

FRATTURAZIONE SUPERFICIALE CONNESSA AI TERREMOTI UMBRO-MARCHIGIANI DEL SETTEMBRE-OTTOBRE 1997

P. Galli⁽¹⁾ - V. Bosi⁽¹⁾ - F. Galadini⁽²⁾ - M. Meghraoui⁽²⁾ - P. Messina⁽²⁾ - R. Basili⁽⁴⁾

M. Moro⁽⁵⁾ - A. Sposato⁽²⁾

⁽¹⁾Servizio Sismico Nazionale, Roma

⁽²⁾CNR-Istituto di Ricerca per la Tettonica Recente (IRTR), Roma

⁽³⁾CNR-GNDT c/o Istituto di Ricerca per la Tettonica Recente (IRTR), Roma

⁽⁴⁾Dottorato di ricerca Univ. "La Sapienza"-IRTR, Roma

⁽⁵⁾Collaboratore esterno

ABSTRACT - *Surficial breaks related to the Umbria-Marche earthquakes of September-October 1997* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1996, 255-262 - The seismic sequence that struck Central Italy in the autumn of 1997 (Ms 5.5, 5.9 on Sept. 26 and Ms 5.5 on Oct. 14) have induced surficial breaks over a NW-SE 25 km elongated area. The first two events produced the sliding of debris deposits on pre-existing bedrock fault planes (Colfiorito-Cesi basins faults) for a total length of 500 m, which we relate mainly to gravitational motions. The October event induced a discontinuous coseismic tectonic rupture NE of Sellano village, for a total length of 5 km. The rupture trend and its tectonic features are consistent with the CMT focal mechanism solution and allowed to formulate two hypotheses as far as the nature of surficial breaks is concerned: 1) the ruptures belong to a secondary tectonic structure with respect to the seismogenetic fault (e.g. a joint between synthetic and antithetic faults); 2) the rupture is the direct evidence of the seismogenetic fault.

RIASSUNTO - *Fratturazione superficiale connessa ai terremoti umbro-marchigiani del settembre-ottobre 1997* - Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences, 10(2), 1996, 255-262 - In occasione dei terremoti del settembre-ottobre 1997 (26 settembre, zona di Colfiorito: Ms 5.5 e 5.9; 14 ottobre, zona di Sellano: Ms 5.5), a seguito di analisi macrosismiche speditive, è stato svolto un rilevamento di campagna nelle diverse zone epicentrali che ha consentito il riconoscimento di fenomeni di fratturazione superficiale lungo una fascia orientata NW-SE e lunga circa 25 km. Gli eventi del 26 settembre hanno prodotto, per un totale di circa 500 m osservati, un fenomeno di scivolamento dei depositi di versante appoggiati su scarpate di faglia in roccia (faglie dei bacini di Colfiorito e Cesi). Direzione ed entità di tale movimento sono apparsi sempre condizionati dall'esposizione ed acclività del versante, mancando ovunque riscontro di movimenti analoghi di roccia su roccia. Per questi motivi tali scivolamenti vanno presumibilmente ascritti a fenomeni gravitativi. Al contrario, il set di rotture superficiali formatosi tra i paesi di Rasenna e Mevale in seguito all'evento del 14 ottobre (per una lunghezza complessiva di 5 km, con tratti lunghi da pochi metri a 400 m e rigetto da 0 a 20 cm), interessa indifferentemente tutti i litotipi attraversati (sia litoidi che sciolti) e taglia verticalmente la morfologia preesistente (impluvi e crinali). Per le fratture di questa area è quindi possibile ipotizzare 1) un'attivazione di strutture tettoniche secondarie rispetto alla faglia principale; 2) la diretta emergenza della faglia sismogenetica.

Parole chiave: Terremoto, faglie attive, sismogenesi, Italia centrale
Keywords: Earthquake, active faults, seismogenesis, Central Italy

1. INTRODUZIONE

La zona colpita dalla sequenza sismica del settembre-ottobre 1997, culminata con i forti eventi del 26 settembre (Ms = 5.5 e 5.9) e del 3, 7, 12, 14 ottobre (rispettivamente Md = 4.8, 4.9, 4.5, 4.9, ed Ms = 5.5 per quello del 14 ottobre), appartiene ad una zona di catena sede di sismicità rilevante ma non omogeneamente distribuita (Camassi & Stucchi, 1997). Essa ricade all'interno delle zone 45, 46 e 47 del modello sismogenetico del GNDT. (Scandone *et al.*, 1990). Le zone 46 e 47 coprono la culminazione assiale della catena in questo settore appenninico e sono caratterizzate dalla presenza di faglie attive distensive e/o oblique ad andamento prevalentemente NW-SE le prime e N-S le seconde.

Le osservazioni compiute nelle aree epicentrali indicano la presenza di un campo di deformazione superficiale rappresentato da effetti legati sia a scuotimento che a deformazione tettonica. Gli elementi tettonici principali riconosciuti hanno una direzione circa NW-SE, congruente con la disposizione delle aree mesosismiche, con le soluzioni dei piani focali delle principali scosse e con le strutture attive conosciute nell'area.

Nei paragrafi successivi, oltre ad un'analisi sommaria del contesto sismotettonico, saranno descritti sinteticamente e discussi i principali effetti di superficie, procedendo da nord verso sud.

2. CONTESTO SISMOTETTONICO

2.1 Distribuzione della sismicità storica e strumentale

Nelle Figure 1 e 2 vengono mostrate le distribuzioni spazio-temporali degli eventi sismici occorsi dopo l'anno 1000, estratti dal catalogo NT4.1 (Camassi & Stucchi, 1997) e la distribuzione epicentrale degli eventi strumentali dal data-base dell'ING (periodo 1979-1994; Fig. 1a). In particolare la Figura 2 mostra la distribuzione degli eventi lungo una direttrice NW-SE (coincidente circa con l'andamento delle principali strutture attive di questo tratto di catena) in funzione del tempo.

In entrambe le figure è evidente l'intensa attività sismica che ha caratterizzato nel tempo questo settore di catena sia a nord dell'area epicentrale del 1997, ma soprattutto a sud, dalla zona di Preci-Norcia (NW) sino

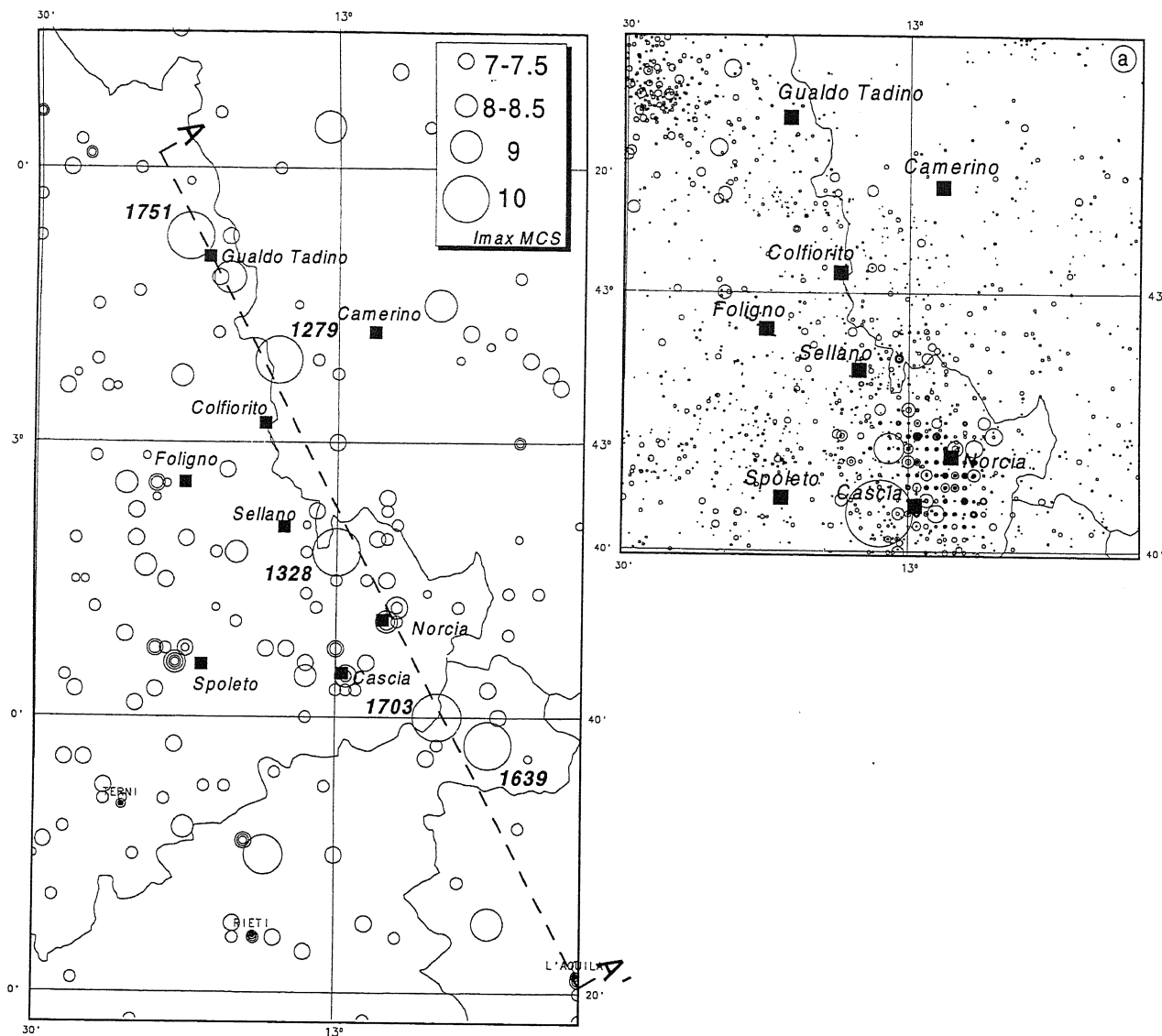


Fig.1 - Sismicità storica della zona assiale della catena appenninica (settore umbro-marchigiano) estratta dal catalogo NT4.1 (Camassi & Stucchi, 1997). Il tratto A-A' rappresenta la traccia della sezione riportata in Fig.2.; a) sismicità strumentale (1979-1994) della regione circostante alle aree epicentrali della sequenza di settembre-ottobre 1997.

Historical seismicity of the Umbria-Marche Apennines (from NT4.1 catalogue, Stucchi & Camassi, 1997). A-A' is the trace of the section in Fig.2.; a) instrumental seismicity (1979-1994) of the region close to the 1997 seismic sequence area.

ad Amatrice (SE). Viceversa, a meno di due eventi di limitata energia (1791 e 1838), almeno a partire dal 1279 la zona epicentrale del 1997 non ha generato terremoti di elevata intensità. Un analogo fenomeno si osserva per l'area compresa tra gli epicentri del 1639 e 1703 (eventi del 14 gennaio e 2 febbraio) che non sembra avere generato forti terremoti nella finestra temporale coperta del catalogo (zona di Campotosto *l.s.*). Anche gli eventi strumentali (Fig. 1a) mostrano un diradamento di epicentri tra la sequenza del 1979 di Cascia-Norcia a SE e quella di Gubbio 1984 a NW.

Per quanto riguarda la zona a nord di quella interessata dal sisma di settembre-ottobre 1997, vanno ricordati gli eventi del 1747 e 1751. Il primo ($I_{max} = 10$, $M_s = 6.7$, NT4.1, $M_e = 6.1$, CFTI) interessò in particolare il settore meridionale del bacino di Gualdo Tadino. Il secondo ($I_{max} = 9$, $M_s = 6.2$, NT4.1, $M_e = 5.7$, CFTI) inve-

stì una zona leggermente più a SE della precedente.

L'evento del 1279 (Monachesi (Ed.), 1987; $I_{max} = 10$, $M_s = 6.7$, NT4.1, $M_e = 6.4$) provocò danneggiamenti in una vasta area compresa tra Cagli, Fabriano, Nocera e Foligno. Forse a causa di questo terremoto il castello di Serravalle rimase sepolto da una grande frana. Per le sue caratteristiche e la sua localizzazione questo evento potrebbe rappresentare un "gemello" di quello recente.

I due eventi di limitata energia occorsi nell'odierna zona epicentrale e citati poc'anzi, avvennero, il primo (1791, $I_{max} = 7.5$, $M_s = 5.2$, NT4.1), in una zona leggermente ad ovest rispetto all'epicentro macrosismico della scossa del 26 settembre (ore 2.33), provocando danni tra i paesi di Pale e Volperino (GNDT, 1994). Il secondo (1838, $I_{max} = 8$, $M_s = 5.5$, NT4.1) poco a sud dell'epicentro del 14 ottobre, causando danni nella zona compresa tra Sellano e Cerreto di Spoleto (Conversini *et al.*, 1990).

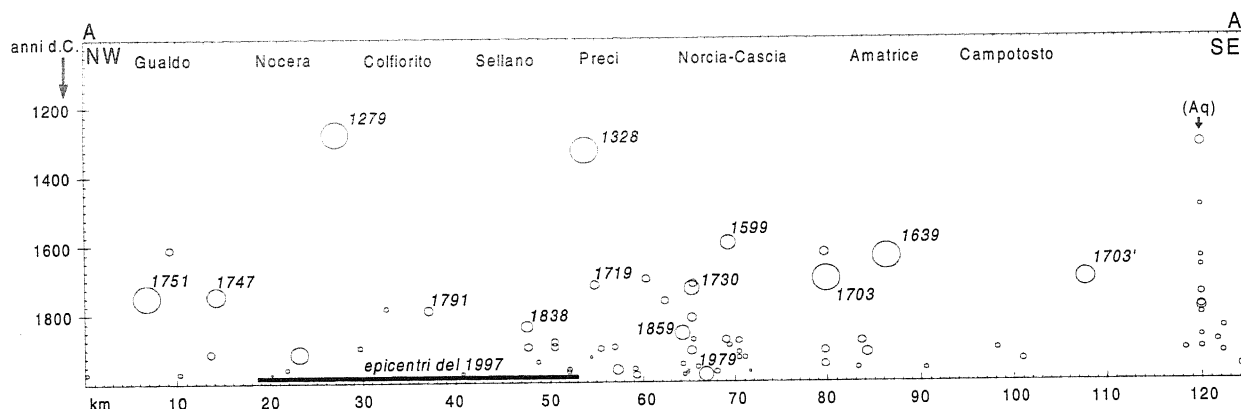


Fig. 2 - Sezione spazio-temporale dei terremoti occorsi dopo l'anno 1000 lungo l'asse appenninico, dal bacino di Gualdo Tadino a L'Aquila. Sono rappresentati i terremoti ricadenti in una fascia di 13 km a destra e a sinistra della traccia A-A' di Fig. 1. I cerchi sono proporzionali alla magnitudo. Per gli eventi di più elevata energia si nota una serie temporale migrante a sud (1279-1328-1599-1639) e quindi a nord (1703-1730-1747-1751).

Earthquake distribution along the Apennines chain from 1000 A.D onwards (circles are proportional to magnitude). Only the events falling in the 26 km belt centred along the trace A-A' of Fig. 1 are represented.

Nella regione immediatamente a sud dell'area epicentrale dell'evento del 14 ottobre è ubicato l'evento del 1328 ($I_{max} = 10$, $M_s = 6.7$, $NT4.1$, $M_e = 6.2$, CFTI), noto per avere arrecato gravissimi danni a Preci, Visso, Montesanto e Cerreto di Spoleto [Monachesi (ed.), 1987].

A sudest di quest'area si entra nel dominio della sismicità generata nell'intorno dei bacini di Cascia e Norcia. Per questa zona sono noti molti eventi a diverso potere distruttivo (da NW: 1719 $I_{max} = 7.5$, $M_s = 5.2$; 1859, $I_{max} = 8.5$, $M_s = 5.9$; 1730, $I_{max} = 9$, $M_s = 5.9$; 1979, $I_{max} = 8.5$, $M_s = 5.9$; 1599, $I_{max} = 8.5$, $M_s = 5.9$; $NT4.1$), culminati con il terremoto del gennaio 1703 ($I_{max} = 10$, $M_s = 6.7$, $NT4.1$).

2.2 Elementi di tettonica attiva

La parte assiale di questo settore della catena è caratterizzata principalmente dalla presenza di faglie attive normali e transtensive con direzione principalmente NW-SE. Esse appaiono sovrapposte a strutture appartenenti alla precedente catena a pieghe e thrust di età neogenica. La loro attività è evidenziata dalla dislocazione di depositi e di elementi morfologici di riferimento di età Pleistocene superiore-Olocene. In taluni casi esistono indizi relativi ad una loro riattivazione in occasione di terremoti storici, mentre nella maggior parte dei casi la loro attività è inferita da dati geologici e/o sismologici.

Tra le strutture primarie, partendo da SE vanno menzionate:

- la struttura bordiera del bacino valle dell'Aterno-L'Aquila, caratterizzata da due segmenti di faglia principali (faglie bordiere del M. Marine e del M. Pettino), affioranti rispettivamente per 8.5 e 9.5 km e responsabili della dislocazione di depositi di versante tardo-pleistocenici e della formazione di evidenti scarpate nel substrato carbonatico;
- la struttura bordiera del M. Gorzano, tra Amatrice e Campotosto, evidenziata da una netta scarpata di faglia in roccia e da diverse scarpate che interessano superfici e depositi del Pleistocene superiore-Olocene. Essa è costituita da due tratti di lunghezza inferiore a 10

km ciascuno;

- la struttura bordiera nordorientale del bacino di Cascia-M. Alvignano è costituita da un sistema di faglie normali immergenti a SW, per una lunghezza complessivamente superiore a 15 km. Per il Monte Alvignano sono riportati indizi di lunghe rotture cosismiche in occasione del terremoto del 14 gennaio 1703 (De Carolis, 1703);
- la struttura bordiera nordorientale del bacino di Norcia, unita ad altri due segmenti a nord e sud è lunga complessivamente circa 18 km ed ha guidato l'evoluzione tettonica pleistocenica del bacino stesso. La sua attività recente è testimoniata dalla dislocazione di depositi colluviali del Pleistocene superiore-Olocene (Blumetti, 1995), mentre in occasione del terremoto del 1979 è stata segnalata la formazione di una rottura in corrispondenza di una scarpata di faglia ubicata ad ovest della principale (Blumetti, 1995). Un analogo fenomeno potrebbe essere avvenuto durante il terremoto del gennaio 1703 (Grimaldi, 1703).
- le strutture dell'alta Val Nerina, sede di importanti terremoti, ma ancora da valutare da un punto di vista di tettonica attiva;
- le strutture dei piani di Colfiorito ed aree limitrofe, caratterizzate dalla presenza di due faglie principali di sicura attività neotettonica (faglie bordiere dei bacini di Colfiorito e Cesi, orientate NW-SE e N-S; Cello *et al.*, 1997)
- la struttura orientale del bacino di Gualdo Tadino (Bosi C. *et al.*, 1983), evidenziata da scarpate di faglia che indicano come anche questo bacino sia una depressione intermontana tipica dell'Appennino centrale, delimitata ad est da una faglia quaternaria.

3. RILIEVO MACROSISMICO SPEDITIVO

Tra il 26 settembre ed il 29 ed in seguito alla scossa del 14 ottobre, una squadra del SSN (P. Galli e D. Molin) ha svolto una ricognizione speditiva in un ottantina di centri abitati al fine di valutare, in termini di intensità MCS, il danneggiamento riportato dalle abitazioni ed

evidenziare l'evenienza di effetti locali di amplificazione (i risultati preliminari del rilievo completo, svolto insieme ad operatori GNDT, sono in Camassi *et al.*, in stampa).

I risultati di tale rilievo hanno consentito di individuare l'area epicentrale degli eventi del 26 settembre (ore 2.33 e 11.40) e del 14 ottobre e di evidenziare l'andamento delle aree a diverso grado di danneggiamento almeno in parte filtrate dagli effetti ambientali più evidenti (frane *l.s.*). Un'immagine assolutamente qualitativa della distribuzione del danneggiamento è riportata in Figura 3, congiuntamente alle zone di maggior danneggiamento relative alle 3 scosse ed agli elementi di fratturazione superficiale descritti nel paragrafo successivo. Questa immagine deve essere considerata come congelata al 26 settembre nella porzione settentrionale ed al 14 ottobre in quella meridionale, non contenendo i danni cumulati tra gli eventi citati ed oltre.

E' possibile osservare il netto *trend* NW-SE della sequenza e la direttività degli eventi del 26 settembre rispetto alla zona di iniziale enucleazione della rottura (indicata dall'epicentro strumentale: verso SE quello delle ore 2.33 e verso NW quello delle ore 11.40), confermata anche dai valori di picco dell'accelerazione registrati dalla stazione ENEA di Cerreto di Spoleto (25 km a sud di Colfiorito: PGA = 0.19 g e 0.17 g per le componenti NS ad EW per l'evento delle 2.33; 0.07 g e 0.11 per quello di magnitudine superiore delle 11.40).

4. L'ANDAMENTO DELLA FRATTURAZIONE SUPERFICIALE

Sulla base degli elementi geologici noti da letteratura ed in base al quadro di danneggiamento emerso dal rilievo macrosismico si sono intrapresi rilevamenti di campagna volti all'individuazione di possibili campi di fratturazione superficiale e/o di fagliazione connessa ai terremoti. Gli elementi di deformazione principali osservati sono i seguenti.

4.1 Struttura bordiera orientale del bacino di Colfiorito (faglia dei M.ti le Scalette-Prefoglio-Faento-Capridosso, versanti occidentali)

4.1.1 M. le Scalette (Vallone di Fonte Capiglia e Fonte Marmiano (a in Fig. 4)

Lungo il versante occidentale di M.te le Scalette si osserva una scarpata di faglia in roccia a direzione N 125°-135°, di altezza variabile da 1 metro sui crinali fino 6 m in corrispondenza di incisioni fluviali trasversali.

A seguito del terremoto del 26 settembre, sono stati osservati movimenti discontinui della coltre detritica presente al contatto con il piano di faglia, dell'ordine di 2 cm circa. Le direzioni apparenti di movimento del detrito sono sinistre in destra idrografica (con elevata componente orizzontale — *pitch* circa 30° — laddove il versante è particolarmente acclive e trasversale alla faglia) e destre in sinistra idrografica (componente orizzontale più lieve — *pitch* 97°-104° — con versante meno acclive) ovvero sempre dirette secondo la massima pendenza. Sul crinale non si notano movimenti con componente

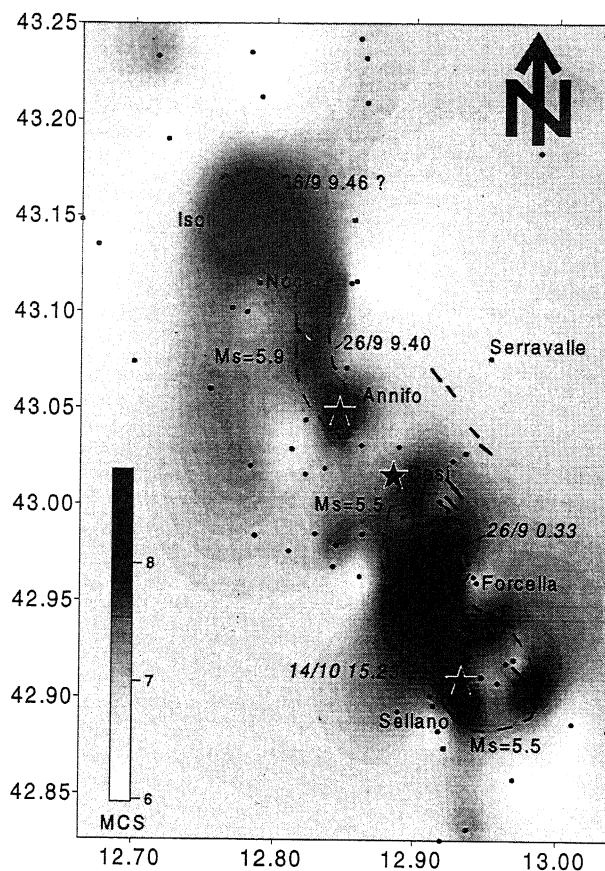


Fig.3 - Distribuzione del danno in base ai rilievi svolti tra il 26 ed il 29 settembre (area settentrionale; in collaborazione con Diego Molin) e dopo il 14 ottobre (area meridionale). L'immagine, puramente qualitativa, rappresenta uno scenario congelato dopo gli eventi del 26 settembre (a nord) e del 14 ottobre (a sud). Le stelle nere indicano gli epicentri strumentali; i poligoni a tratteggio le aree di maggior danneggiamento delle diverse scosse; i segmenti rappresentano la localizzazione degli effetti superficiali più importanti.

Qualitative image of the damaged area, frozen at the 26th September (northern sector) and at the 14th October (southern sector). Stars indicate the preliminary instrumental epicentres. Dashed lines indicate the epicentral area. Bold lines represent major surficial breaks.

orizzontale.

In sinistra idrografica del fosso di F.te Marmiano la lunghezza di rottura su tutta la faglia esposta (150-200 m) è di circa 30-40 m in prossimità dell'incisione fluviale e 10 m sul crinale. In sponda destra, su meno di cento metri di scarpata le rotture sono discontinue e non riguardano più del 10-15% della lunghezza totale.

Lungo tutta la lunghezza della scarpata, nei punti in cui il contatto è costituito interamente da roccia (al letto e al tetto), non è stato osservato alcun tipo di movimento. Movimenti centimetrici del detrito si osservano invece in direzione ortogonale alla scarpata di faglia, laddove la massima pendenza è diretta verso l'asse delle vallette trasversali.

Più a nord, proseguendo sul versante, a fronte dell'esistenza di una scarpata di faglia lunga circa 100-120 metri, non si osservano movimenti del detrito.

4.1.2 Monte Faento (b in Fig. 4)

Scarpata di faglia in roccia (piano in carbonati, liscio e continuo, con altezze di 2-3 m) affiorante per poche decine di metri in corrispondenza di una piccola incisione valliva. La copertura detritica dell'*hanging wall* è distaccata dal piano di faglia e mostra, a tratti, un rigetto di 2-3 cm con componente sinistra nel tratto in sponda destra del fosso. Pochi metri a monte la superficie di dislocazione si discosta dal piano di faglia con un angolo di 90° ed interessa esclusivamente il detrito, assumendo un andamento concavo verso la valletta. In questo tratto, a valle della superficie concava, si notano blandi inarcamenti del suolo con asse perpendicolare alla massima pendenza del pendio.

4.1.3 La Pintura (c in Fig. 4)

Lungo la strada che da Dignano porta verso Loc. Le Rote, in località La Pintura, è stato riconosciuto un sistema di fratture a direzione N160° che taglia diagonalmente la strada asfaltata, non interessando però né il cordolo in cemento a lato della strada stessa, né i depositi affioranti sullo scasso stradale. Qui è presente una faglia normale N155° che mette a contatto calcari con detriti di versante, ma senza alcuna evidenza di movimento recente. Analoghe fratture si osservano lungo una strada sterrata che da La Pintura sale verso M. Caprioso (in due tratti allineati separati da un tornante; N160° e N135° rispettivamente). Tali fratture, localmente a geometria *en échelon* destra di dubbio significato, presentano a tratti uno spostamento verticale discontinuo di 1-3 cm verso valle (ovest), ed interessano il contatto roccia detrito sulla massicciata della strada. La lunghezza delle singole fratture è variabile da 6 a 10 m. Proseguendo verso SE, lungo la loro ideale prosecuzione, non sono stati osservati ulteriori elementi strutturali, anche laddove la stessa strada sterrata dovrebbe incontrare tali elementi.

4.1.4 Monte Tolagna (d in Fig. 4)

Sul versante NW di M. Tolagna si osserva per circa 1500 m l'esistenza di una scarpata di faglia in roccia. Nei 180 m più settentrionali, a valle della strada sterrata che dall'abitato di Costa sale verso il M. Tolagna, la scarpata affiora con buona continuità ed altezza compresa tra 0.5 e 1.5 m. In questo tratto si osserva per la maggior parte della lunghezza della scarpata un movimento verso il basso variabile da 0 a 5 cm (mediamente di 2 cm) del detrito. In particolare, in due punti è stato possibile individuare, oltre alla componente normale di movimento, una debole componente orizzontale destra (ovvero parallela alla massima pendenza del versante). In un altro caso invece, la componente orizzontale è risultata sinistra, ma in prossimità di fenomeni locali di rigonfiamento del suolo.

All'estremità settentrionale, in corrispondenza del contatto roccia su roccia, non è stato osservato alcun movimento.

A sud della strada sterrata la scarpata di faglia non è più visibile se non in corrispondenza di tre piccole incisioni vallive. In superficie si osservano solo alcune fratture

re a carico del suolo inerbito, orientate in modo congruente alla direzione della scarpata, di lunghezza variabile tra 0.5 e 2 m, che presentano una debole concavità verso valle. Movimenti del detrito a contatto con il piano di faglia in roccia sono stati osservati solo per un metro, poco a sud della strada sterrata, e in corrispondenza della seconda incisione (scarpata lunga 6 m, e alta 2-3 m). La componente orizzontale di movimento è in entrambi i casi destra, cioè parallela alla massima pendenza del versante.

All'estremità meridionale (testata del fosso della sorgente La Vena), nella profonda incisione del fosso stesso, si osserva un liscione di faglia alto circa 30 m, lungo almeno 50 m, chiaramente messo a nudo dall'erosione. Lungo il piano di faglia non si osserva spostamento del detrito.

4.1.5 Monte Costa (e in Fig. 4)

Ad est dell'abitato di Costa si osserva una scarpata di faglia in roccia con direzione variabile da N130°-55°SW (tratto nord) a N110°-60°SW (tratto sud), lunga circa 60 m e alta fino a 4 m, su cui è possibile osservare uno spostamento della coltre detritica lungo il piano di faglia principale variabile da 2-3 cm ad un massimo di 21 cm, ma mediamente di circa 6-9 cm. Laddove il detrito copre la scarpata di faglia, il movimento interessa il detrito stesso. In prossimità della strada si osserva la totale assenza di movimento nei punti in cui il contatto è roccia su roccia. Salendo lungo la strada sterrata si osservano fratture *en échelon* orientate N105°, diagonali rispetto alla sede stradale e circa allineate con la scarpata di faglia. Altre fratture sono orientate parallelamente alla sede stradale. Questi sistemi di fratture stanno attualmente evolvendosi come franamento del rilevato stradale e sono presenti anche salendo verso M. Tolagna, sempre nella porzione a valle del rilevato stradale.

Lungo gli altri segmenti settentrionali della scarpata di faglia di Costa, affioranti in modo discontinuo lungo il versante, non sono stati osservati altri indizi di movimento.

L'ultima osservazione è stata condotta alla base del versante sud-occidentale di Monte Birbo, in corrispondenza dell'unico fosso riportato sulla tavoletta IGM. Qui, lungo una scarpata di faglia in roccia alta 3-4 m e lunga 50 m, non si sono osservati movimenti.

4.2 Strutture meridionali dell'area

4.2.1 Rasenna (f in Fig 4)

A monte dell'abitato di Rasenna, presso la cappella di S. Angelo, subito dopo l'evento del 14 ottobre, si è osservato un *set* di fratture con spostamento verticale sino a 10 cm, orientate N135°-150°, per una lunghezza di circa 400 m. Localmente tali fratture presentano una geometria *en échelon* sinistra con movimento opposto alla linea di massima pendenza. La frattura non risente delle variazioni plano-altimetriche della morfologia locale ed attraversa indistintamente i depositi incoerenti e le formazioni lapidee presenti nella valletta sotto S. Angelo. Circa un chilometro a nord sui tornanti della strada, in direzione con la frattura, l'asfalto ed il terrapieno sono interessati da un sistema di fratture, talune con rigetto verticale di 1-2 cm. Anche a sud, lungo la

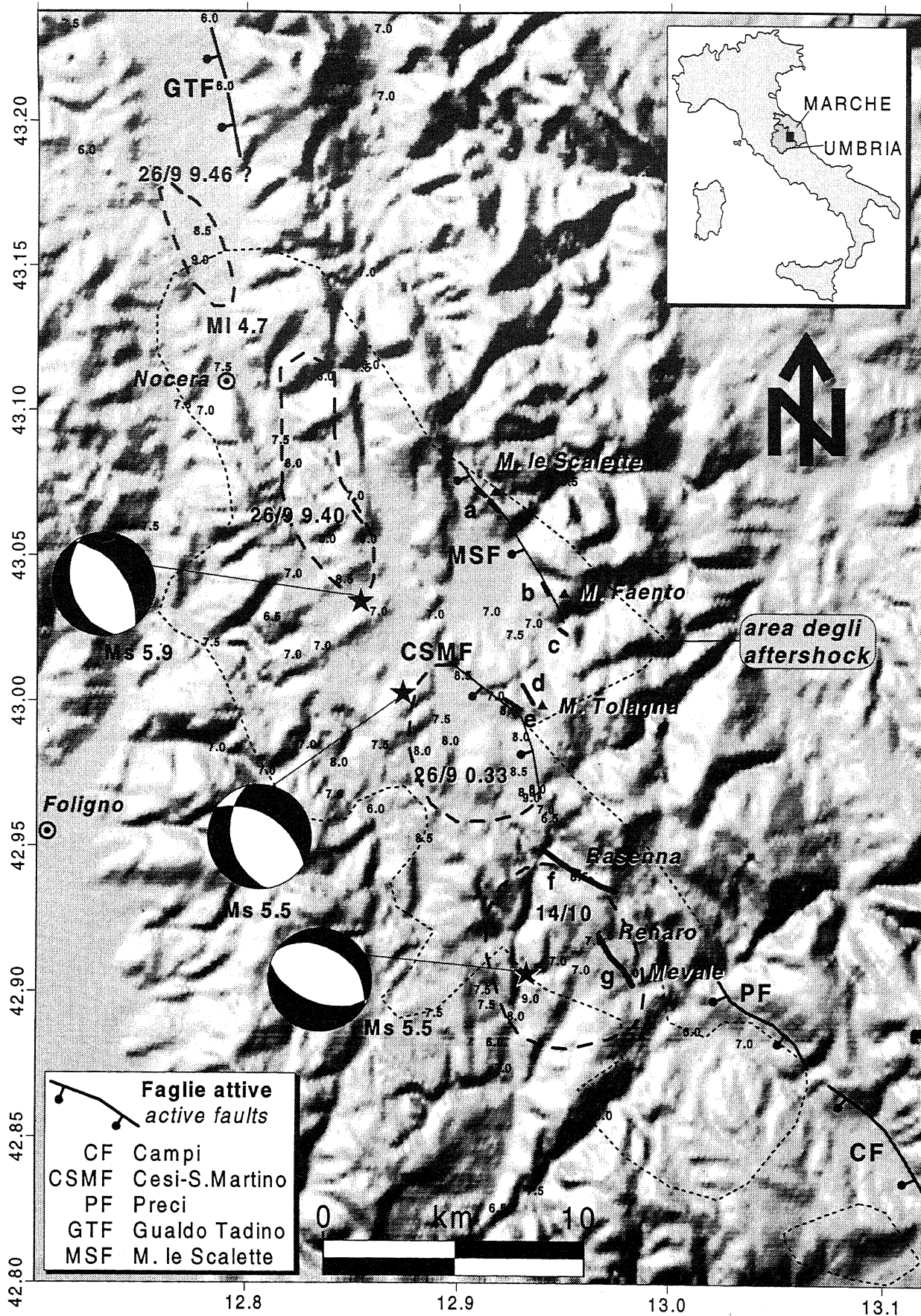


Fig. 4 - Modello digitale della regione dell'Appennino umbro-marchigiano interessata dagli eventi di settembre-ottobre 1997. I poligoni a tratteggio indicano le zone epicentrali dei diversi eventi. Le stelle indicano gli epicentri strumentali. I tratti più grosso- segue p. 261

strada è presente una frattura N150° con spostamento 1-2 cm. Nel caso le fratture sulle strade a nord e sud di Rasenna rappresentassero il proseguimento della frattura di S. Angelo, nel complesso la lunghezza della frattura sarebbe di circa 3 km.

4.2.2 Renaro-Mevale (g in Fig. 4)

Nel settore compreso tra gli abitati di Renaro e Mevale, sempre a seguito dell'evento del 14 ottobre, è stato osservato un sistema di fratture beanti, di lunghezza variabile da 10 a 450 m, seguibili in modo discontinuo per una lunghezza totale di circa 1700 m. Tali fratture presentano localmente rigetti di ordine centimetrico (5-20 cm) accompagnato talora da evidenze di una leggera componente di movimento sinistra. In particolare questa debole componente è ben osservabile dove la frattura interseca la strada provinciale tra Piaggia e Renaro, dislocando il manto stradale di circa 4 cm.

A fronte di una direzione complessiva N145° i singoli tratti della frattura, laddove interessano le formazioni più litoidi (substrato carbonatico), sono ruotati verso N di circa 10-15°.

All'estremità meridionale, presso Mevale, si nota un campo di fratture che interessa la sede stradale su ambo i lati del paese, con direzione coerente con le fratture rinvenute a nord.

Quindici giorni dopo l'evento, si è osservato che la frattura nei pressi di Renaro presentava un incremento centimetrico della beanza.

5. DISCUSSIONE

Le osservazioni compiute nei due settori interessati dalle scosse principali del 26 settembre (a nord) e del 14 ottobre (a sud), evidenziano due situazioni differenti.

5.1 Settore settentrionale

Su una lunghezza totale di circa 15 km delle strutture di Colfiorito (7 km), Tolagna (2 km) e Cesi-S. Martino (6 km), le "rottture" sono state osservate per una lunghezza complessiva di poche centinaia di metri (circa 400-500 m), solo in corrispondenza di tratti di versanti montuosi molto acclivi e caratterizzati dalla presenza di coltri di detrito non cementato a contatto con liscioni di

lani (a-g) sono le evidenze di fratturazione superficiale. I numeri a due cifre rappresentano l'intensità MCS attribuita a seguito degli eventi del 26 settembre (a nord) e del 14 ottobre (a sud). (meccanismi focali CMT). Area degli *aftershocks* da dati SSN.

DEM of the region struck by the seismic sequence. Stars indicate preliminary instrumental epicentres. Dashed lines indicate the epicentral area. Bold lines show major surficial breaks. 6.0-9.0 = MCS intensity related to the 26 Sept. (north) and 14 Oct. (south) events. (CMT Focal mechanism). Aftershocks area (SSN data).

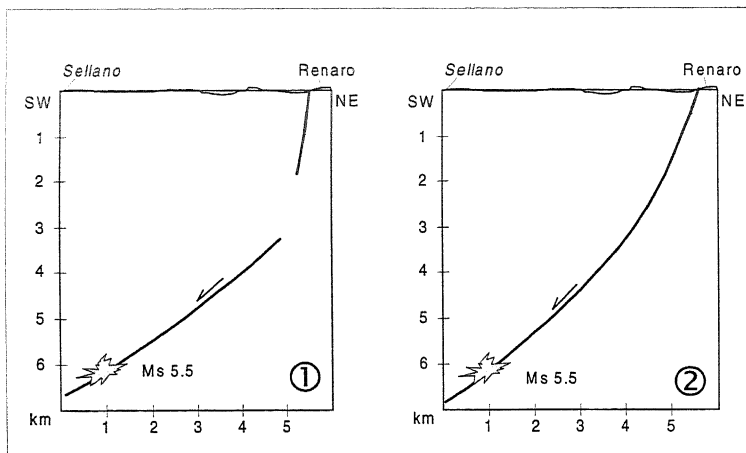


Fig. 5 - Ipotesi sulla relazione tra gli effetti geologici di superficie (area di Rasenna-Renaro-Mevale) e la faglia sismogenetica (evento del 14.10.1997). 1) attivazione di strutture tettoniche secondarie. 2) espressione superficiale diretta della faglia.

Schematic representation of the two hypotheses on the relationships between surface rupture and seismogenic fault (Rasenna-Renaro-Mevale area, 14 October event). 1) Ruptures belong to a secondary tectonic structure. 2) The rupture is the direct evidence of the seismogenic fault.

faglia in rocce calcaree, ben levigati, ad andamento planare e proseguenti in profondità in interfaccia col detrito. Laddove osservabile il movimento è sempre subparallelo alla direzione di massima pendenza del versante mostrando, rispetto al piano della scarpata di faglia, una componente destra o sinistra in funzione della direzione del piano stesso rispetto al versante. Nei tratti in cui la massima pendenza del versante è subparallela alla immersione del piano di faglia il movimento è puramente verticale. In tutti i punti in cui la faglia principale separa rocce litoidi, non sono mai stati osservati indizi di movimento riconducibili agli eventi sismici del 26 settembre.

Nei tratti di versante a pendenza minore, anche contigui a quelli interessati dal movimento, il fenomeno non è mai stato osservato. Si osservano invece fratture di lunghezza modesta isorientate e concordanti con i sistemi di faglia principali.

L'evoluzione della scarpata di faglia appare in buona parte condizionata da fenomeni di carattere erosivo (esumazione) piuttosto che a sola crescita cosismica. L'altezza del piano di faglia esposto è infatti piuttosto variabile a seconda della morfologia del versante (massimo dell'affioramento nei *talweg*, minimo sui crinali).

Fenomenologie analoghe di movimento di detrito non cementato appoggiato su pareti acclivi e "rigide" sono state osservate altrove nell'area in occasione dello scuotimento cosismico.

Da quanto esposto, gli effetti geologici osservati lungo le faglie dei bacini di Colfiorito e Cesi-S. Martino non sono di univoca interpretazione, sussistendo la possibilità di un controllo puramente gravitativo del fenomeno anziché tettonico.

5.2 Settore meridionale

Nella zona di Rasenna-Mevale la fratturazione è subverticale (Rasenna) o completamente verticale (Renaro-Mevale). Nel complesso la rottura non è influen-

zata da fattori morfologici o litologici preesistenti, ma attraversa indifferentemente vallette, crinali, depositi litoidei e sciolti, mantenendo la medesima geometria. In altre parole non appare riconducibile a fenomeni di instabilità di versante, siano essi di tipo superficiale che profondo.

Per quanto riguarda invece la relazione tra questi effetti e la faglia sismogenetica, due sono principalmente le ipotesi proponibili (Fig. 5):

1 - Attivazione di strutture tettoniche secondarie rispetto alla faglia sulla quale si è enucleata la rottura. Ad esempio, una frattura tettonica connessa al regime estensionale NE-SW (compatibile con il campo tensionale individuato dalle soluzioni focali);

2 - Espressione superficiale "diretta" della faglia sismogenetica.

Sulla base delle osservazioni compiute e dei dati strumentali preliminari (disponibili su *Internet*), assumendo, come nel caso 2, che le rotture superficiali siano l'espressione diretta della struttura profonda, è possibile valutare se le dimensioni della faglia sono compatibili con il momento sismico calcolato ($M_0 = 4 \cdot 10^{24}$ dyne-cm, comunicazione ING).

Le dimensioni della faglia possono essere calcolate a partire dalla posizione epicentrale dell'evento del 14 ottobre (epicentro macrosismico coincidente con epicentro strumentale preliminare), dalla profondità ipocentrale (circa 6-7 km) e dalla supposta espressione superficiale (l'estensione complessiva delle rotture è di circa 5 km dall'apice NW a quello SE). Tenuto conto della distanza dell'epicentro dalle rotture di Rasenna-Mevale (circa 4 km), il piano di faglia risulta avere un'inclinazione media di 55° ed ha una area A di circa $5 \cdot 7$ -8 km. Assumendo un modulo di rigidità (μ) di $3 \cdot 10^{11}$ dyne/cm² e sostituendo nella espressione del momento sismico $M_0 = A \cdot d \cdot \mu$, si ottiene eguaglianza per uno *slip* cosismico (d) di circa 30 cm, valore assolutamente compatibile per un terremoto di $M_s = 5.5$ (Wells & Coppersmith, 1994).

Questa valutazione di massima, del tutto preliminare ed in attesa della conferma dei dati strumentali definitivi, attesta la possibilità che la faglia abbia effettivamente raggiunto la superficie, così come testimonierebbero le rotture osservate. Assumendo che lo *slip* massimo avvenga in un certo intervallo in profondità, i valori osservati in superficie (da semplice beanza a 15-20 cm) sono compatibili con lo *slip* cosismico.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dr C. Bosi per la lettura critica del testo e per i consigli dati.

BIBLIOGRAFIA

- Blumetti A.M., 1995 - *Neotectonic investigations and evidence of paleoseismicity in the epicentral area of the January-February 1703, Central Italy, earthquakes*. Ass. of Eng. Geologists, Spec. Publ. no. 6, 83-100.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. & Gasperini P. (Eds.), 1997 - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*, 2. ING-SGA, Bologna, 644 pp.
- Bosi C., Coltorti M. & Dramis F., 1983 - *Carta del Quaternario della conca di Gualdo Tadino (tra Fossato di Vico e Rigali)*. Unpublished map.
- Camassi R. & Stucchi M., 1997. *NT4.1, a parametric catalogue of damaging earthquakes in the Italian area (release NT4.1.1)*. GNDT, Milano, 66 + XXVII pp. (*Internet*, <http://emidius.itim.mi.cnr.it/NT/home.html>)
- Camassi R., Galli P., Molin D., Monachesi G. & Morelli G., 1997 (in stampa) - *Rilievo macrosismico preliminare del terremoto umbro-marchigiano di settembre-ottobre 1997*. *Ingegneria sismica*, 3, 50-54.
- 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*. *Tectonophysics*, 272, 43-68.
- CFTI, acronimo per *Catalogo dei forti terremoti in Italia*. Vedi Boschi *et al.* (eds.), 1997.
- Conversini P., Lolli O., Molin D., Paciello A. & Pagliacci S., 1990 - *Ricerche sulla sismicità storica della provincia di Perugia*. Quaderni Regione dell'Umbria, Colana Sismica, Perugia, 1b, 56 pp.
- De Carolis P., 1703 - *Relazione generale delle rovine e mortalità cagionata dalle scosse del terremoto de' 14 gennaio e 2 febbraio 1703 in Norcia, Cascia e loro contadi, compresi li castelli delle Rocchette e Ponte, giurisdizione di Spoleto*. Roma.
- Grimaldi F.A., 1703 - *De Novo et ingenti in universa provincia Umbriae et Aprutii Citeriosis terremotu*. Typis A. Sanbuchi, Todi.
- GNDT, 1994 - *Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti*. UR Macerata, Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
- Monachesi G. (Ed.), 1987 - *Revisione della sismicità di riferimento per i comuni di Cerreto d'Esi (Ancona), Esanatoglia (Macerata), Serra San Quirico (Ancona)*. Oss. Geof. Sperim., Macerata, Rapp. int., 240 pp.
- Wells, D. & Coppersmith K., 1994 - *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement*. *Bull. Seism. Soc. America*, 84(4), 974-1002.

Testo definitivo ricevuto il: 19.11.1997

Final text received: Nov. 19, 1997