

**L'ANALISI GEOLOGICA FINALIZZATA ALLA VALUTAZIONE
DELLA PERICOLOSITA' SISMICA: L'ESEMPIO DEL BACINO DI COLFIORITO,
AREA EPICENTRALE DEL TERREMOTO DEL 26 SETTEMBRE 1997**

INDICE

RIASSUNTO	pag. 317
ABSTRACT	" 317
INTRODUZIONE	" 317
LA ZONA DI COLFIORITO: ASSETTO GEOLOGICO E FAGLIE QUATERNARIE	" 319
SEGMENTAZIONE AREALE DELLA ZONA DI COLFIORITO	" 322
DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI SUL TERRENO A SEGUITO DELLA CRISI SISMICA DEL 26 SETTEMBRE 1997	" 322
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	" 325
BIBLIOGRAFIA	" 327

RIASSUNTO

In questo lavoro viene proposto un modello di segmentazione, applicato alle faglie attive e finalizzato alla valutazione della pericolosità sismica. Tale modello, verificato nell'area di Colfiorito a seguito della crisi sismica umbro-marchigiana, ha come conseguenza una revisione della terminologia utilizzata per lo studio delle faglie attive e necessita di una specifica procedura dell'analisi geologica.

I terremoti avvenuti negli ultimi decenni in Appennino centrale hanno mostrato che durante un singolo evento sismico si attivano in superficie più faglie. Il modello di segmentazione proposto è basato sul fatto che le faglie che si attivano in superficie durante un singolo evento sismico siano, nel loro insieme, l'espressione superficiale di un'unica struttura sismogenetica profonda. Tale modello si basa quindi sulla possibilità di riconoscere in superficie e per una data area, caratteristiche geologico-strutturali, morfostrutturali, storiche, geometriche e reologiche simili. La segmentazione viene applicata, quindi, ad un'area invece che ad un singolo segmento di faglia. Successivamente, sulla base delle caratteristiche specifiche dell'area individuata, è possibile valutare la geometria, la cinematica, lo *slip-rate* e le dimensioni della struttura sismogenetica profonda e quindi tutti quei parametri necessari alla valutazione del potenziale sismico.

ABSTRACT

This study puts forward a segmentation model, applied to active faults and aiming at assessing seismic hazard. This model, whose reliability had already been ascertained during the 1997 Umbria-Marche earthquake, consequently implies a review of the key terms used in the analysis of active faults and points out the need for a specific procedure in geological analy-

sis. The earthquake events occurring in the central and southern Apennines in the past decades have shown that several surface faults are activated throughout a single seismic event.

The segmentation model proposed herein is based on the fact that surface faults activating during a single seismic event are, on the whole, the superficial manifestation of a single deep seismogenic structure. Therefore, this model is based on the possibility to recognize similar geological-structural, morpho-structural, historical, geometrical and rheological features on the surface of a given area. Segmentation is thus applied to an area instead of a single fault segment. Eventually, on the grounds of the specific features of the detected area, we may assess the geometry, kinematics, slip-rate and size of the deep seismogenic structure, i. e., all the required parameters to evaluate the seismic potential.

PAROLE CHIAVE: Segmentazione, Faglia capace, Struttura sismogenetica, Bacino di Colfiorito.

KEY WORDS: Segmentation, Capable fault, Seismogenic structure, Colfiorito basin.

INTRODUZIONE

I terremoti avvenuti in Appennino centrale negli ultimi decenni (Norcia, 1979; Colfiorito 1997) ed anche lo studio dei terremoti storici ben documentati (Norcia-L'Aquila 1703; Fucino 1915; Fig. 1a e 1b) hanno mostrato che durante un evento sismico, in superficie, si generano e/o riattivano più faglie. La formazione di rotture multiple durante un evento sismico è stato ben documentato durante il terremoto umbro-marchigiano del 1997 (CELLO *et alii*, 1998b) in occasione del quale fenomeni di riattivazione sono stati rilevati lungo tre differenti faglie classificate attive da CELLO *et al.*, 1997. Documentazioni storiche e dati paleosismici (BLUMETTI, 1995; CELLO *et al.*, 1998a) dimostrano che durante il terremoto del 14 gennaio 1703 ($I_{max} = XI^{\circ}$ MCS) si siano verificati fratture e dislocazioni al suolo lungo almeno quattro faglie attive. Analisi paleosismiche di dettaglio mostrano che a seguito del terremoto del Fucino del 1915 ($I_{max} = XI^{\circ}$ MCS) si siano riattivate almeno quattro faglie (MICHETTI *et alii*, 1996; GALADINI *et alii*, 1997). Le faglie attivate, in superficie, durante i terremoti sopra citati, sono faglie preesistenti che hanno agito contemporaneamente negli ultimi centinaia di migliaia di anni ed hanno determinato l'evoluzione morfostrutturale tardo-quadernaria dei bacini intramontani dell'Appennino centrale.

L'attivazione di più faglie durante un evento sismico ha, necessariamente, delle conseguenze nell'applica-

*Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Camerino.

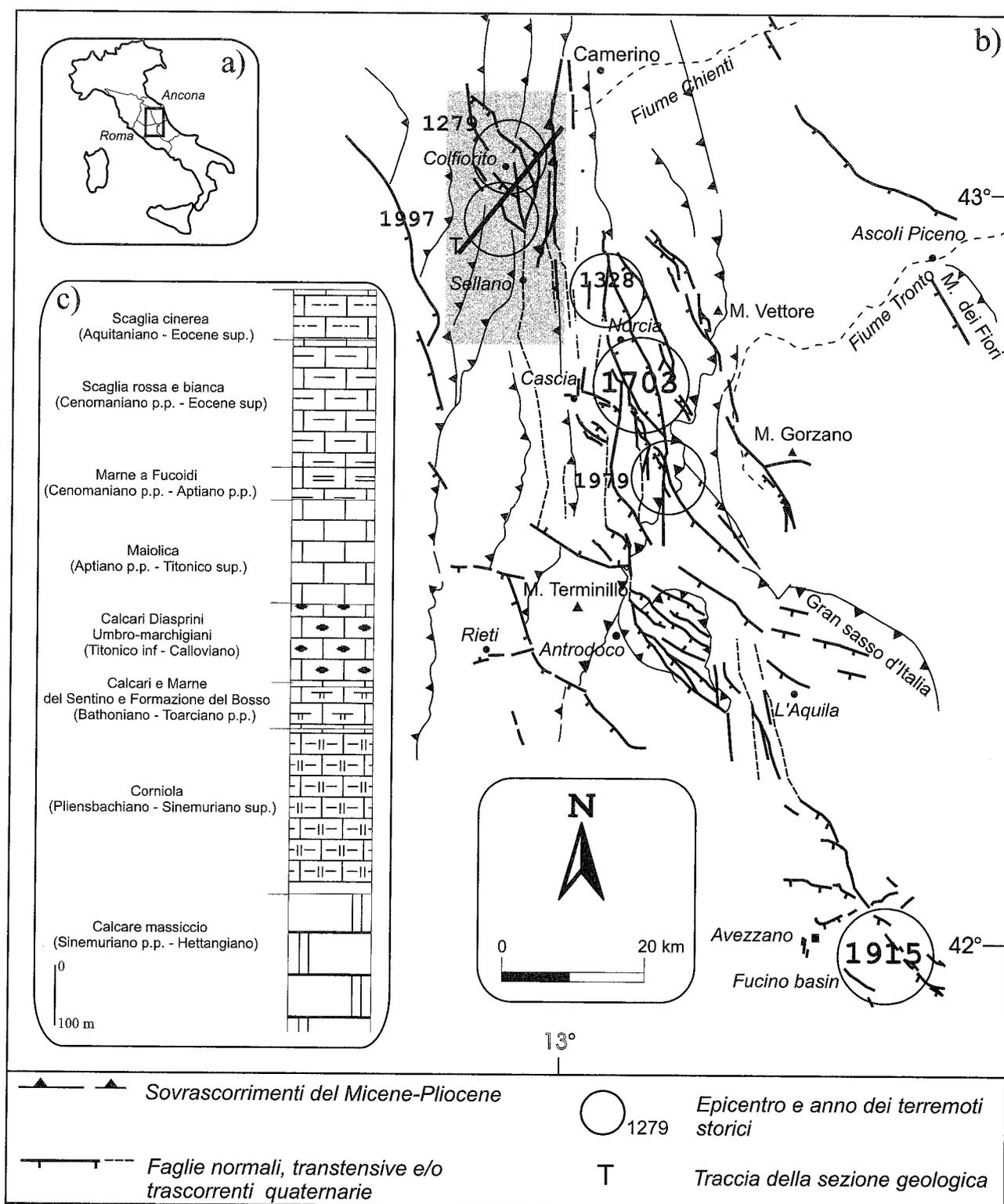


Fig. 1 - a) Ubicazione dell'area; b) Schema strutturale dell'Appennino centrale; c) Sezione stratigrafica schematica di parte della Successione umbro-marchigiana.

zione di quelle metodologie mirate alla valutazione della pericolosità sismica di un'area e basate generalmente su modelli di rottura a singolo segmento (sensu MACHETTE *et alii*, 1991; DEPOLO *et alii*, 1991).

Durante un terremoto è stato verificato (analisi geodetiche, interferometria radar) che la superficie topografica si deforma in maniera permanente anche quando la fagliazione superficiale non risulta estremamente evidente (Stramondo *et alii*, submitted). E' stato dimostrato, inoltre,

che la deformazione è strettamente dipendente dalla geometria, cinematica e dalle dimensioni della struttura generatrice del sisma (Chinnery, 1961). Tale deformazione generalmente rappresentata da una curva, è verosimilmente (salvo nei rari casi di faglia sismogenetica cieca) una linea spezzata e la deformazione è concentrata in corrispondenza della formazione e/o riattivazione delle faglie.

Il modello di segmentazione qui proposto si basa sulla possibilità di riconoscere in superficie e per una

data area, caratteristiche geologico-strutturali, morfo-strutturali, storiche, geometriche e reologiche simili: somma degli effetti dovuti al ripetersi di più terremoti. La segmentazione viene pertanto applicata ad un'area invece che ad un singolo segmento di faglia. Successivamente, sulla base delle caratteristiche specifiche dell'area individuata, è possibile valutare la geometria, la cinematica, lo *slip-rate* e le dimensioni della struttura sismogenetica profonda e quindi tutti quei parametri necessari alla valutazione del potenziale sismico.

Nel presente lavoro, l'analisi geologico-strutturale, finalizzata alla valutazione della pericolosità sismica e la segmentazione areale, viene applicata al bacino di Colfiorito, depressione tettonica quaternaria e area epicentrale della recente crisi sismica umbro-marchigiana. Vengono descritti, inoltre, gli effetti di superficie dei due maggiori eventi sismici del 26 settembre 1997. La zona sismica di Colfiorito rappresenta, infatti, un'interessante area di studio in quanto è possibile fare il confronto, tra i risultati ottenuti dall'analisi geologica ai fini della pericolosità sismica (CELLO *et alii*, 1997; TONDI *et alii*, 1997) e i dati sia geologici che sismologici ottenuti a seguito della crisi sismica umbro-marchigiana del 1997 (CELLO *et alii*, 1998; AMATO *et alii*, 1998).

LA ZONA DI COLFIORITO: ASSETTO GEOLOGICO E FAGLIE QUATERNARIE

L'area di Colfiorito ricade nella porzione centrale della dorsale appenninica umbro-marchigiana, a cavallo delle province di Perugia e Macerata. Qui affiorano le unità della copertura sedimentaria umbro-marchigiana (Fig. 1c), dal Calcare massiccio (Lias inferiore) alla Scaglia cinerea (Oligocene-Aquitano) il cui stile deformativo - conseguenza delle compressioni neogene - è dato da pieghe e sovrascorrimenti a vergenza orientale. Il locale assetto geometrico è dominato da 3 maggiori anticlinali ad andamento da NS a NNW-SSE (anticlinali di M. d'Acciano-M. d'Annifo, M. Pennino-M. Orve, M. Tolagna-M. le Scalette) accavallate verso NE su altrettanti piani di sovrascorrimento (Fig. 2).

Dal punto di vista morfostrutturale, l'area è caratterizzata dalla presenza di dorsali e depressioni tettoniche. Queste ultime, originatesi in risposta all'attivazione di un sistema di faglie quaternarie (CENTAMORE *et alii*, 1978; CALAMITA & PIZZI, 1992; CELLO *et alii*, 1997) che ne hanno controllato la geometria e l'evoluzione, sono riempite da depositi continentali di origine fluvio-lacustre e di età tardo Pleistocene inferiore-Olocene (FICCARRELLI & SILVESTRINI, 1991).

I caratteri geometrici e cinematici dei segmenti di faglia appartenenti al sistema di Colfiorito possono essere così riassunti (Fig. 2):

- le faglie con direzione media N140°-160°, immergenti a WSW, sono caratterizzate da un movimento diretto a transtensivo sinistro;
- le faglie ad andamento Nord-Sud, subverticali, mostrano movimenti prevalentemente trascorrenti sinistri;
- le faglie subverticali con direzione media N70°-90°, sono subordinate per frequenza e dislocamento e sono caratterizzate da un movimento prevalentemente normale e/o transtensivo destro.

A scala cartografica, nell'area di Colfiorito si individuano due zone di deformazione che, in alcuni tratti, corrispondono a faglie singole, mentre in altri corrispondono ad associazioni di faglie.

La prima zona di deformazione si sviluppa, con direzione NNW-SSE e per una lunghezza di circa 20 km, da Bagnara fino a Castel d'Elce (Fig. 2). Ad essa appartengono i seguenti segmenti di faglie:

- *Bagnara - Colle Croce*: questo segmento ha un andamento Nord-Sud fino a Colle Croce e prosegue poi verso meridione, con un andamento NNW-SSE, sino a M. Orve, dove si rinvengono alcune scarpate nei depositi fluvio-lacustri quaternari. L'allineamento risulta ben visibile da immagini da satellite e foto aeree. Poco a Sud di Bagnara, in corrispondenza del *thrust* basale della struttura di M. d'Acciano, la presenza di un nuovo *fabric*, costituito da piani di taglio subverticali ad andamento NNW-SSE e da calcite fibrosa, indica un movimento trascorrente sinistro. A Sud di Colle Croce, sempre nella Scaglia cinerea, è possibile inoltre osservare una scarpata di faglia ad andamento NNW-SSE.

- *Annifo - Palude di Colfiorito*: questo segmento è situato poco ad Ovest della faglia di Bagnara - Colle Croce, ha un andamento NW-SE ed immersione verso SW. Nel tratto centrale la faglia borda la Palude di Colfiorito ed è evidenziata da piani in *bedrock* esposti in diversi affioramenti: nella Scaglia rossa subito ad Ovest di Colfiorito, i piani hanno direzione circa N-S con strie e gradini di calcite che evidenziano un senso di movimento trascorrente sinistro; nel tratto meridionale, una *set* di piani subverticali a direzione N150°, che disloca una faglia pre-esistente ad andamento NE - SW, mostra strie con *pitch* di 30°SW e gradini di calcite indicanti un senso sinistro del movimento. In questo stesso tratto, un lembo di paleosuperficie dislocato fornisce indicazioni circa l'attività recente della faglia in parola.

- *Arvello*: in località Arvello, sono esposti due segmenti di faglia in *bedrock* orientati NNW-SSE. Le strie mostrano un *pitch* di 75°S; il movimento è quindi essenzialmente di *dip-slip*. Ad Ovest di Forcatura, un piano di faglia minore a direzione NNE-SSW ed immersione a W di 65°, (caratterizzato da un movimento trascorrente sinistro), disloca una preesistente zona di taglio transpressiva destra ad andamento N-S. L'analisi di immagini tele-rilevate suggerisce una probabile prosecuzione della faglia verso Sud, lungo il bordo occidentale della Palude di Colfiorito.

- *Ricciano*: questo segmento di faglia (non caratterizzabile dal punto di vista cinematico) ha un andamento NNW-SSE per una lunghezza di circa 2,3 km. Esso è visibile sia da immagini da satellite che da foto aeree.

- *Popola - Castel d'Elce*: affiorante solo per brevi tratti (ad Ovest di Fraia, di Popola e a Torre di Percanestro), questo segmento ha un generale andamento NW-SE per 8 km circa. La faglia inizia a Nord nei pressi di Fraia e termina verso Sud nella Valle di Percanestro. Quest'ultimo tratto è ben visibile dall'immagine da satellite. Piani di faglia subordinati affiorano ad Ovest di Fraia con direzione N160° ed inclinazione 60° - 70°NE; su di essi si osservano due classi di strie: una con *pitch* di 20°S e l'altra con *pitch* di 55°N. Il senso del movimento è indeterminabile per la prima mentre la seconda mostra un carattere transtensivo sinistro. Un

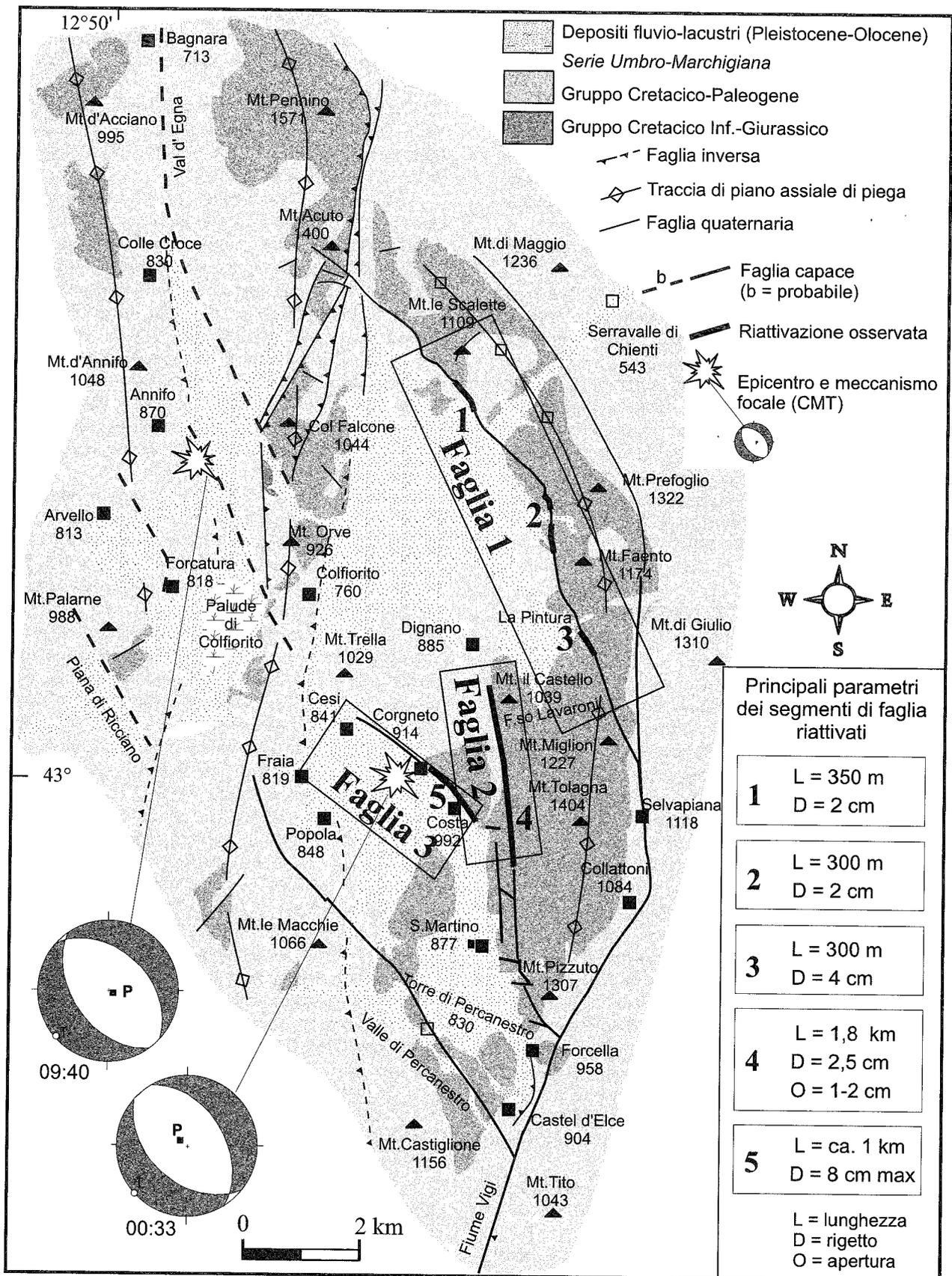


Fig. 2 - Assetto geologico-strutturale dell'area di Colfiorito. Sono evidenziate le strutture che hanno mostrato fenomeni di riattivazione durante gli eventi del 26 settembre 1997.

altro piano in *bedrock*, affiorante ad Ovest di Popola con direzione N150° ed immersione verso NE di 60° ha strie con *pitch* di 30°S indicativo di un movimento obliquo

sinistro. Nel detrito di falda lungo il versante nordorientale di Torre di Percanestro si osservano piani di faglia decimetrici orientati NNW - SSE ed immergenti verso

NE; faglie mesoscopiche sub-parallele alle primé si hanno nel *bed-rock* rappresentato dalla Maiolica.

La seconda zona di deformazione che interessa l'area di Colfiorito si sviluppa a partire da M. Acuto e prosegue in direzione NNW-SSE fino a Nord del M. Tolagna (Fig. 2); essa continua poi in direzione Nord-Sud fino a Collattoni e con andamento NNE-SSW. La sua lunghezza complessiva è di 20 km circa. Vi appartengono le tre seguenti faglie principali:

- la faglia bordiera della depressione tettonica di Colfiorito: si sviluppa con un andamento NNW-SSE nel tratto settentrionale, con un trend circa Nord-Sud nel tratto M. Faento-Collattoni e in direzione NE-SW fra Collattoni e Castel d'Elce. Il piano di faglia esposto in *bedrock* è subverticale nei tratti ad andamento Nord-Sud ed immerge verso WSW nei tratti a direzione NNW-SSE.

- La faglia Dignano - Forcella: situata più ad Ovest della precedente è costituita da segmenti ad andamento variabile da NNW-SSE a Nord-Sud per una lunghezza totale di 7 km circa.

- La faglia Cesi - Costa; ubicata ancora ad W, ha una direzione NW-SE.

Ben visibile da immagini da satellite e foto aeree, la faglia bordiera della depressione tettonica di Colfiorito può essere suddivisa in tre tratti principali:

- il tratto M. Acuto - M. Miglioni,
- il tratto M. Miglioni - Collattoni
- il tratto Collattoni - Torrente Vigi.

- Tratto M. Acuto - M. Miglioni; Questo tratto di faglia, che ribassa il fianco occidentale dell'anticlinale M. Le Scalette - M. Prefoglio - M. Faento, è ben osservabile a Sud del M. Acuto dove presenta direzione N120°-125° ed immersione verso Ovest di circa 60°. La faglia prosegue lungo il versante sudoccidentale di M. le Scalette e quello di M. Prefoglio con direzione N130°-150°.

Lungo il versante Ovest di M. Faento la stessa struttura assume direzione N160°-N180° con immersione pressoché costante verso SW e con inclinazioni che variano da 70° a 80°. Il rigetto stratigrafico, massimo nella porzione centrale dove la faglia borda il Piano di Colfiorito, è stimato intorno ai 150-200 m (Fig. 3) e si riduce progressivamente nei tratti iniziali e finali. In corrispondenza della valle del Chienti l'attività recente di questo tratto è evidenziata dalla presenza di una soglia morfologica che impedisce il deflusso naturale delle acque verso NE. All'altezza di M. Acuto la faglia disloca il *thrust* del M. Pennino con un rigetto di 50 m circa. Laddove affiorano gli specchi di faglia in *bedrock*, questi si presentano levigati ed associati a roccia cataclastica e le strie e le *comb fractures* presenti indicano un movimento trasversivo sinistro.

- Tratto M. Miglioni - Collattoni; Questo tratto di faglia ha direzione circa Nord-Sud. Nella Maiolica, alla base del M. Miglioni, è possibile osservare una zona di taglio fragile-duttile caratterizzata da piani di taglio e clivaggio di dissoluzione per pressione. I piani di taglio, subverticali (70°-80°W), hanno direzione circa N-S, mentre il clivaggio ha direzione NNE-SSW ed inclinazione di 60°-70° verso W. Le strie presenti sui piani di taglio mostrano un movimento trascorrente sinistro.

- Tratto Collattoni - Torrente Vigi; Il segmento della

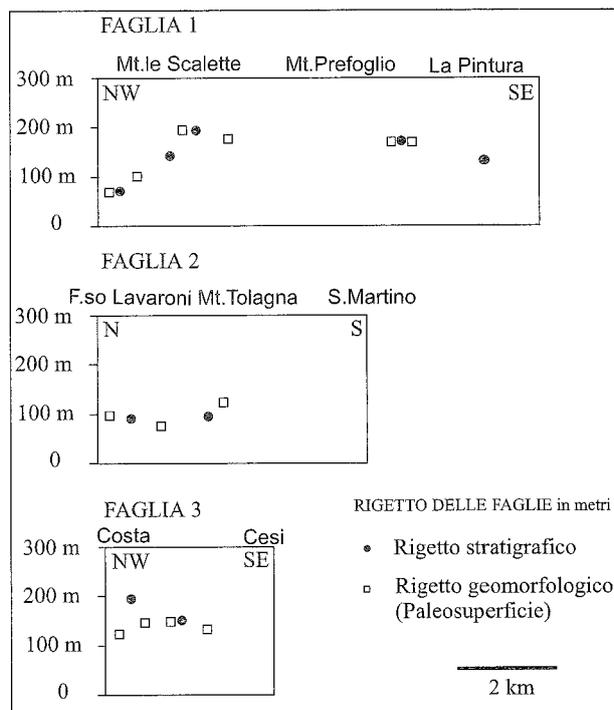


Fig. 3 - Rappresentazione lungo la direzione del rigetto stratigrafico e geomorfologico delle strutture principali dell'area.

faglia bordiera che va da Collattoni a Forcella è caratterizzato da una zona di taglio fragile-duttile a direzione N20°, la cui geometria è compatibile con una direzione di massima compressione orientata circa NW-SE. In località Collattoni, inoltre, la faglia taglia pre-esistenti tettoniti (orientate circa N-S e associate verosimilmente alla compressione neogenica) generando così strutture d'interferenza tra quest'ultima e le superfici di clivaggio a direzione NNE-SSW associate alla faglia bordiera recente. Faglie normali centimetriche a direzione N140° ed immergenti a NE di 65° sono inoltre visibili nello stesso affioramento. Più a Sud, nei pressi di Castel d'Elce, la faglia prosegue con lo stesso trend ed è caratterizzata dalla presenza di superfici di discontinuità subverticali a direzione N10°-30° contenenti strie con *pitch* di 15°-20°N. Con un trend parallelo al precedente, in località Valle di Percanestro, la faglia è ancora caratterizzata dalla presenza di un intenso clivaggio di dissoluzione per pressione a direzione N20° e con associate vene d'estensione orientate circa N150°-160°. Nella valle del Torrente Vigi, così come pure nella Valle di Percanestro, è inoltre possibile osservare una serie di piani di faglia subverticali, a direzione circa N-S, che presentano strie con *pitch* di 20°-30°S.

La faglia Dignano-Forcella, lunga 5 Km circa, è ubicata ad ovest della faglia bordiera di Colfiorito (Fig. 2) ed ha un andamento circa N-S. Piani di faglia in *bedrock* sono osservabili in località Fosso Lavaroni. Il piano principale presenta una direzione N160° ed immersione verso SW di 70°; piani minori subverticali hanno direzioni che variano tra N120° e N140°. Gli specchi di faglia, privi di asperità, presentano strie e *comb fractures* che mostrano un movimento principalmente di *dip-slip*. Il rigetto stratigrafico stimato lungo detto segmento è massimo nel tratto centrale (circa 100 m).

Lungo i versanti occidentali del M. Tolagna e del M. Pizzuto i piani di faglia affioranti hanno direzione N180° ed inclinazione di 40°-60° verso W. Il dislocamento lungo detti piani è massimo nella porzione centrale (all'altezza di Costa) dove il contatto tettonico tra le Marne a Fucoidi e la Maiolica consente di stimare un rigetto stratigrafico intorno ai 70 - 100 m (Fig. 3).

La faglia Cesi-Costa è visibile da immagine da satellite e da foto aeree, lungo tutto il versante sudoccidentale del M. Birbo. I piani di faglia in *bedrock* hanno direzione compresa tra N130° e N140° e immersione verso SW da 50° a subverticale. In località Costa la faglia mette a contatto la Scaglia rossa con la Maiolica, realizzando così un rigetto stratigrafico pari a 150-200 m (Fig. 3).

Questo segmento di faglia (ad andamento NW-SE) unitamente alla prosecuzione meridionale (a Sud di M. Tolagna) della faglia, orientata circa N-S, Fosso Lavaroni - S. Martino - Forcella, borda la depressione di S. Martino dove si hanno i massimi spessori affioranti (circa 120 m) dei depositi di riempimento del bacino del tardo Pleistocene inferiore - Olocene.

SEGMENTAZIONE AREALE DELLA ZONA DI COLFIORITO

Nell'ambito del sistema di faglie quaternarie sopra descritto e sulla base delle caratteristiche strutturali e morfometriche dei segmenti di faglia che interessano, oltre che la successione carbonatica anche i depositi fluvio-lacustri del Pleistocene inferiore finale-Olocene, CELLO *et alii*, 1997 hanno riconosciuto le faglie capaci di produrre fagliazione cosismica superficiale (Fig. 2). Individuate le faglie capaci e riconosciute in superficie, per quest'area, caratteristiche geologico-strutturali, morfostrutturali, storiche e geometriche simili, gli stessi A.A., in TONDI *et alii*, 1997, hanno proposto un modello di segmentazione basato sul fatto che tali faglie, attivandosi in superficie durante un singolo evento sismico siano, nel loro insieme, l'espressione superficiale di un'unica struttura sismogenetica profonda (Fig. 4). Sulla base delle caratteristiche specifiche dell'area individuata, è stato altresì possibile valutare la sua geometria, cinematica e dimensioni (Fig. 4).

L'aver individuato una correlazione tra faglie superficiali e struttura sismogenetica ha quindi permesso di calcolare la massima magnitudo attesa nell'area. In base ai rapporti esistenti tra superficie della faglia e l'energia liberata in un singolo evento sismico determinando la massima lunghezza della faglia sismogenetica è stato possibile calcolare il momento sismico e quindi la magnitudo massima corrispondente, sulla base delle relazioni tra momento sismico e area della faglia: $M_0 = mAdu$, (dove: A = superficie della faglia; m = modulo di rigidità = $3 \cdot 10^{11}$ dyne/cm²; du = ultimo incremento di slip sulla faglia) e tra momento sismico e magnitudo: $M_w = (\log M_0/1.5) - 10.73$ (KANAMORI, 1977, HANKS & KANAMORI, 1979).

Nell'area oggetto di questo studio, considerando una lunghezza massima di 15 km, una profondità dello strato sismogenetico di circa 12-15 km (CELLO *et alii*, 1997) e un dislocamento cosismico massimo di 0,5 m (WELLS & COPPERSMITH, 1994) si ha un momento sismico massimo $M_0 = 1,8 \cdot 10^{25}$ dyne/cm² a cui corrisponde una magnitudo massima attesa circa di $M_w = 6.0$ (TONDI *et alii*, 1997).

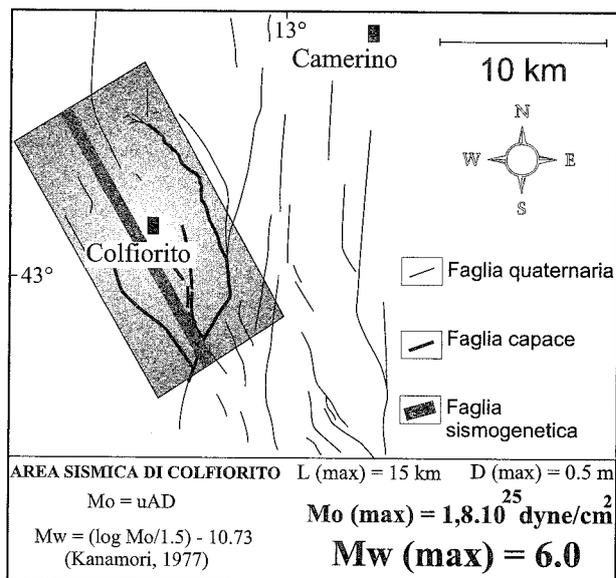


Fig. 4 - Segmentazione areale del bacino di Colfiorito e calcolo della magnitudo massima attesa.

DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI SUL TERRENO A SEGUITO DELLA CRISI SISMICA DEL 26 SETTEMBRE 1997

A seguito degli eventi sismici del 26 settembre 1997 (alle h 2:33, $M_w = 5.7$ e alle h 11:40, $M_w = 6.0$; Fig. 5) sono stati effettuati rilievi di dettaglio nell'area epicentrale di Colfiorito dove sono stati individuati movimenti cosismici (CELLO *et alii*, 1998b) lungo la seconda zona di deformazione che interessa l'area di Colfiorito e che si sviluppa da M. Acuto in direzione NNW-SSE fino a Nord del M. Tolagna (Fig. 2). Le faglie che presentano tali fenomeni sono:

- la faglia bordiera di Colfiorito; tratto M. Acuto - M. Miglioni
- la faglia Dignano Forcella, tratto Fosso Lavaroni - S. Martino - Forcella
- la faglia Cesi - Costa

Faglia bordiera di Colfiorito; tratto Monte Acuto - Monte Miglioni

- Località: Monte Le Scalette

Alla base della scarpata di faglia affiorante sul versante occidentale di M. le Scalette, si osserva una *free face* discontinua (con altezza media di 4 cm) tra il *bedrock* (Maiolica) e i detriti di versante (Fig. 6).

- Località: Monte Faento

Alla base della scarpata di faglia affiorante sul versante occidentale di M. Faento, si osserva in maniera discontinua, una *free face* (con altezza media di 4 cm) tra il *bedrock* (Maiolica) e i detriti di versante (Fig. 6).

- Località: Monte Miglioni

Lungo la strada bianca che da La Pintura va verso Selvapiana si osserva, in due punti di quota diversa, una frattura che taglia trasversalmente il versante e la strada stessa. Nell'affioramento più basso la frattura, orientata N 135, presenta un rigetto di circa 2 cm e una apertura massima di circa 3 cm. In quello più alto, essa è costituita da segmenti a direzione N-S e segmenti orientati N130, collegati tra loro, che determinano una direzione



Fig. 5 - Ore 11:40, durante la seconda scossa di terremoto ($M_w = 6.0$), in località Costa crollano le abitazioni già duramente danneggiate.

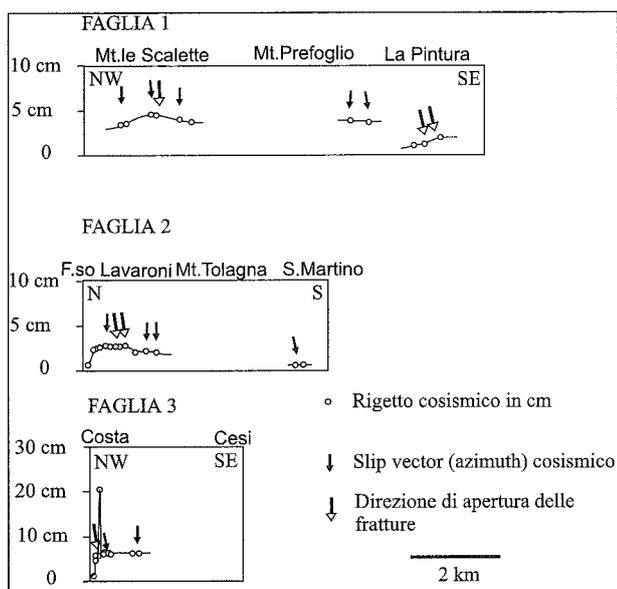


Fig. 6 - Rappresentazione lungo la direzione del rigetto cosismico avvenuto durante gli eventi del 26 settembre 1997.

media N150, sub-parallela alla faglia capace bordiera (Fig. 7). Nei tratti N130, si osservano aperture massime di circa 4 cm e rigetti di 1.5 cm, mentre i tratti N-S risultano serrati. Tali elementi suggeriscono un movimento principalmente trascorrente sinistro lungo i segmenti nord-sud e normale nei tratti orientati N 130. Dette fratture si collegano alla faglia, esposta sulla parete stradale, che mette a contatto la Maiolica (tetto) con i Calcari diasprini (letto) e che interessa anche i detriti di versante cementati del Pleistocene medio-superiore.



Fig. 7 - Frattura lungo la strada in località La Pintura. Sullo sfondo è possibile individuare un piano di faglia preesistente che interessa i depositi di versante tardo-pleistocenici.

Faglia Dignano – Forcella

- Località: Fosso Lavaroni

Lungo questo segmento, che mette a contatto la Maiolica (letto) con le Marne a Fucoidi (tetto), si rinviene, alla base della scarpata di faglia, una *free face* di 2,5 cm di altezza (Fig. 8) che nei pressi di Fosso Lavaroni è ubicata tra il substrato e il detrito di versante. Nella sua prosecuzione verso NNW la faglia perde visibilità e rigetto e si rinvengono nel bedrock (Formazione della Maiolica) alcune fratture beanti

aventi la stessa orientazione della faglia. Nella prosecuzione della faglia verso SSE, una frattura, con la stessa orientazione interessa e disloca, di circa 2-3 cm, la strada bianca che da Costa va verso Monte Tolagna e prosegue alla base della scarpata di faglia dislocando il terreno vegetale di copertura. In direzione NNE e in pros-

simità di Fosso Lavaroni, lungo la prosecuzione della faglia in oggetto è possibile seguire una frattura, con la stessa direzione della faglia, all'interno della Maiolica, per una lunghezza di circa 10 m (Fig. 9). La *free face* e le fratture lungo la faglia si seguono con continuità per una lunghezza di circa 1800 m.



Fig. 8 - *Free face* di 2,5 cm di altezza alla base della scarpata di faglia in località Tolagna.



Fig. 9 - Frattura cosismica all'interno della Maiolica cataclasata nei pressi di Fosso Lavaroni.

Faglia Cesi-Costa

- Località: Costa

Alle ore 9:30 del 26 settembre 1997 il sopralluogo effettuato nei pressi di Costa, ha permesso di rilevare lungo la strada bianca che da Costa sale verso Tolagna una frattura orientata circa N 130 in corrispondenza dell'intersezione della strada con la faglia di Costa. Inoltre è stata rilevata alla base della scarpata di faglia una free face di circa 7 cm di altezza (Fig.10). Il movimento avvenuto lungo il piano di faglia è associabile, quindi, alla scossa delle ore 02:33. La free face, rilevata in dettaglio in successivi sopralluoghi, si rinviene a contatto tra il piano di faglia in bedrock e il detrito di versante con continuità per una lunghezza di circa 100 m. Nella sua prosecuzione verso NW sono state rilevate con discontinuità fratture beanti e in località Corgneto si rinviene nuovamente la scarpata di faglia in bedrock con alla base una free face alta circa 5-6 cm. I movimenti cosismici (free face e fratture) si seguono quindi con relativa continuità lungo tutta la scarpata di faglia (da Costa a Corgneto, sul versante meridionale del Monte Birbo), per una lunghezza di circa 1000 m. Il rinvenimento di indizi cinematici (radici tagliate etc.) ha permesso di stimare la direzione dello *slip* sulla faglia. Il movimento risulta principalmente normale con una leggera componente sinistra.

- quelle ad andamento NW-SE sono normali o transtensive sinistre;

- quelle orientate circa N-S sono principalmente trascorrenti sinistre;

c) l'evoluzione delle scarpate di faglia visibili nell'area di Colfiorito è avvenuta per successivi incrementi di movimento cosismico; alcune di queste faglie sono state quindi ritenute capaci di dare fagliazione superficiale.

d) il sistema di faglie di Colfiorito rappresenta l'espressione superficiale di una struttura sismogenetica profonda (TONDI *et alii*, 1997) ubicata alla terminazione settentrionale della struttura più occidentale del CAFS (*Central Apennines Fault System*; CELLO *et alii*, 1997). Il collegamento tra la struttura sismogenetica e le faglie di superficie è stato effettuato considerando che singoli incrementi del movimento in profondità sono accomodati in superficie su diverse diramazioni di faglie capaci (Fig. 11). Tenuto conto dello spessore dello strato sismogenetico (in Appennino centrale è di 12-15 Km) e che la lunghezza probabile della struttura sismogenetica è dell'ordine dei 15 Km, è stato possibile calcolare la magnitudo massima attesa ($M_w=6.0$; TONDI *et alii*, 1997).

Per l'area di Colfiorito è possibile, inoltre, fare un calcolo degli *slip-rate* delle faglie capaci superficiali e



Fig. 10 - Free face alla base della scarpata di faglia in località Costa. Foto scattata il 27 settembre 1997.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati dell'analisi geologico-strutturale eseguita nell'area del bacino di Colfiorito hanno consentito di evidenziare che:

- a) l'area è interessata da faglie che si sono generate e/o riattivate nel Quaternario, anche recente (Olocene);
- b) queste faglie presentano caratteristiche geometriche e cinematiche specifiche:

della struttura sismogenetica profonda. Sommando i rigetti stratigrafici delle faglie capaci si ottiene il rigetto totale della struttura sismogenetica profonda (Fig. 3). Considerando l'inizio dell'attività delle faglie a circa 1.000 ka (FICCARELLI & SILVESTRINI, 1991), si ottiene uno *slip-rate*, che possiamo chiamare geologico, di circa 0.3 mm/yr. Secondo i cataloghi sismici italiani (POSTPISTCHL, 1985; BOSCHI *et al*, 1995), il più forte terremoto con un'area epicentrale confrontabile con quella

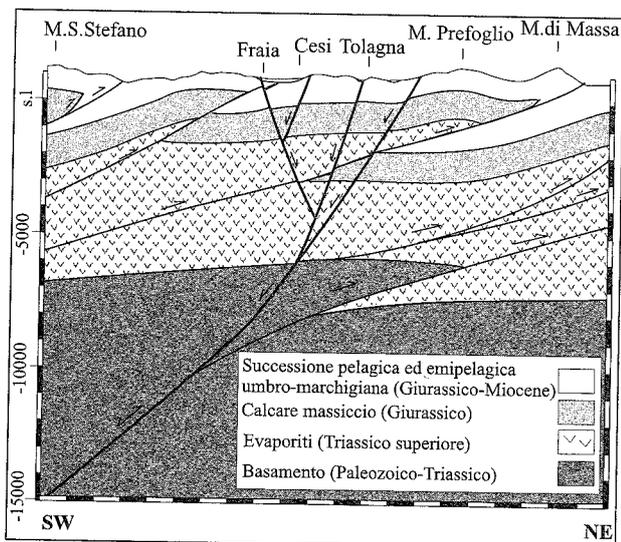


Fig. 11 - Sezione crostale attraverso l'area di Colfiorito.

del 1997, è avvenuto nel 1279 ($I = X$ MCS). Considerando tale evento simile alla sequenza sismica del 1997 e considerando quindi, uno *slip* cosismico di circa 0.5 m all'ipocentro (WELLS & COPPERSMITH, 1994), si ottiene uno *slip-rate*, che possiamo chiamare storico, di circa 0.7 mm/yr. Si ottiene quindi, un rapporto tra *slip-rate* geologico e storico circa di 1 a 3. Per la sequenza sismica del 1997, il rigetto cosismico superficiale totale è di circa 15 cm (vedi Fig. 6) che risulta essere circa 1/3 del rigetto calcolato strumentalmente all'ipocentro della struttura sismogenetica durante il *main-shock* del 26 settembre 1997 (AMATO *et alii*, 1998).

Questo dato, a nostro avviso, conferma la buona risoluzione dell'analisi geologica ai fini della pericolosità sismica poichè, il rapporto tra dislocamento all'ipocentro e in superficie che si ha durante un singolo evento sismico viene con buona approssimazione registrato dal *record* geologico, somma di numerosi eventi sismici avvenuti nell'area.

La netta distinzione che viene effettuata tra strutture superficiali e profonde, necessita una ridefinizione dei vari elementi presi in considerazione.

In letteratura è considerata attiva una faglia se originatasi e/o riattivata durante il campo di *stress* agente correntemente nell'area. Per quanto riguarda l'Appennino centrale consideriamo attive quelle faglie originatesi e/o riattivate negli ultimi 700 ka (CELLO *et alii*, 1997). Distinguiamo tra queste le strutture superficiali dalle strutture profonde. Le strutture superficiali, sulla base dei periodi di ritorno dei terremoti più forti caratteristici dell'Appennino centrale (ca 1.000, CELLO *et alii*, 1997) e considerando che l'ultima glaciazione (Wurm, 18.000 a) rappresenta per l'Appennino centrale un evento climatico riconoscibile e quindi fondamentale per la datazione delle faglie attive, ci sembra conveniente distinguere tra faglie pre-wurmiane e post-wurmiane. Queste ultime che hanno verosimilmente maggiore probabilità di riattivarsi durante futuri terremoti possiamo chiamarle faglie capaci (sensu IAEA, 1991) mentre definiamo le prime faglie potenzialmente capaci. Queste ultime, insieme alle faglie capaci, risultano estremamente utili per individuare e caratterizzare le strutture profonde

(faglie sismogenetica). In Fig. 12 vengono mostrati i diversi elementi presi in considerazione nella segmentazione areale proposta. Il metodo di segmentazione proposto si basa sul fatto che la somma degli effetti geologici dovuti ai vari terremoti generati da una stessa struttura sismogenetica individuano delle aree (aree sismiche) ben riconoscibili da una appropriata analisi geologica. Dai dati esposti, emerge che tali fenomeni sono localizzati in aree più o meno estese che dipendono dalle caratteristiche della struttura sismogenetica stessa.

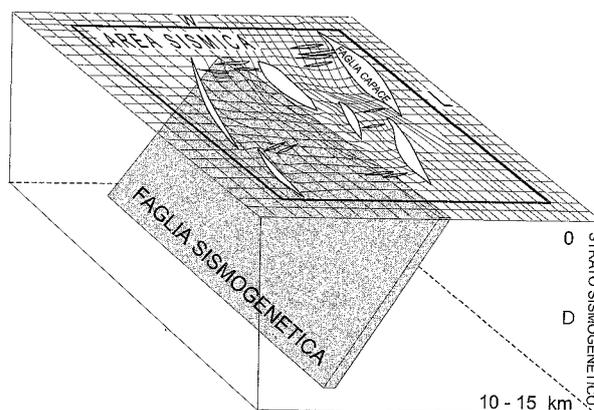


Fig. 12 - Schematizzazione di un'area sismica secondo il criterio della segmentazione areale.

Individuata una determinata area sismica è possibile valutare una lunghezza L (lungo la direzione preferenziale delle faglie capaci) ed una larghezza W (perpendicolare alla prima). Ai fini della valutazione della massima magnitudo attesa per quella determinata area è possibile utilizzare la lunghezza (L) che è direttamente correlabile con la lunghezza della struttura sismogenetica, mentre la larghezza è diretta conseguenza della pendenza della struttura profonda.

Quando viene applicato tale modello di segmentazione un'attenzione particolare va rivolta all'analisi paleosismologica. Tale metodologia diffusamente utilizzata per individuare la faglia caratteristica del terremoto, valutare il rigetto massimo, calcolare gli *slip-rate* e determinare la scansione nel tempo degli eventi sismici, deve obbligatoriamente tener conto che non necessariamente la faglia capace investigata è l'unica attivata durante l'evento sismico riconosciuto e che non necessariamente tutti gli eventi sismici generatisi in quell'area hanno sempre attivato anche quella specifica faglia capace. Una volta applicata la segmentazione areale, disponendo dell'*array* completo delle faglie capaci (espressione superficiale della struttura sismogenetica profonda) tale disciplina può essere utilizzata per l'individuazione dei paleoterremoti riconoscendo quali faglie capaci si siano attivate durante i singoli eventi sismici e per una valutazione degli *slip-rate* della faglia sismogenetica.

Per concludere, a nostro avviso, i terremoti avvenuti in Appennino centrale negli ultimi decenni ed anche lo studio dei terremoti storici ben documentati suggeriscono che i modelli di rottura a singolo segmento devono essere usati con cautela nell'analisi della pericolosità sismica e che i criteri adottati per caratterizzare i segmenti di faglia attivi devono essere accuratamente scelti, per ogni area, con riguardo ai differenti scenari presenti

all'interno delle zone sismogenetiche. E' chiaro, quindi, 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 ad aree e non a singoli segmenti di faglia.

BIBLIOGRAFIA

- AMATO A., AZZARA R., CHIARABBA C., CIMINI G.B., COCCO M., DI BONA M., MARGHERITI L., MAZZA S., MELE F., SELVAGGI G., BASILI A., BOSCHI E., COURBOULEX F., DESCHAMPS A., GAFFET S., BITTARELLI G., CHIARALUCE L., PICCININI D. & RIPEPE M. (1998) - *The 1997 Umbria-Marche, Italy, earthquake sequence: a first look at the main shocks and aftershocks*. Geophysical Research Letters, **25**, 15, 2861-2864.
- ANDERSON H. & J. JACKSON (1987) - *Active tectonics of the Adriatic region*. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, **91**, 937-983.
- BLUMETTI A.M. (1995) - *Neotectonic investigation and evidence of paleoseismicity 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.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1992) - *Tettonica quaternaria nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici*. Studi Geol. Camerti, Vol. spec., 17-25.
- CELLO G., MAZZOLI S., TONDI E. & TURCO E. (1997) - *Active tectonics in the central Apennines and possible implications for seismic hazard analysis in peninsular Italy*. Tecto., **272**, 43-68.
- CELLO G., DEIANA G., MANGANO P., MAZZOLI S., TONDI E., FERRELLI L., MASCHIO L., MICHETTI A., SERVA L. & VITTORI E. (1998) - *Evidence for surface faulting during the September 26, 1997, Colfiorito (Central Italy) earthquakes*. J of Earthquake Engineering, **2**, 1-22.
- CENTAMORE E., G. DEIANA, F. DRAMIS, A. MICARELLI, G.C. CARLONI, F. FRANCAVILLA, O. NESCI & E. MORETTI (1978) - *Dati preliminari sulla neotettonica dei Fogli 116 (Gubbio), 123 (Assisi), 117 (Iesi) e 109 (Pesaro)*. CNR-PFG Geodinamica, SP Neotettonica, Pubbl. **155**, 113-148.
- CHINNERY M.A. (1961) - *The deformation of the ground around surface faults*. Bull. Seismol. Soc. Am., **51**, 355-372.
- DE POLO C.M., D.G. CLARK, D.B. SLEMMONS & 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.
- FICCARELLI G. & M. SILVESTRINI (1991) - *Biochronologic remarks on the Local Fauna of Colle Curti (Colfiorito Basin, Umbrian-Marchean Apennine, Central Italy)*. Bollettino della Società Paleontologica Italiana, **30**, 197-200.
- GALADINI F., P. GALLI & C. GIRAUDI (1997) - *Geological investigation of Italian earthquakes: new paleoseismological data from the Fucino Plain (Central Italy)*. J. of Geodynamics, **24**, 87-103.
- HANKS T.C. & H. KANAMORI (1979) - *A Moment Magnitude Scale*. J. Geophys. Res., **84** (B5), 2348-2350.
- KANAMORI H. (1977) - *The energy release in great earthquake*. J. Geophys. Res., **82**, 2981-2987.
- IAEA (1991) - *Earthquakes and associated topics in relation to nuclear power plant siting*. A safety guide (Safety Series, International Atomic Energy Agency, Vienna), **50-SG-S1** (Rev. 1), pp. 60.
- MACHETTE M.N., PERSONIUS S.F., NELSON A.R., SCHWARTZ D.P. & LUND W.R. (1991) - *The Wasatch Fault zone, Utah, Segmentation and History of Holocene earthquakes*. Journal of Structural Geology, **13**, 137-150.
- MICHETTI A.M., F. BRUNAMONTE, L. SERVA & E. VITTORI (1996) - *Trench investigations of the 1915 Fucino earthquake fault scarps (Abruzzo, Central Italy): geological evidence of large historical events*. J. Geophys. Res. **101**(B3), 5921-5936.
- POSTPISCHL D. (ed.) (1985) - *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. 239 pp., Quaderni de "La ricerca scientifica", **114b**, C.N.R., Roma.
- SCARPA R. (1992) - *Analisi dei meccanismi focali: problematiche e applicazioni ai terremoti italiani*. Atti del Convegno di Pisa 1990, GNDT, **1**, CNR, Roma, pp. 137-156.
- SLEMMONS D.B. & C.M. DE POLO (1986) - *Evaluation of active faulting and related hazards*. In: Studies in Geophysics: Active Tectonics. National Academy Press, pp. 45-62.
- SCHWARTZ D.P. & K.J. COPPERSMITH (1984) - *Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and the San Andreas fault zones*. J. Geophys. Res., **89**, 5681-5698.
- SCHWARTZ D.P. & R.H. SIBSON (1989) - *Fault segmentation and controls of rupture initiation and termination*. U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 89-315.
- STRASMONDO S., M. TESAURO, P. BRIOLE, E. SANSOSTI, S. SALVI, R. LANARI, M. ANZIDEI, P. BALDI, G. FORNARO, A. AVALLONE, M.F. BUONGIORNO, G. FRANCESCHETTI & E. BOSCHI (1998) - *The September 26, 1997 Colfiorito, Italy, earthquakes: modeled coseismic surface displacement from SAR interferometry and GPS*. Geoph. Res. Lett., (submitted).
- STUCCHI M., (1985) - *The earthquakes in central Italy, January-February 1703. Some questions, some preliminary answers*, In: D. Postpischl (Editor), *Atlas of isoseismal Maps of Italian Earthquakes*. Quaderni de La Ricerca Scientifica, b, C.N.R., Roma, 114, 56-57.
- TONDI E., G., CELLO & S. MAZZOLI (1997) - *Strutture sismogenetiche in Appennino centrale: potenziale sismico, analisi frattale e processi di crescita*. Il Quaternario, **10** (2), 409-414.
- WELLS D.L. & K.J. COPPERSMITH (1994) - *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement*. Bull. Seismol. Soc. Am., **84**, 974-1002.

