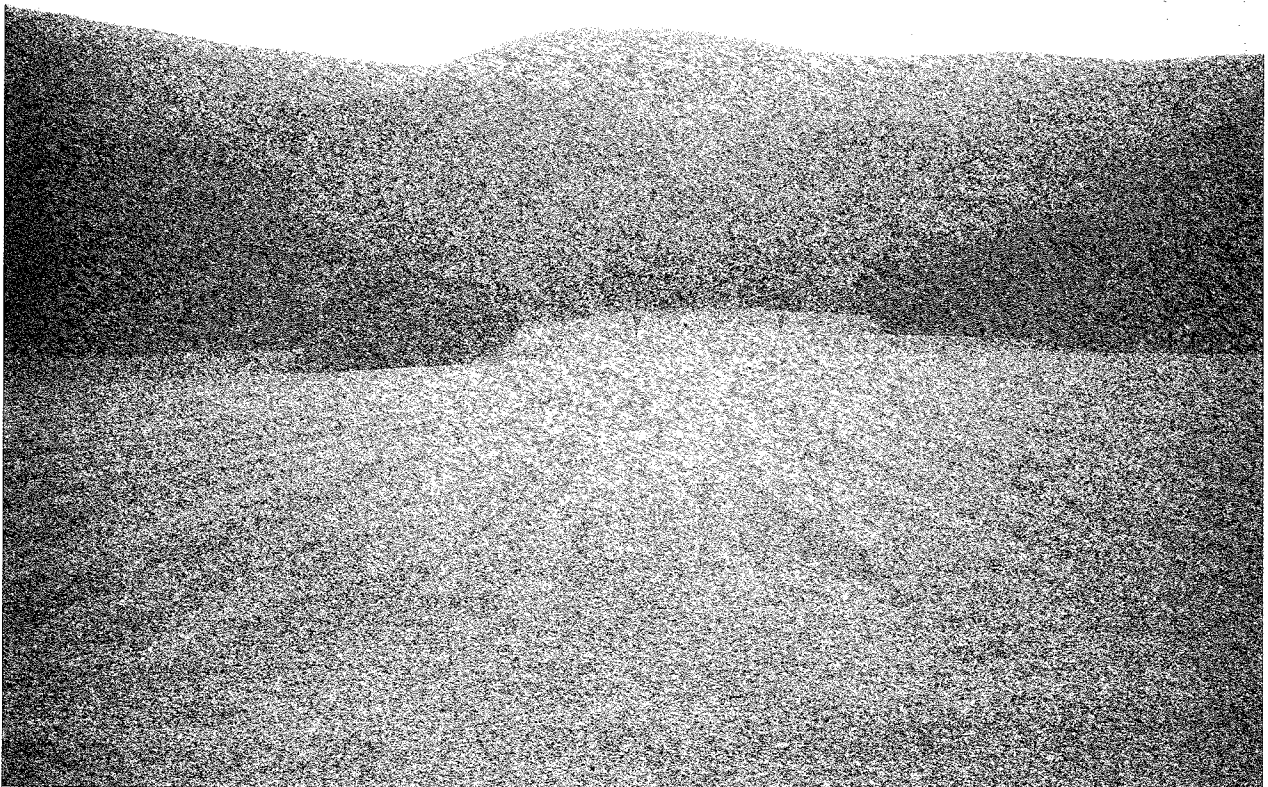


Fig. 8e - Zona di Norcia. Particolare della Fig. 8d; in evidenza la scarpata di faglia ad alto angolo nei sedimenti del Pleistocene superiore.

ratterizzata da due principali zone di faglia esposte in superficie per una lunghezza di 15-20 km in direzione circa N-S: la zona di faglia di Cittareale ad est e la zona di faglia di Chiavano ad ovest (Fig. 9a).

La zona di faglia piú orientale (Fig. 9a) è composta da due segmenti (quello di Cittareale e quello di Castel Santa Maria) di circa 13 km di lunghezza, a direzione N-S trascorrenti sinistri distanziati di circa 3,5 km e disposti secondo un en echelon sinistro. Nell'area di sovrapposizione tra i due elementi tra-

scorrenti, importanti faglie transtensive sinistre interessano i versanti occidentali di M. Alvagnano e M. Pizzuto (Fig. 9a).

In località le Piatenette (versante occidentale di M. Pizzuto) faglie ad andamento NNW-SSE e con direzione delle strie $N10^{\circ}-20^{\circ}$ (Fig. 9b), mostrano scarpate di faglia ad alto angolo e continue nel substrato (*Maiolica*) (CALAMITA & PIZZI, 1992). Il rigetto verticale di tali faglie, stimato in base a considerazioni stratigrafiche, è di circa 200 m e il piano di faglia, costi-

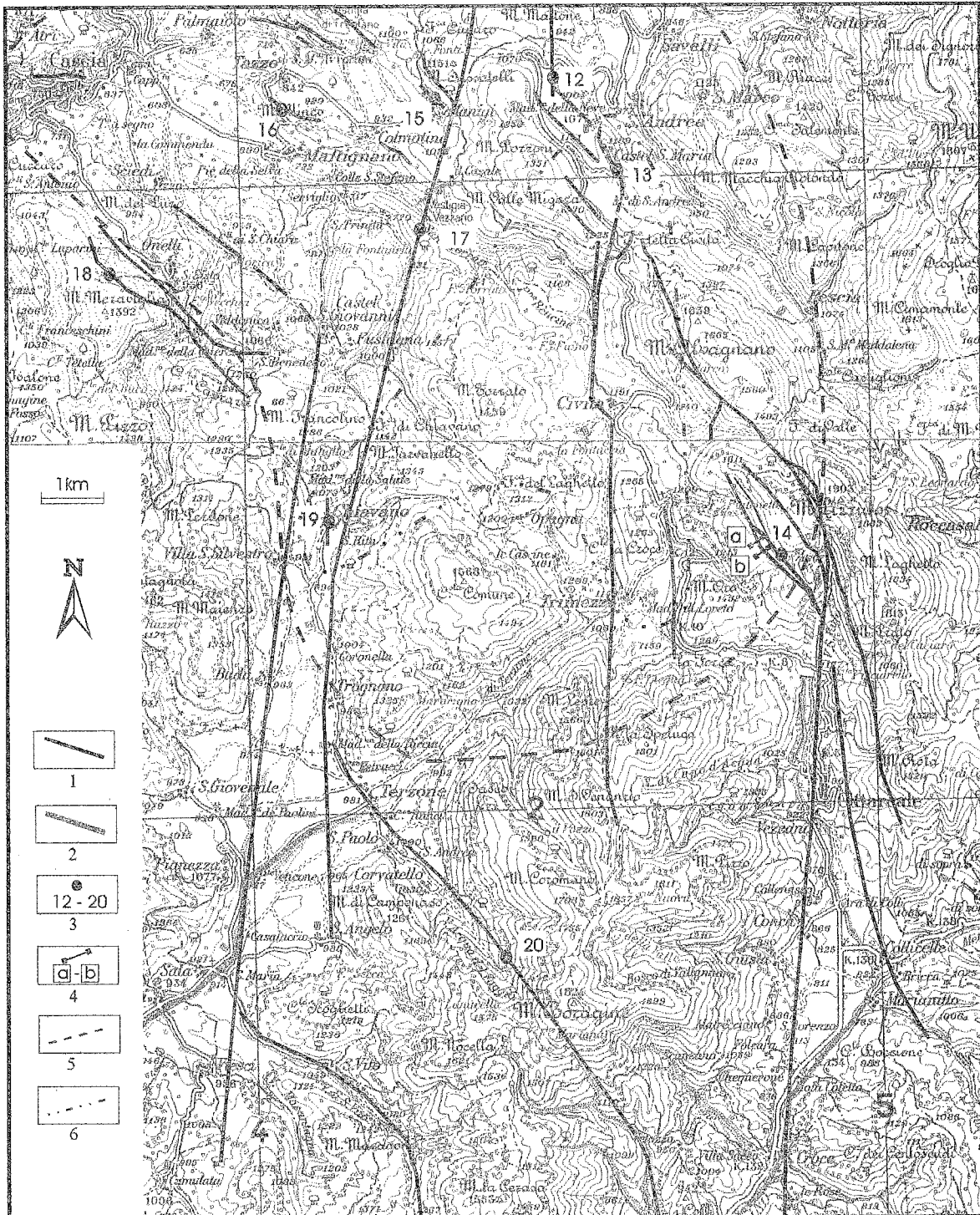


Fig. 9a - Zona di Cascia. Carta strutturale (scala 1:100.000). 1: faglie normali, transtensive e trascorrenti; 2: incisioni vallive; 3: stazioni di misura; 4: tracce dei profili topografici; 5: isosisma 8° MCS del terremoto di Norcia del 1979; 6: isosisma 9° MCS (da FAVALI et alii, 1980).

tuito da una superficie piana e lucida, presenta strie di abrasione che indicano un probabile movimento cosmico. Il versante lungo il quale corrono le faglie, è inoltre interessato da fenomeni gravitativi in atto (frane, erosione localizzata, produzione di detrito, ecc.) e, nella parte inferiore, si individua una scarpata di faglia di 20 m di altezza e 30° di pendenza ubicata nei depositi di versante (Fig. 9c-e). Alla base di detta scarpata è presente un tratto, di 45 cm di altezza, a pendenza maggiore (45°) con il significato di "scarplet".

Verso nord il segmento di Castel Santa Maria è a sua volta costituito da due elementi minori distanziati di circa 1 km, ai quali è legato un piccolo bacino di pull-apart orientato NNW-SSE e limitato da faglie trassensive sinistre. La faglia che borda ad oriente tale bacino ha andamento N160° e presenta una scarpata continua e ad alto angolo (Fig. 9b-d). Il rigetto verticale è di circa 100 m e il piano di faglia, lucido e privo di asperità, presenta alla base un tratto di circa 20 cm, separato da una linea netta dal resto della scarpata (Fig.

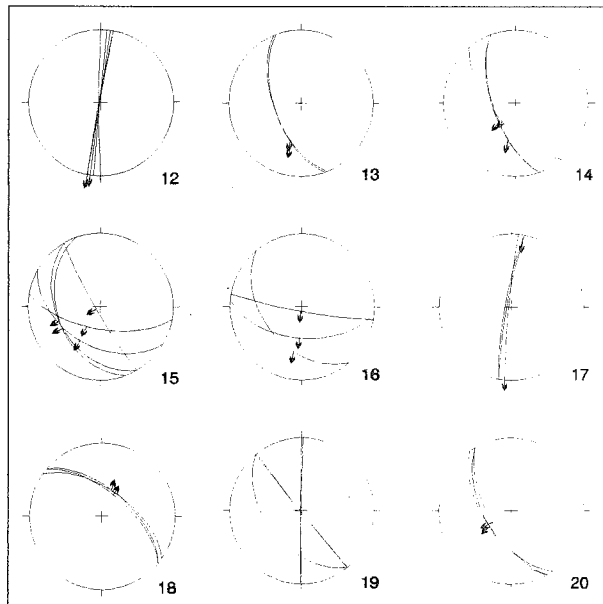


Fig. 9b - Zona di Cascia. Stereogrammi (reticolo di SCHMIDT emisfero inferiore) sui quali sono riportati i dati delle faglie principali, la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto; il numero si riferisce alla stazione di misura.

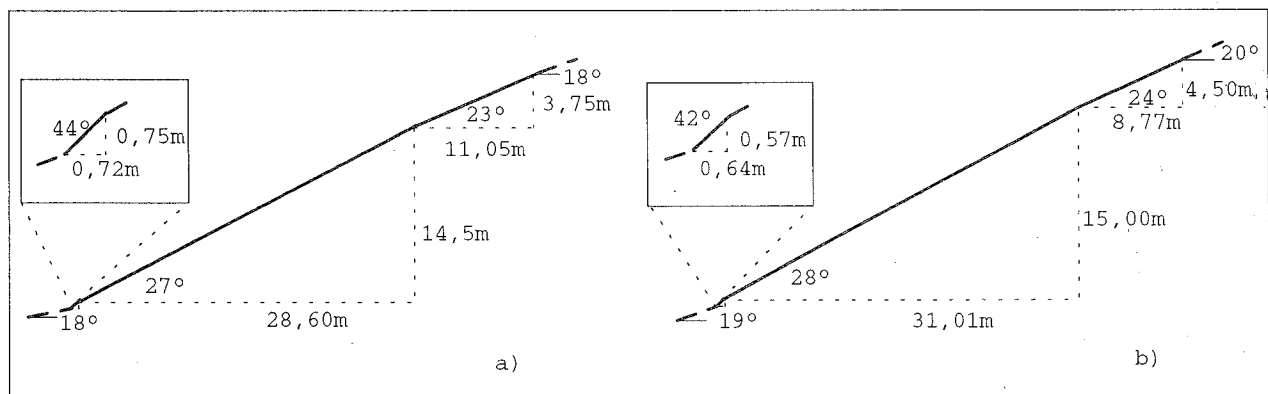


Fig. 9c - Zona di Cascia. Profili topografici della scarpata di faglia nei depositi di versante in località Le Piatenette; alla base della scarpata è presente un tratto continuo (scarplet) con una pendenza maggiore del resto della scarpata.

9d), che è stato considerato (Pizzi, 1992) come un indizio di riattivazione della faglia durante il terremoto di Norcia ($M_s = 5.9$) del 19 Settembre 1979. Sulla prosecuzione meridionale della faglia sopra descritta, una piccola valle facente parte del pattern di drenaggio olocenico (BLUMETTI, 1995) risulta dislocata di circa 25 m. (Allegato 1, Tav. III). Assumendo che la rete di drenaggio si sia impostata durante l'apice della glaciazione wurmiana, si ottiene un valore medio dello *slip rate* orizzontale di 1.2-1.6 mm/yr.

Questo segmento, a direzione N-S, è collegato alla faglia che borda ad est il bacino di Castel Santa Maria la quale presenta una fresca scarpata di faglia di 7 m di altezza. In base alle caratteristiche geometriche della scarpata si ottiene un valore dello *slip rate* di 0.3-0.5mm/yr. Il rapporto tra i valori di *slip rate* verticali ed orizzontali risulta essere pertanto 3:1.

Si noti anche che, a sud di M. Alvignano, l'elemento trascorrente che da M. Pizzuto prosegue verso Cittareale, disloca di circa 1 km (Fig. 9a), nel suo tratto più meridionale, la valle del Velino.

L'isosisma di 8°-9° MCS del terremoto di Norcia ($M_s = 5.9$) del 19 Settembre 1979 (Fig. 9a) comprende, oltre all'area che va da Castel Santa Maria a Trimizzo, anche la zona ad ovest delle strutture già descritte, fino a Chiavano. L'estensione verso ovest di tale isosisma, insieme alla distribuzione degli aftershocks, suggerisce un'attivazione, durante il terremoto, anche della zona di faglia di Chiavano. Questa struttura ha una lunghezza di circa 20 km ed un andamento N10° (Fig. 9b). Lungo questa zona di faglia, si osserva, nei pressi di Terzone, un'ampia valle impostata nei depositi continentali pleistocenici, che viene dislocata di circa 1,5 km (Fig. 9a). La struttura in parola prosegue a nord lungo valle S.Trinità e, immediatamente a sud dell'abitato di Manigi, determina il dislocamento decametrico di una piccola valle facente parte del pattern di drenaggio olocenico (Allegato 1, Tav. IV). Sulla base dell'entità del dislocamento (30 m) si ottiene un valore dello *slip rate* di 1.5-2.0 mm/yr che risulta simile a quello misurato per la faglia, a direzione N-S, di Castel Santa Maria.

Lungo tale lineamento numerose sono le evidenze di attività tettonica; oltre al dislocamento di alcune vallecole, in località Manigi si rinvengono anche depositi stratificati di versante interessati da faglie minori, con rigetti centimetrici, normali e/o trassensive (Fig. 9 b-h-i). In località Chiavano, inoltre, durante il terre-

NW

SE

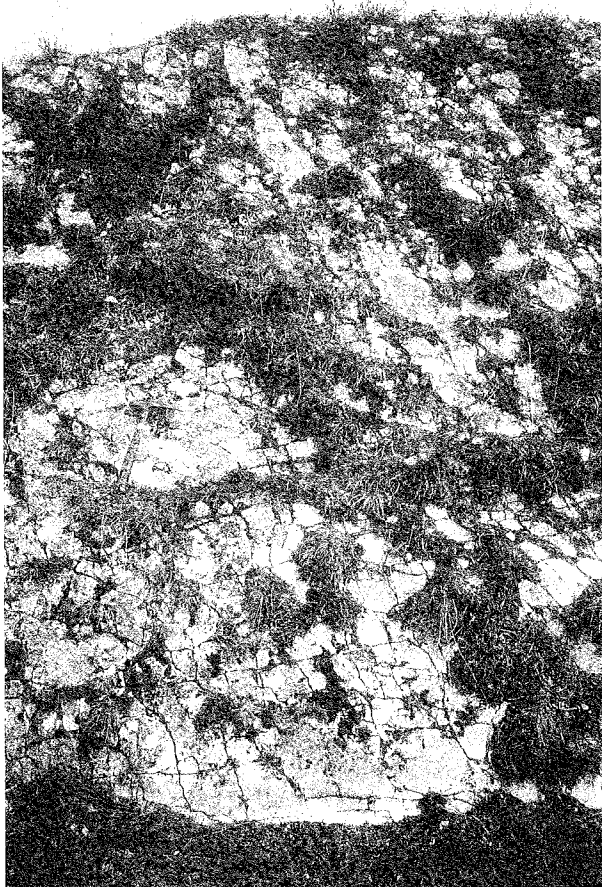


Fig. 9d - Zona di Cascia. Faglia di Castel Santa Maria con direzione N 160° e *pitch* delle strie 60° S. Si può notare alla base della scarpata un tratto di circa 20 cm meno alterato, interpretato (Pizzi, 1992) come la riattivazione della faglia durante il terremoto di Norcia (Ms = 5.9) del 19 Settembre 1979.

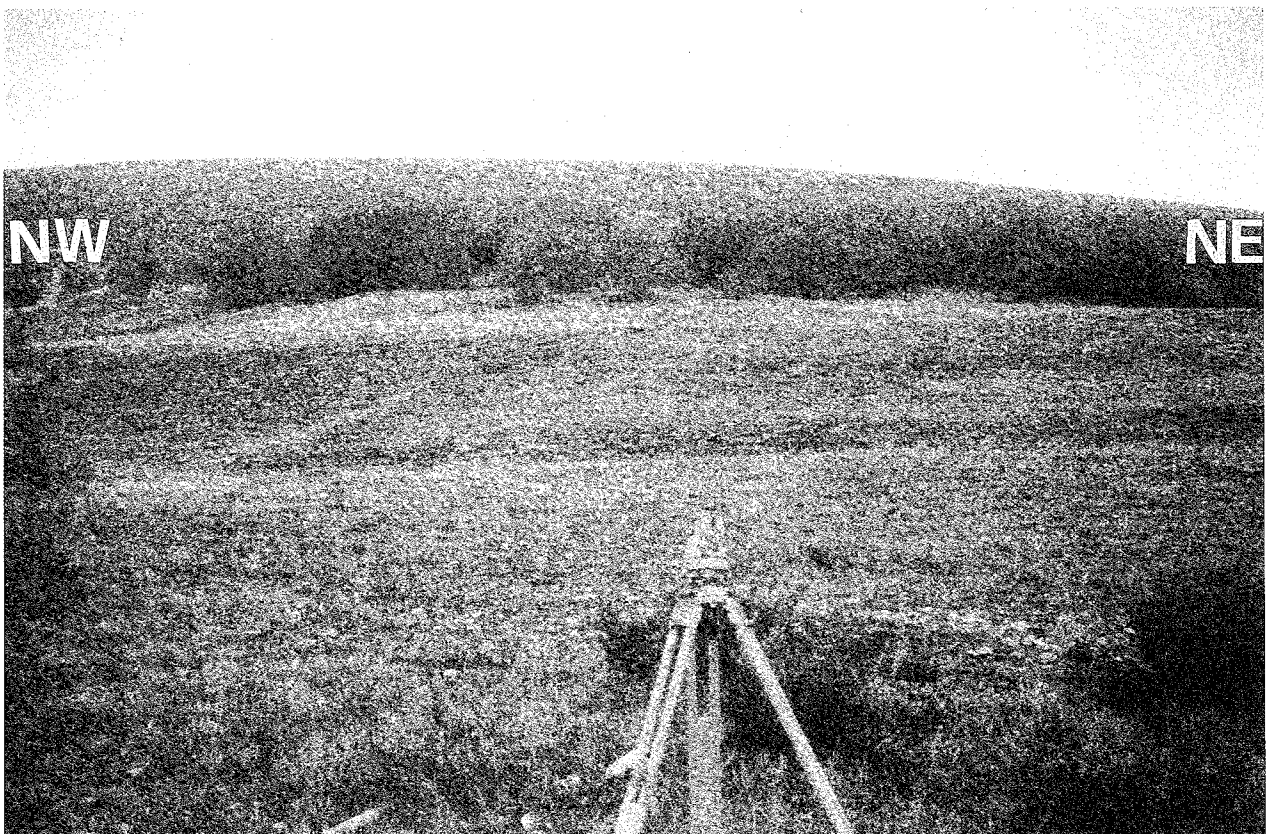


Fig. 9e - Zona di Cascia. Scarpata di faglia nei depositi di versante in località Le Piatenette. La scarpata alta circa 20 m presenta alla base un tratto a pendenza maggiore, con il significato di "scarplet".



Fig. 9f - Zona di Cascia. Fratture nei manufatti, in località Chiavano, generatesi durante il terremoto di Norcia del 1979. La direzione delle fratture (evidenziata dalle frecce) rispecchia la direzione delle principali faglie della zona: nord-sud e NW-SE. La frattura orientata NW-SE (in primo piano) che si continua a destra nella foto, nel *bedrock*, al di sotto del manufatto, si può seguire, a sinistra, oltre il parapetto, lungo il muro e nel *bedrock* (vedi Fig. 9g).

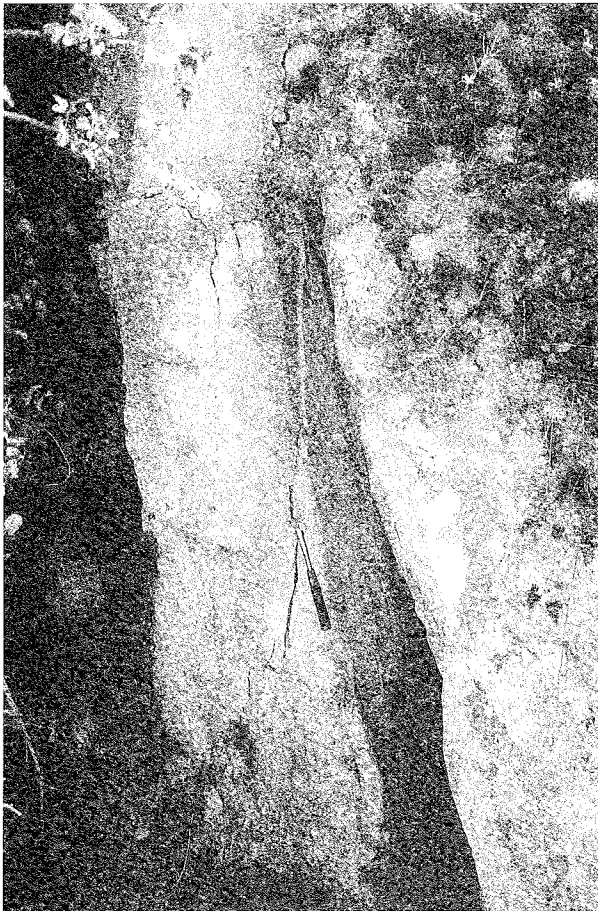


Fig. 9g - Zona di Cascia. Fresca frattura nel *bedrock* (*Calcare massiccio*), orientata NW-SE, generatasi durante il terremoto di Norcia ($M_s = 5.9$) del 1979. Nella parte alta della foto è possibile seguire la frattura nel manufatto (vedi anche Fig. 9f).



Fig. 9h - Zona di Cascia. Depositi stratificati di versante fagliati in località Manigi (stazione di misura 12).

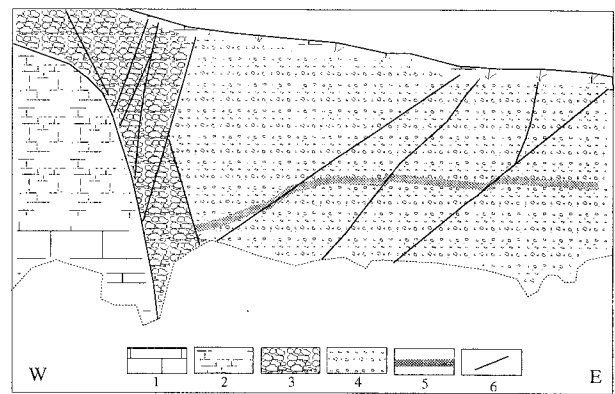


Fig. 9i - Zona di Cascia. Schema interpretativo relativo alla Fig. precedente (h) (1: *Calcare massiccio*; 2: *Calcare massiccio* fratturato; 3: roccia di faglia (cataclasite); 4: deposito stratificato di versante; 5: *marker* pedogenetico; 6: faglia).

moto del 19 Settembre 1979, si sono prodotte fratture al suolo, nel *bedrock* e nei manufatti (Fig. 9f-g).

La terminazione meridionale di tale elemento si ha in corrispondenza di importanti faglie normali o trasversive, come la faglia di M. Boragine che, nella sua prosecuzione verso SE, disloca il sovrascorrimento dei M.ti Sibillini.

La zona di Leonessa

Il bacino quaternario di Leonessa è bordato ad occidente da una faglia ad andamento WNW-ESE.

Il bacino è riempito da depositi continentali del Pleistocene-Olocene, ed è ubicato alla base del versante orientale della dorsale Monte Tilia-Monte di Cambio (Fig. 10a).

Questa struttura ad andamento N130° si segue con buona continuità per una lunghezza di circa 20 km ed ha un rigetto di circa 1000 m. Le strie meccaniche sul piano di faglia indicano un movimento transtensivo destro (Fig. 10b). La superficie di faglia ad alto angolo (Fig. 10c), piana, lucida e con strie di abrasione denotano il carattere attivo della dislocazione in parola.

Si deve infine rilevare che il bacino di Leonessa

è situato sulla terminazione meridionale del segmento, più occidentale a direzione N-S del sistema di faglie che a nord borda il bacino di Colfiorito.

La zona di Monte Gorzano

Quest'area è interessata da un importante elemento tettonico ad andamento NW-SE ed immergente a SW (Fig. 2), costituito da numerose faglie parallele e anastomizzate, che borda ad oriente i bacini di Amatrice e Campotosto. A causa della natura delle litologie interessate dal frazionamento (*Marne con cerrognia*, *Marne a pteropodi* e *Formazione della Laga*) le rocce di faglia sono notevolmente diverse da quelle presenti nelle litologie carbonatiche. Esse, infatti, sono costituite, in più punti, da clivaggio di dissoluzione per pressione e piani di taglio (tettoniti S-C). Gli indicatori cinematici, costituiti da gradini di calcite e strie meccaniche, indicano un movimento in direzione N10° e N50° (PIZZI, 1992). L'attività recente del sistema di faglie associata all'elemento tettonico della zona di Monte Gorzano è testimoniata, oltre che da una intensa sismicità dell'area e dalla presenza di indicatori geomorfologici quali scarpate fresche, faccette triangolari etc. (v. Fig. 2),

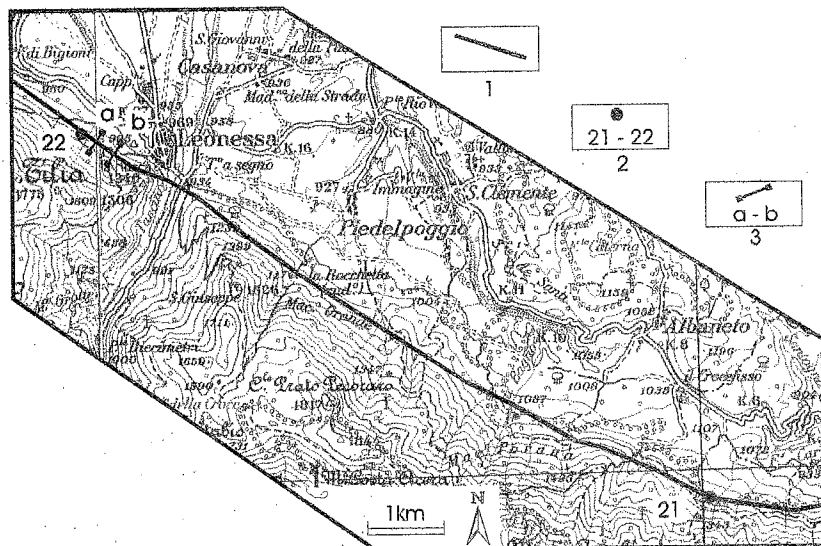


Fig. 10a - Zona di Leonessa. Carta strutturale (scala 1:100.000) (1: faglia transtensiva; 2: stazioni di misura; 3: traccia dei profili topografici).

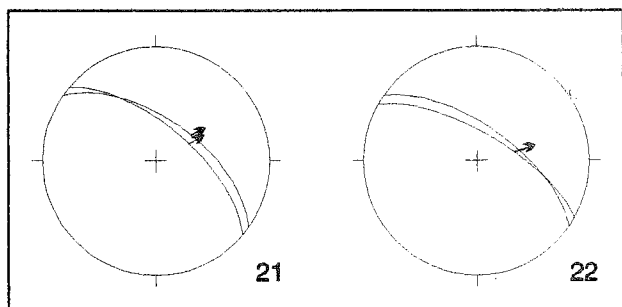


Fig. 10b - Zona di Leonessa. Stereogrammi (reticolo di Schmid, emisfero inferiore) sui quali sono riportati i dati delle faglie principali; la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto. Il numero si riferisce alla stazione di misura.

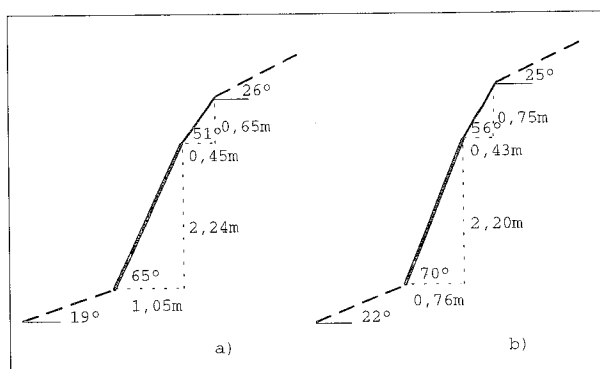


Fig. 10c - Zona di Leonessa. Profili topografici della scarpata di faglia nel *bedrock*.

anche da depositi palustri datati a 39.700 è 3.000 anni (BACHETTI *et alii*, 1990) che si presentano basculati contro monte.

La zona di Pizzoli

In quest'area affiora per una lunghezza complessiva di circa 15 km una faglia ad andamento N150° e immersione a SW, a carattere principalmente normale (Fig. 11b), che borda a NE il bacino di Pizzoli-L'Aquila. La zona di faglia è caratterizzata da un rigetto verticale di circa 1.200 m e da un notevole spessore di cataclasite. L'intensa fratturazione del substrato (calcare massiccio) controlla l'evoluzione del versante, favorendo anche lo sviluppo di processi erosivi localizzati.

L'attività recente della faglia è testimoniata, in località Arischia (Fig. 11a), dalla presenza di depositi stratificati di versante fagliati (BLUMETTI, 1995) e in, località Pizzoli, dove la stessa mette a contatto il calcare massiccio con depositi di versante anch'essi fagliati che presentano strutture minori con componenti normali (Fig. 11c).

Il profilo topografico evidenzia, in particolare, le

caratteristiche morfologiche del contatto *Calcare massiccio*-depositi di versanti.

La zona di Tornimparte

Questa zona, ubicata immediatamente a sud e a ovest de L'Aquila, è interessata da tre faglie principali (Fig. 12a). La più occidentale, che si sviluppa con direzione N-S per circa 10 km, è caratterizzata da una spessa breccia di faglia e, nella sua estensione meridionale, corre lungo il fianco occidentale di una vallecchia rettilinea, stretta e profonda circa 15 m. La faglia centrale, ad andamento circa N170°, mostra a nord di Villagrande una zona di taglio fragile-duttile caratterizzata da piani di taglio a direzione N-S e superfici di clivaggio di dissoluzione per pressione sub-verticali e orientati N50°-60° (Fig. 12b) che indicano, insieme ad altre strutture (strie di abrasione e gradini di calcite), un chiaro movimento trascorrente sinistro. La zona di faglia più orientale, ad andamento N-S, nel suo tratto settentrionale, assume direzione N150° a sud di Colle di Lucoli e prosegue, in direzione sud-est, fino a collegarsi alla faglia che borda ad oriente il bacino quaternario di Campo Felice. In località Colle di Lucoli, la

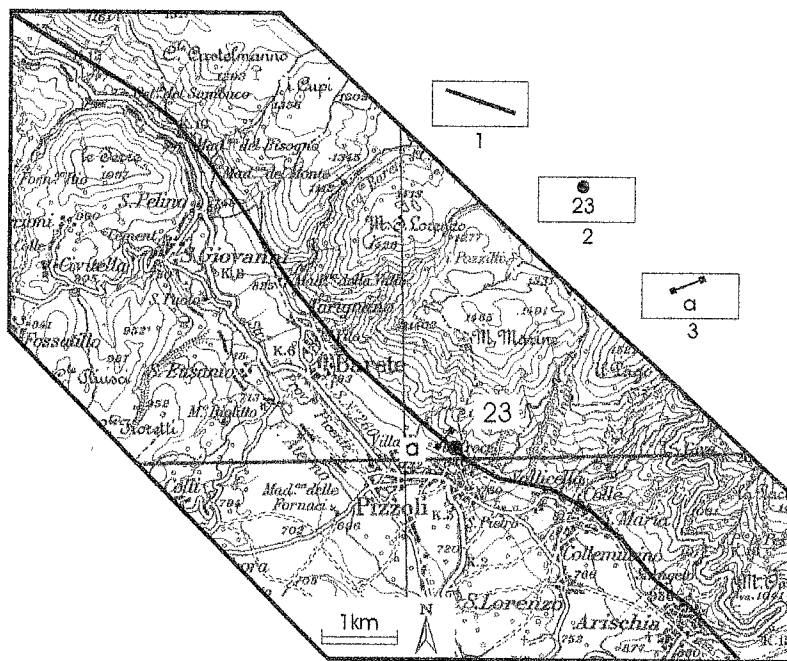


Fig. 11a - Zona di Pizzoli. Carta strutturale (scala 1:100.000) (1: faglia normale; 2: stazione di misura; 3: traccia del profilo topografico).

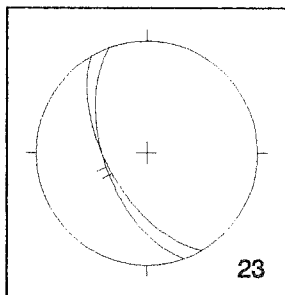


Fig. 11b - Zona di Pizzoli. Stereogramma (reticolo di Schmidt, emisfero inferiore) sul quale sono riportati i dati della faglia principale; la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto. Il numero si riferisce alla stazione di misura.

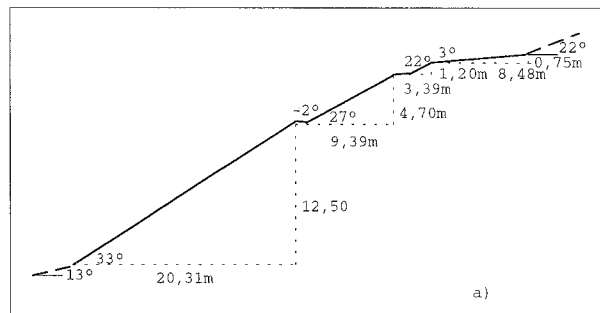


Fig. 11c - Zona di Pizzoli. Profilo topografico lungo il contatto tettonico *Calcare massiccio* - depositi stratificati di versante.

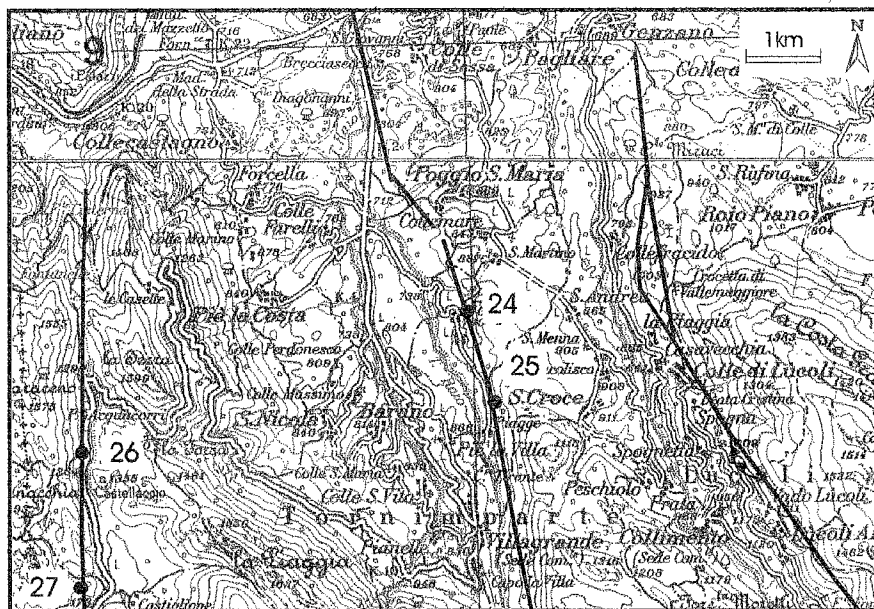


Fig. 12a - Zona di Tornimparte. Carta strutturale (scala 1:100.000) (1: faglie transtensive e trascorrenti; 2: faglia transpressiva; 3: stazioni di misura).

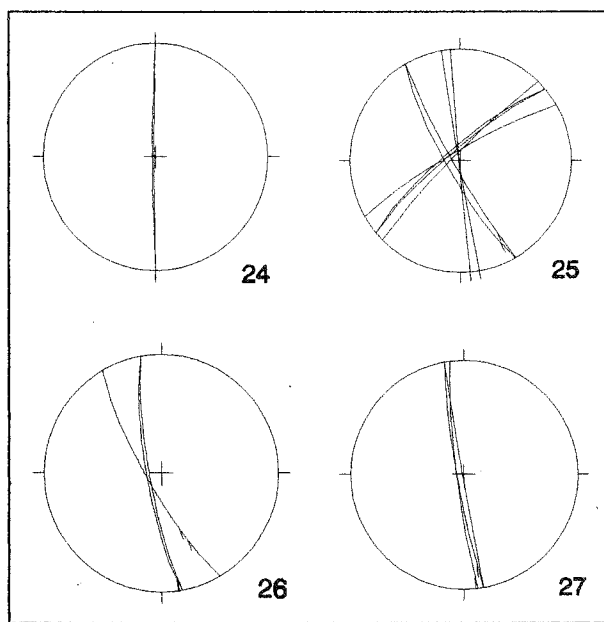


Fig. 12b - Zona di Tornimparte. Stereogrammi (reticolo di Schmidt emisfero inferiore) sui quali sono riportati i dati delle faglie principali: la freccia indica il senso di movimento dell'unità di tetto. Il numero si riferisce alla stazione di misura.

faglia mostra un cambiamento di direzione ed è caratterizzata dalla presenza di una zona transpressiva che genera un piccolo *push-up* (BIRI *et alii*, 1995).

L'attività recente delle faglie di Tornimparte è dimostrata dalla presenza di depositi stratificati di versante fagliati (Fig. 12c-d) e tiltati (BIRI com. pers.).

Le faglie appena descritte si prolungano a sud della depressione di Campo Felice (vedi Fig. 1) fino ai bacini

no del Fucino (Fig. 13), una depressione tettonica riempita da depositi fluvio-lacustri del Pleistocene medio-Olocene (BLUMETTI, 1991), che risultano in più luoghi, fagliati e tiltati (Fig. 14). L'andamento d'insieme delle faglie presenti in quest'area, suggerisce un collegamento diretto tra il movimento trascorrente sinistro lungo faglie a direzione N-S e lo sviluppo del bacino. In particolare, la faglia che borda il Piano di Pezza sembra rappresentare un *horse-tail splay* associato alla faglia a direzione N-S mostrata in Fig. 13. In questa ben nota area sismogenetica dell'Appennino centrale, scarpate di faglia tagliano conoidi alluvionali olocenici e sono state riconosciute evidenze di paleoterremoti con magnitudo maggiore di 7 (BOSCHI *et alii*, 1994). GALADINI & GI-RAUDI (1989), in un'area situata pochi km a sud di Piano di Pezza, hanno calcolato uno *slip rate* verticale di 1 mm/yr e un *slip rate* orizzontale di 3.6-3.8 mm/yr con un rapporto di circa 1:3, simile a quello calcolato per la zona di Cascia.

— Interpretazione strutturale

Le faglie capaci, attive e possibilmente attive del CAFS, mostrano le seguenti cinematiche:

- le faglie a direzione N-S sono caratterizzate da movimenti trascorrenti sinistri;
- le faglie orientate NW-SE mostrano rigetti normali e/o obliqui (transtensivi sinistri);
- le faglie a direzione WNW-ESE sono principalmente normali o transtensive destre.

I bacini intramontani di questo settore dell'Appennino centrale sono tutti distribuiti in una fascia larga 50-60 km, che si estende da Colfiorito (a Nord) fino a sud de L'Aquila. Ogni bacino è sistematicamente bordato sia da faglie N-S trascorrenti sinistre che da faglie NW-SE e WNW-ESE transtensive e normali. I ba-

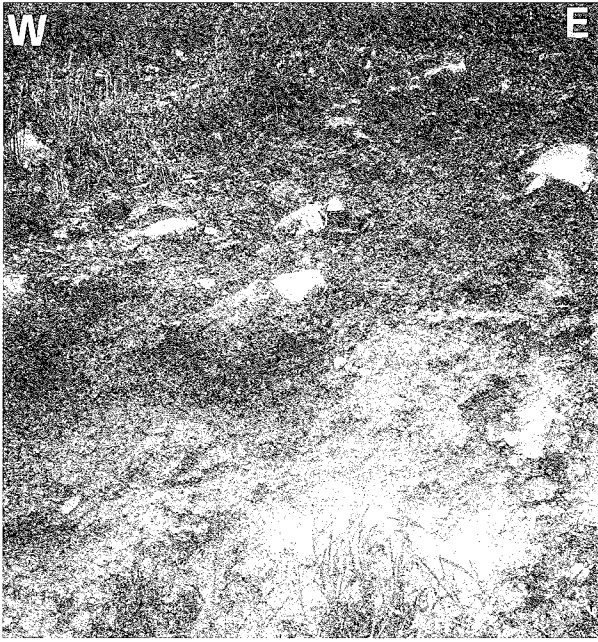


Fig. 12c - Zona di Tornimparte. Depositi stratificati di versante fagliati, in località Lucoli.

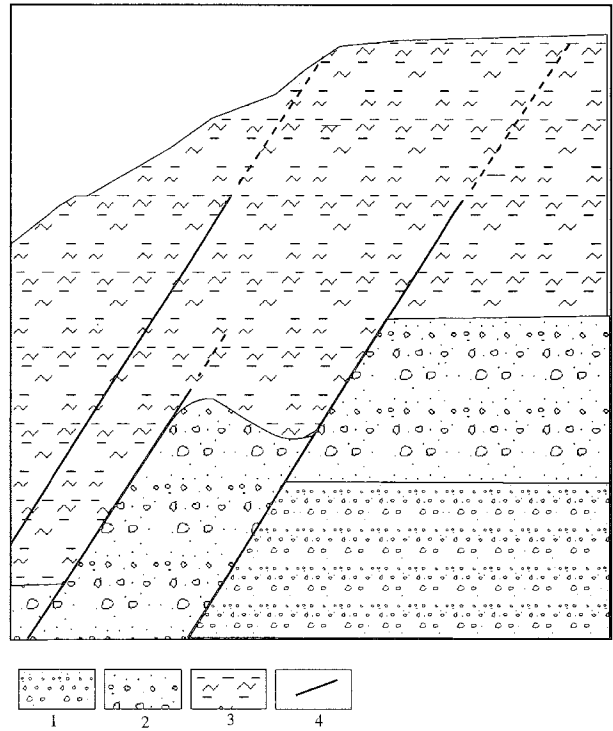


Fig. 12d - Zona di Tornimparte. Schema interpretativo da (c) (1: depositi stratificati di versante (ghiaia e sabbia); 2: depositi stratificati di versante (ghiaia, sabbia e ciottoli); 3: suolo; 4: faglie).

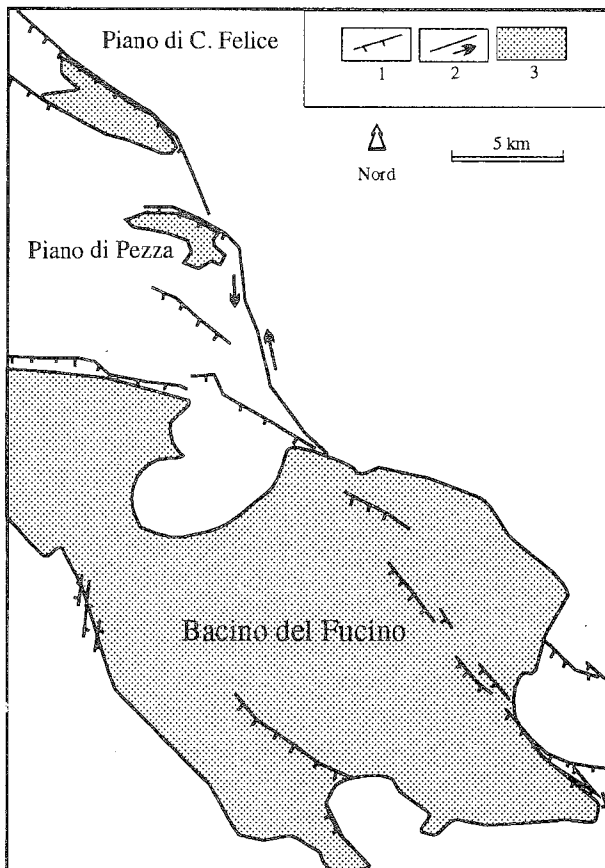


Fig. 13 - Schema semplificato della zona del bacino del Fucino (da GALADINI & GIRAUDI, 1989; modificato) (1: faglie normali e transtensive; 2: faglia trascorrente, la freccia indica il senso di movimento; 3: sedimenti fluvio-lacustri del Pleistocene-Olocene). La faglia che borda il Piano di Campo Felice (a nord-est), rappresenta la prosecuzione meridionale delle faglie di Tornimparte.

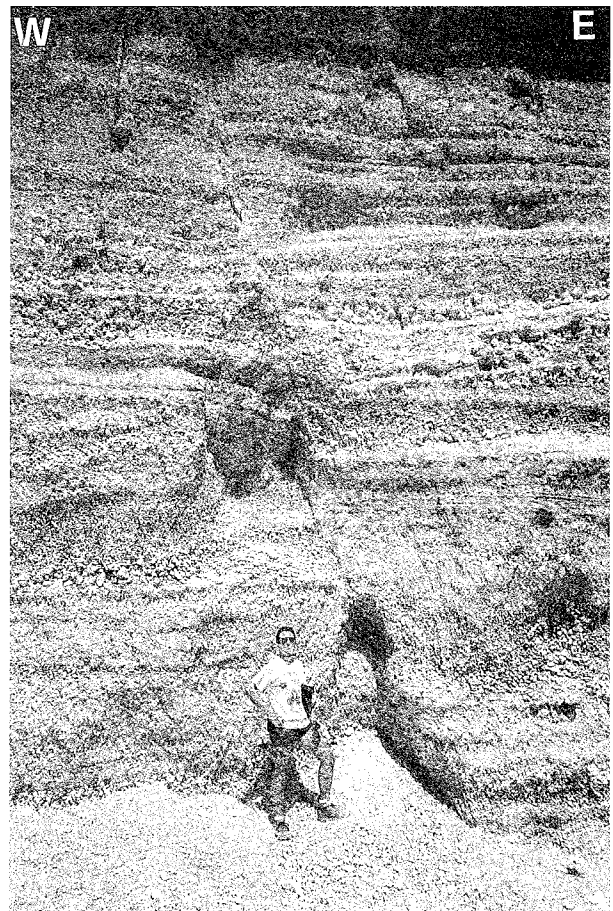


Fig. 14 - Sedimenti fluvio-lacustri del Pleistocene medio fagliati in località Casali d'Aschi (bacino del Fucino). La superficie di faglia, ad andamento NW-SE, presenta strie meccaniche che indicano una direzione del movimento N15°E.

cini possono avere diverse origini: quelli di Colfiorito e Leonessa, per esempio, sono confinati da faglie di direzione WNW-ESE che possono essere interpretate come horse-tail splays sviluppatesi alla terminazione della faglia piú occidentale della zona di Colfiorito. Il bacino di Cascia, invece, sembra rappresentare un tipico *pull-apart* sviluppatosi nella zona interposta tra due faglie trascorrenti sinistre con geometria *en-echelon* sinistra, mentre il bacino di Amatrice è situato in una zona di *bending* della faglia piú orientale del CAFS.

L'intero sistema che si estende da Muccia a L'Aquila può essere quindi assimilato ad una zona di *pull-apart* composito, non ancora completamente sviluppato, che include *ridges* e *pull-apart* a scala minore (AYDIN & NUR, 1982). In altri termini, il CAFS può considerarsi come una struttura a fiore immatura (*immature flower structure*) che rappresenta l'espressione superficiale di una zona di taglio profonda ad andamento circa meridiano.

Il *pattern* delle faglie e la cinematica dell'intero sistema, così come la distribuzione areale dei bacini, suggeriscono, quindi, di definire il CAFS come una combinazione di associazioni di strutture congruenti che registrano, nel loro insieme, un'attività tettonica trascorrente sinistra lungo faglie ad andamento circa N-S.

La geometria del campo di *stress* responsabile della genesi e dell'evoluzione del CAFS, così come emerge dall'analisi degli *slip vectors*, da dati paleomagnetici (RON *et alii*, *submitted*) e da argomentazioni di compatibilità cinematica, è caratterizzata da un asse di compressione massima sub-orizzontale ed orientato NW-SE e da una estensione diretta circa NE-SW.

DISCUSSIONE

L'analisi delle strutture capaci del settore umbromarchigiano-abruzzese del CAFS, ha consentito di definire la geometria del campo di *stress* agente nell'Appennino centrale nel tardo Quaternario. Per l'analisi sismotettonica, è importante però stabilire anche una relazione tra il regime tettonico derivato geologicamente e quello che si ottiene analizzando i dati sismologici (CELLO *et alii*, 1982; TORTORICI *et alii*, 1995).

I meccanismi focali disponibili per l'Appennino centrale, ed in particolare quelli derivanti da dati strumentali relativi al terremoto di Norcia ($M_s = 5.9$) del 19 Settembre 1979, mostrano che la geometria del campo di *stress* agente nell'area è caratterizzata da una soluzione avente un asse P a direzione NNW-SSE ed un asse T orientato $N72^\circ$ (Fig. 15). I dati relativi ad una sequenza di *aftershocks* (Tab. 1) registrati da una rete sismica temporanea tra il 19 Settembre e il 31 Dicembre 1979, hanno invece consentito di individuare una zona sismogenetica subverticale, al di sotto del bacino di Norcia, che si estende da una profondità di 2-3 km dalla superficie fino a circa 16 km (vedi Fig. 4).

La geometria del campo di *stress* responsabile degli *aftershocks* correlati all'evento principale è caratterizzata da meccanismi focali mostranti soluzioni, staticamente significative, che possono raggrupparsi in due tipi principali (Fig. 15). Le soluzioni di tipo compressivo (Gruppo 1, in Fig. 15) individuano un asse P orientato NW-SE mentre le soluzioni di tipo estensionale (Gruppo 2, in Fig. 15) mostrano un asse T orientato NE-SW.

I meccanismi compressivi sono derivati da piani nodali orientati circa ENE-WSW, E-W e N-S. Da un

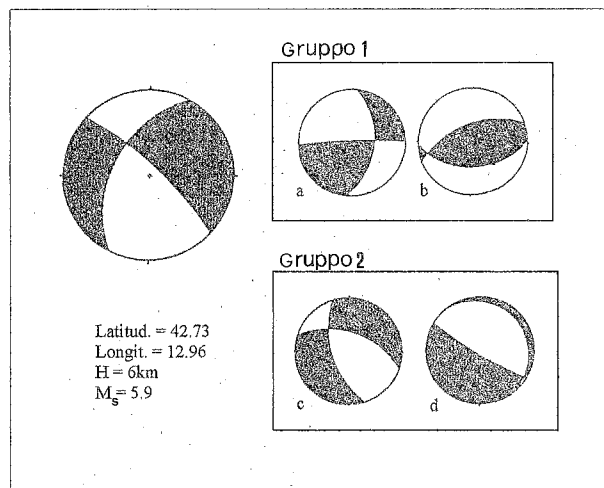


Fig. 15 - Rappresentazione grafica della soluzione dei piani di faglia del terremoto di Norcia del 19 settembre 1979 e delle soluzioni dei meccanismi focali della relativa sequenza di *aftershocks* (da BROZZETTI & LAVECCHIA, 1994; modificato); dati numerici in Tabella 1. Gruppo 1: soluzioni con asse P suborizzontale orientato NW-SE (a = componente trascorrente dominante; b = componente inversa dominante). Gruppo 2: soluzioni con asse T suborizzontale orientato NE-SW (c = movimento transtensivo con componente trascorrente sinistra; questo tipo di soluzione rappresenta la maggioranza (64%) del numero totale degli eventi; d = componente normale dominante).

punto di vista cinematico le strutture orientate circa ENE-WSW possono pertanto comportarsi, in risposta a questo regime di *stress*, come faglie inverse e/o zone di taglio transpressive destre, mentre le strutture a direzione E-W e N-S possono attivarsi con movimenti trascorrenti rispettivamente destri e sinistri.

I meccanismi estensionali, con direzione NE-SW dell'asse T, (Gruppo 2, in Fig. 15) sono derivati da due piani nodali coniugati a direzione NW-SE immergenti sia a nord-est che a sud-ovest. Da un punto di vista cinematico, segmenti di faglie parallele a questa direzione possono attivarsi solamente come faglie normali e/o transtensive sinistre.

Questi risultati sono in accordo con quelli ottenuti dall'analisi geologica i quali indicano una compressione orientata NW-SE e una direzione di estensione orientata essenzialmente NE-SW. La buona corrispondenza tra la geometria del campo di *stress* attuale e quella derivata geologicamente, per gli ultimi 700 ka, suggeriscono quindi che il regime tettonico, in quest'area, è stato stazionario dal Pleistocene medio in poi.

Questa informazione è estremamente importante, ai fini dell'analisi sismotettonica, sia per individuare quali delle discontinuità preesistenti in una data area possono essere riattivate in risposta allo stato di *stress* attuale, sia per valutare il potenziale sismogenetico di faglie neofornate in risposta al regime tettonico del Pleistocene medio-Olocene.

Le evidenze strutturali e sismologiche fornite nel paragrafo precedente sembrano inoltre indicare che esiste una chiara connessione tra i differenti segmenti di faglie analizzate, nonché tra questi ed una zona di taglio sinistra profonda ad andamento circa N-S.

La distribuzione degli ipocentri dei terremoti che interessano una sezione di crosta profonda fino a circa 16 km suggerisce anche che dette strutture potreb-

bero probabilmente estendersi a livelli crostali più profondi con caratteristiche asismiche (Fig. 16).

Nella Fig. 16 i segmenti di faglia suborizzontali, situati alla base della crosta superiore, potrebbero inoltre costituire livelli di scollamento sia per le faglie superficiali del CAFS, sia per i blocchi ruotati della zona di Castelluccio-Monte Vettore (RON *et alii*, *submitted*) e di altre zone (MATTEI *et alii*, 1995).

In questo quadro deformativo, i processi estensionali associati alle strutture del CAFS vanno pertanto collocati all'interno di una struttura a fiore regionale ancora in evoluzione in risposta all'attuale regime tettonico.

CONCLUSIONI

In questo lavoro si è evidenziato che:

- il *pattern* geometrico delle strutture capaci del CAFS e le loro caratteristiche cinematiche, la distribuzione dei bacini, la sismicità e il regime di *stress* agente nell'area sin dal tardo Quaternario, sono compatibili con una interpretazione strutturale che considera il CAFS come l'espressione superficiale di una zona di taglio sinistra profonda;
- la sequenza sismica che dal 14 Gennaio al 2 Febbraio del 1703 interessò l'area di Norcia-L'Aquila, conferma l'esistenza di una struttura sismogenetica regionale che è stata attivata mediante rotture multiple;
- il *pattern* della fagliazione superficiale e l'andamento delle isosisme associate al terremoto di Norcia del 19 Settembre 1979, suggeriscono che durante questo evento sono state attivate almeno due zone di faglia del CAFS (Chiavano e Castel Santa Maria).

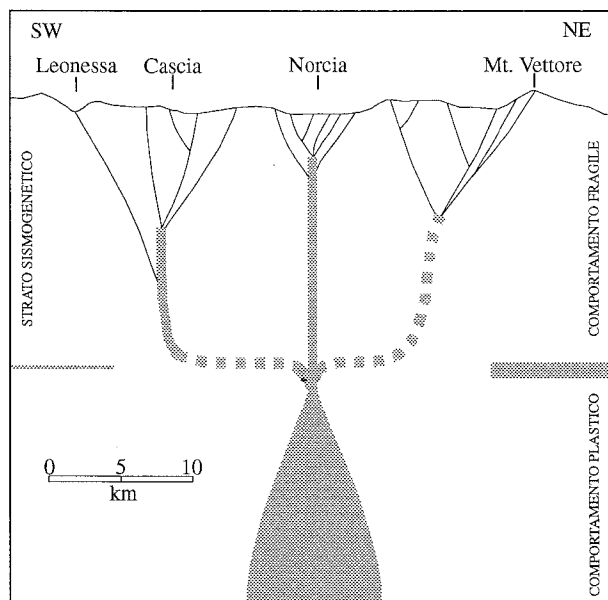


Fig. 16 - Sezione crostale tra Leonessa e Monte Vettore. Linee grigie, spesse e continue: strutture crostali responsabili del terremoto di Norcia del 19 Settembre 1979; linea tratteggiata subverticale: struttura sismogenetica al di sotto della zona di faglia del Monte Vettore; linee tratteggiate suborizzontali: probabile limite fragile-plastico. Il movimento relativo, al di sotto dello strato a comportamento fragile, può essere accomodato all'interno di una zona interessata da processi deformativi semifragili e/o plastici, dovuti a "strain-softning" (GILBERT *et alii*, 1994).

L'esistenza di un sistema di faglie trascorrenti, attive sin dal Pleistocene medio in questo settore dell'Appennino centrale, presenta notevoli implicazioni ai fini dell'analisi della pericolosità sismica della penisola italiana. Conseguenze dirette del movimento trascorrente lungo zone di taglio profonde a direzione N-S implicano, infatti, che:

a) a causa del collegamento tra strutture superficiali e zone di taglio profonde, ogni incremento del movimento in profondità potrà essere accomodato in superficie lungo diverse diramazioni (*splays*) di faglie capaci, determinando un complesso pattern di rottura (*sensu* SLEMMONS, 1995);

b) il rigetto cumulativo registrato sui segmenti di faglia che si attivano durante ogni evento sismico, include, oltre alla componente di *dip-slip* del movimento (che è generalmente determinata attraverso analisi morfotettoniche e paleosismologiche) anche quelle componenti trascorrenti che sono state evidenziate attraverso una dettagliata analisi strutturale.

Quanto sopra esposto evidenzia la necessità di sviluppare un approccio metodologico nella valutazione del potenziale sismogenetico associato alle strutture del CAFS. Conseguentemente, l'analisi della pericolosità sismica dovrà considerare molti altri fattori responsabili della ripartizione della deformazione all'interno del sistema. Alcuni di questi fattori sono brevemente discussi di seguito.

Energia di rottura

Come mostrato da TRIFONOV (1995), il processo di fagliamento, in sistemi trascorrenti, è più efficiente che nei sistemi a *thrust* ed estensionali (si veda anche la discussione relativa al rapporto sugli *slip rates* verticali ed orizzontali). Per una data quantità di energia sismica rilasciata (per es. a magnitudo costante) la lunghezza di rottura della faglia e/o la lunghezza moltiplicata per il dislocamento cosismico, sono quindi entrambi maggiori in regime trascorrente piuttosto che in regime estensionale o di *thrusting*. Questo spiega perché, in Appennino, terremoti con magnitudo 6-7 (o anche di minor energia, come per il terremoto di Norcia del 1979, con $M_s = 5.9$) possono determinare rotture superficiali in diversi siti all'interno dell'area epicentrale.

Rotture multiple

In riferimento ad un *network* di faglie articolato in diramazioni, come quello che caratterizza il CAFS, la possibilità che avvengano rotture multiple pone una serie di limitazioni all'applicazione di modelli che associano un evento sismico all'attivazione di un singolo segmento di faglia. Le valutazioni della magnitudo derivate da analisi paleosismologiche possono pertanto risultare sottostimate rispetto all'energia sismica totale rilasciata da un terremoto che determina la rottura di più di una discontinuità.

Dimensioni di un terremoto

Nell'ambito del CAFS, analisi regressive e relazioni scalari tra magnitudo e rigetto di una faglia (WELLS & COPPERSMITH, 1994) devono includere, oltre alle componenti verticali del rigetto, anche quelle orizzontali.

Le tecniche di segmentazione di una struttura simogenetica sono principalmente basate sulla possibilità di riconoscere, per una data faglia, settori con caratteristiche storiche, geometriche, strutturali e reologiche diverse (SCHWARTZ & SIBSON, 1989). Modelli di rottura a singolo segmento (*single segment rupture models*) sono largamente usati nell'analisi della pericolosità sismica (SLEMMONS, 1995, e bibliografia citata). SLEMMONS (1995) però, ha evidenziato che, nella fascia sismica intramontana del Basin and Range (USA), circa il 90% dei terremoti con $M_s > 6.3$ generano rotture al suolo in risposta all'attivazione di più segmenti di faglie normali (da 2 a 5 segmenti) (DE POLO *et alii*, 1991). Inoltre, la fagliazione superficiale associata al terremoto di Landers del 28 Giugno 1992 ($M_s = 7.6$), nella California orientale (NUR *et alii*, 1993), attivò diversi segmenti di faglia tutti mostranti un carattere trascorrente destro. Questi includono sei segmenti pre-esistenti (già caratterizzati come faglie capaci) ed una faglia neofornata (SIEH *et alii*, 1993). L'insieme di questi dati, e quelli relativi al CAFS, suggeriscono quindi che i modelli di rottura a singolo segmento devono essere usati con cautela nell'analisi della pericolosità sismica. I criteri adottati per caratterizzare i segmenti di faglia attivi devono pertanto essere accuratamente scelti, per ogni area, con riguardo ai differenti scenari presenti all'interno di una zona sismogenetica. E' chiaro perciò che il concetto di segmentazione può essere applicato solo raramente ad una singola faglia. Più in generale esso va riferito ad ampie zone del sistema di strutture attive che caratterizzano una data regione e quindi va applicato a volumi (o, in prima approssimazione, ad aree) e non a strutture lineari. In questo senso, sarebbe forse auspicabile, in futuro, sostituire il termine segmentazione (*segmentation*) con frammentazione (*fragmentation*).

A seguito di quanto sopra esposto, è quindi evidente che il criterio di segmentazione da usare in una data area, deve puntare alla ricognizione, definizione e valutazione di associazioni strutturali congruenti (o *sets* di faglie) costituenti "segmenti compositi" delle principali strutture sismogenetiche. In particolare in un sistema trascorrente, a causa dell'elevata efficienza del processo di fagliamento, la segmentazione areale (frammentazione) può risultare dallo sviluppo di numerosi *sets* di faglie. Le cinematiche predominanti di un *set* di faglie e la ripartizione della deformazione tra più di una discontinuità, dovranno pertanto essere analizzate in connessione con l'attività dell'intera struttura sismogenetica. Esempi di segmentazione areale nello scenario trascorrente del settore umbro-marchigiano-abruzzese dell'Appennino centrale, sono riportati in Fig. 17. Essi includono tre diversi *sets* di faglie che rappresentano "segmenti compositi" dell'intero sistema. In accordo con il nostro criterio di segmentazione areale (frammentazione), ogni incremento di movimento lungo una singola faglia di un dato *set* sarà distribuito/ripartito su diverse faglie minori all'interno dello stesso *set*.

In conclusione, i nostri risultati sembrano indicare che l'apparente complessità del *pattern* di faglie tardo quaternarie che interessano le zone assiali dell'Appennino centrale, può paradossalmente essere usata come chiave di lettura per comprendere la tettonica recente ed attiva dell'area e, allo stesso tempo, per fornire nuovi vincoli e stimolanti prospettive anche per la valutazione della pericolosità sismica della penisola italiana.

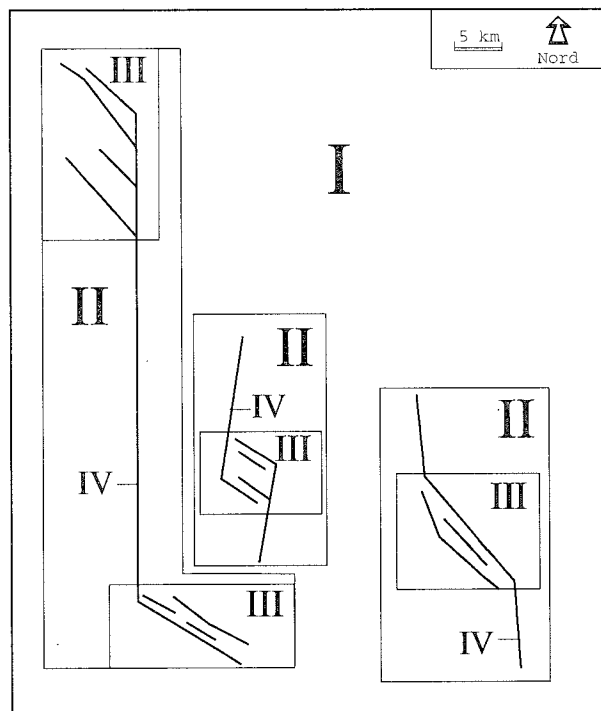


Fig. 17 - Gerarchia delle strutture del CAFS e schema di segmentazione areale (rango strutturale decrescente da I a IV). I: sistema di faglie; II: set di faglie; III: popolazione (*array*) di faglie mostranti caratteristiche cinematiche simili (per esempio, normali); IV: faglia e/o zona di faglia.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia G. DEIANA per le proficue discussioni e per la revisione critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- AYDIN A. & NUR A. (1982) - *Evolution of pull-apart basins and their scale independence*. *Tectonics*, **1**, 91-105.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C. & GHELARDONI R. (1988) - *Balanced sections and seismic reflection profiles across the central Apennines*. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **35**, 257-310.
- BECK M.E. JR. (1980) - *Paleomagnetic record of plate-tectonic processes along the western edge of north America*. *J. Geophys. Res.*, **95**, 4481-4499.
- BIGI S., CAPOTORTI F., CENTAMORE E. & FUMANTI F. (1995) - *Caratteri geologico-strutturali dell'area compresa tra Tornimparte ed i Monti d'Ocre (Appennino centrale)*. *Studi Geol. Camerti*, Vol. spec., in press.
- BLUMETTI A.M. (1991) - *Evoluzione geomorfologica, attività tettonica quaternaria e paleosismicità in alcune depressioni dell'Appennino centrale*. Tesi di Dottorato, Università di Camerino, 190 pp.
- BLUMETTI A.M. & DRAMIS F. (1992) - *Il Pleistocene inferiore nell'area nursina*. *Studi Geol. Camerti*, Vol. spec., 55-64.
- BLUMETTI A.M. (1995) - *Neotectonic investigation and evidence of paleosismicity in the epicentral area of the January-February 1703, central Italy, earthquake*. In *Perspectives in paleoseismology*, Ass. of Engineering Geologists Spec. Publ., vol. 6, edited by L. Serva and D.B. Slemmons, pp. 83-100.
- BOCCALETTI M., CALAMITA F., DEIANA G., GELATI R., MASSARI F., MORATTI G. & RICCI LUCCHI F. (1990a) - *Migrating foredeep-thrust belt system in the northern Apennines and Southern Alps*. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **77**, 3-14.
- BOSCHI E., PANTOSTI D. & VALENSISE G. (1994) - *Identificazione geologica delle faglie sismogenetiche*. *Le Scienze*, **310**, 36-46.
- BROZZETTI F. & LAVECCHIA G. (1994) - *Seismicity and related extensional stress field: the case of the Norcia Seismic Zone (Central Italy)*. *Ann. Tectonicae*, **8**, 36-57.

- CALAMITA F. & DEIANA G. (1987) - *The arcuate shape of the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Tectonophysics, 146, 139-147.
- CALAMITA F., CELLO G., DEIANA G. & PALTRINIERI W. (1994a) - *Structural styles, chronology rates of deformation, and time-space relationships in the Umbria-Marche thrust system (Central Apennines, Italy)*. Tectonics, 13, 873-881.
- CALAMITA F., COLTORTI M., FARABOLLINI P. & PIZZI A. (1994b) - *Le faglie normali quaternarie nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana. Proposta di un modello di tettonica d'inversione*. Studi Geol. Camerti, Vol. spec., 211-225.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1992) - *Tettonica quaternaria nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici*. Studi Geol. Camerti, Vol. spec., 17-25.
- CELLO G., GUERRA I., TORTORICI L., TURCO E. & SCARPA R. (1982) - *Geometry of the neotectonic stress field in southern Italy: geological and seismological evidence*. J. Struct. Geol., 4, 385-393.
- CELLO G., TURCO E. & ZUPPETTA A. (1995) - *Cinematica del settore centrale del Mediterraneo ed implicazioni sulla strutturazione dell'Arco Calabro*, in Cinquanta anni di attività didattica e scientifica del Prof. FELICE IPPOLITO. Edited by G. Bonardi, B. de Vivo, P. Gasparini & Vallario A., pp. 293-301, Liguori Editore, Napoli.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A. & PIERRUCCINI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., 8, 237-263.
- CENTAMORE E. & DEIANA G. (Eds.) (1986) - *Geologia delle Marche*, Studi Geol. Camerti, Vol. speciale, pp. 145.
- DEMAREST H.H. JR. (1983) - *Error analysis for the determination of tectonic rotation from paleomagnetic data*. J. Geophys. Res., 88, 4321-4328.
- DE POLO C.M., CLARK D.G., SLEMMONS D.B. & A.R. RAMELLI (1991) - *Historical surface faulting in the Basin and Range province, western North America: implications for fault segmentation*. J. Struct. Geol., 13, 123-136.
- FAVALI P., GIOVANI L., SPADEA M.C. & VECCHI M. (1980) - *Indagine macrosismica sul terremoto di Norcia del 19.09.1979*, in Intervento a seguito del terremoto di Norcia del 1979. C.N.R. Progetto Finalizzato Geodinamica, Convegno Maggio.
- GALADINI F., GALLI P., GIRAUDI C. & MOLIN D. (1995) - *Il terremoto del 1915 e la sismicità della Piana del Fucino (Italia centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., 115, in press.
- GALADINI F. & GIRAUDI C. (1989) - *La zona di Ovindoli-Piano di Pezza, in Elementi di tettonica pliocenico-quaternaria ed indizi di sismicità olocenica nell'Appennino laziale-abruzzese*. Guida all'escursione, pp. 83-88, Soc. Geol. It., CNR-ENEA, Roma.
- GASPARINI C., IANNACCONE G. & SCARPA R. (1985) - *Fault-plane solutions and seismicity of the Italian peninsula*. Tectonophysics, 117, 59-78.
- GILBERT L.E., SCHOLZ C.H. & BEAVAN J. (1994) - *Strain localization along the San andreas fault: Consequences for loading mechanisms*. J. Geophys. Res., 99, 23, 975-23, 984.
- HANCOCK P.L. & BARCA A.A. (1987) - *Kinematic indicators on active normal faults in western Turkey*. J. Struct. Geol., 9, 573-584.
- IAEA SAFETY GUIDE (1991) - *Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting, Safety Series, 50-SG-S1 (Rev. 1)*. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- MATTEI M., FUNICIELLO R. & KISSEL C. (1995) - *Paleomagnetic and structural evidence for Neogene block rotations in the Central Apennines, Italy*. J. Geoph. Res., 100, 863-883.
- MICHETTI A.M., BRUNAMONTE F., SERVA L. & WITNEY R.A. (1995) - *Seismic hazard assessment from paleoseismological evidence in the Rieti region (central Italy)*. In Perspectives in paleoseismology, Ass. of Engineering Geologists Spec. Publ., vol. 6, edited by L. Serva & D.B. Slemmons, pp. 63-82.
- MUIR WOOD R. & MALLARD D.J. (1992) - *When is a fault "extinct"?* J. Geol. Soc. Lond., 149, 251-255.
- NUR A., RON H. & BEROZA G.C. (1993) - *The Nature of the Landers-Mojave Earthquake Line*. Science, 261, 201-203.
- PANTOSTI D., SCHWARTZ D.P. & VALENSISE G. (1993) - *Paleoseismology along the 1980 surface rupture of the Irpinia Fault: implications for earthquake recurrence in the southern Apennines, Italy*. J. Geoph. Res., 98, 6561-6577.
- PELTZER G., TAPPONIER P. & ARMJO R. (1989) - *Magnitude of late Quaternary left-lateral displacements along the north edge of Tibet*. Science, 246, 1285-1298.
- PIZZI A. (1992) - *Faglie recenti ed attive e origine delle depressioni tettoniche. Esempi dall'Appennino umbro-marchigiano*. Tesi di Dottorato, Università degli studi della Calabria.
- POSTPISTCHL D. (Ed.) (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. 239 pp., Quaderni de "La ricerca scientifica", vol. 114b, C.N.R., Roma.
- RAMELLI A.R. & SLEMMONS D.B. (1990) - *Implications of the Meers fault on seismic potential in the central United States*. In Geol. Soc. Am. Reviews in Engineering Geology, vol. 8, edited by E.L. Krinitzsky & D.B. Slemmons, pp. 59-75.
- REICHENBACH P., ACEVEDO W., MARK R.K. & PIKE R.J. (1992) - *Landforms of Italy*. Spec. proj. AVI; CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nell'Italia centrale, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche & U.S. Geol. Surv., Menlo Park, California.
- RON H., CELLO G., CALAMITA F. & DEIANA G. - submitted. *Paleomagnetic Study of the Umbria-Marche Thrust System (central Italy): implications for rotation episodes in Apennine tectonics*.
- SAGE L., MOSCONI A., MORETTI I., RIVA E. & ROURE F. (1991) - *Cross section balancing in the central Apennines: an application of LOCACE*. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., 75, 832-844.
- SCHWARTZ D.P. & SIBSON R.H. (1989) - *Fault segmentation and controls of rupture initiation and termination*. U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 89-315.
- SIBSON R.H. (1977) - *Fault rocks and fault mechanisms*. J. Geol. Soc. Lond., 133, 191-213.
- SIEH K. AND 19 OTHERS (1993) - *Near-field investigations of the Landers Earthquake Sequence, April to July 1992*. Science, 260, 171-176.
- SLEMMONS D.B. (1995) - *Complications in making paleoseismic evaluations in the Basin and Range Province, Western United States*. In Perspectives in paleoseismology, Ass. of Engineering Geologists Spec. Publ., vol. 6, edited by L. Serva & D.B. Slemmons, pp. 19-33.
- TORTORICI L., MONACO C., TANSI C. & COCINA O. (1995) - *Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy)*. Tectonophysics, 243, 37-55.
- TRIFONOV V.G. & MACHETTE M.N. (1993) - *The World Map of Major Active Faults Project*. Annali di Geofisica, 36, 225-235.
- TRIFONOV V.G. (1995) - *World map of active faults (preliminary results of studies)*. Quaternary International, 25, 3-12.
- VITTORI E. (1993) - *Project of map and database of active faults in Italy: methodological approach, in Proceedings of the Scientific meeting on the seismic protection*. pp. 119-130, Regione Veneto, Venice.
- WARD S.N. & VALENSISE G. (1989) - *Fault parameters and slip distribution of the 1915, Avezzano, Italy earthquake derived from geodetic observations*. Bull. Seismol. Soc. Am., 79, 690-710.
- WELLS D.L. & COPPERSMITH K.J. (1994) - *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement*. Bull. Seismol. Soc. Am., 84, 974-1002.
- WESTAWAY R. (1992) - *Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: Tectonic implications*. J. Geoph. Res., 97, 15, 437-15, 464.