

Strutture sismogenetiche in Appennino

G. Cello, E. Tondi

Dipartimento Scienze della Terra, Università di Camerino (peppe@camserv.unicam.it)

1 Introduzione

L'obiettivo principale che ci siamo proposti di raggiungere in questo progetto è quello di verificare, nelle aree dell'Appennino centrale e meridionale, un modello di segmentazione areale basato principalmente sull'analisi geologica (Cello et al., 1997; Tondi, 2000).

I terremoti avvenuti in Appennino negli ultimi decenni ed anche lo studio dei terremoti storici ben documentati (Norcia-L'Aquila 1703; Fucino 1915) hanno infatti mostrato che durante un evento sismico, in superficie, si generano e/o riattivano più segmenti di faglie. La formazione di rotture multiple durante un evento sismico è stata ben documentata anche durante il terremoto umbro-marchigiano del 1997 (Cello et al., 1998a) dove fenomeni di riattivazione sono stati rilevati lungo tre differenti faglie attive peraltro già cartografate come faglie capaci (Tondi et al., 1997). Documentazioni storiche e dati paleosismici dimostrano che durante il terremoto del 14 gennaio 1703 che ha interessato l'area Nursina ($I_{max} = XI$ MCS; Stucchi, 1985) si sono verificate fratture e dislocazioni al suolo lungo almeno quattro segmenti di faglie (Blumetti, 1995; Cello et al., 1998b). Analisi paleosismiche di dettaglio mostrano che a seguito del terremoto del Fucino del 1915 ($I_{max} = XI$ MCS) si sono riattivate almeno quattro faglie (Michetti et al., 1996; Galadini et al., 1997).

E' evidente, quindi, che l'attivazione cosismica di più faglie non può essere considerata come un caso eccezionale, soprattutto se si tiene conto che le stesse sono tutte faglie preesistenti che hanno operato, in questo settore dell'Appennino centrale, per almeno alcune centinaia di migliaia di anni e che la loro attività ha condizionato l'evoluzione morfostrutturale tardo-quadernaria dei principali bacini intramontani. Di conseguenza, sembra chiaro che le tecniche di segmentazione che utilizzano modelli di rottura a singolo segmento, in Appennino non possono essere applicati in maniera soddisfacente per la valutazione della pericolosità sismica di un'area.

Il modello di segmentazione areale si basa, invece, sulla possibilità di riconoscere in superficie, e per una data area, caratteristiche geologico-strutturali, morfologiche, geometriche, reologiche e storiche simili.

Il processo di segmentazione di una struttura sismogenetica risulta tanto più soddisfacente quanto più è appropriato il grado di conoscenza "geologica" del territorio in esame. Inoltre, questo tipo di modellizzazione si riferisce ad aree (e/o volumi) invece che ad un singolo elemento lineare (traccia di faglia) e quindi le singole strutture che si attivano in superficie durante un evento sismico vanno considerate, nel loro insieme, come l'espressione superficiale della struttura sismogenetica profonda. Sulla base delle caratteristiche specifiche dell'area individuata, è poi possibile definire l'orientamento, la geometria, la cinematica, lo *slip-rate* e le dimensioni della struttura profonda, nonché tutti quei parametri

necessari per la valutazione del potenziale sismogenetico di un'area e per la modellizzazione deterministica del *pattern* di risposta sismica al sito (Fig. 1a).

Le indagini effettuate includono informazioni di dettaglio sui caratteri essenziali delle faglie capaci affioranti nelle aree di interesse (database e mappe prodotte per il progetto 5.1.2. e una rilettura critica del materiale geologico e geofisico disponibile con l'obiettivo di procedere ad una integrazione di dati tali da consentire l'applicazione del modello di segmentazione.

Nell'ambito del progetto sono stati, quindi, acquisiti nuovi dati sulle zone assiali dell'Appennino centrale e meridionale. Sono stati effettuati, nelle aree d'interesse, studi mirati di immagini telerilevate (da satellite e da aereovettori) ed analisi geologiche di dettaglio; sono state reinterpretate alcune linee sismiche e sono stati acquisiti dati di perforazioni profonde con l'obiettivo di definire la stratigrafia sismica locale.

Le analisi di dettaglio finalizzate alla ricognizione e alla cartografia delle faglie attive, all'analisi delle strutture minori e degli indicatori cinematici ed allo studio delle rocce di faglia e della fratturazione associata sono state avviate nelle aree di Colfiorito, Monte Vettore, Norcia ed in Val d'Agri-Vallo di Diano (Cello et al., 1998a, 1998b, 2000; Tondi, 2000). Tali studi hanno consentito di elaborare delle carte tematiche corredate da un database (per ora solo parziale) delle faglie attive e/o capaci per le zone di Colfiorito, Monte Vettore e Norcia.

In parallelo con questi studi di terreno, sono state inoltre avviate analisi di dettaglio del *pattern* di superficie delle faglie tardo-quadernarie mediante un approccio di statistica frattale ed è stata effettuata un'analisi della fratturazione associata alle zone di faglia attive cartografate che ha permesso di sviluppare alcune considerazioni sulle modalità di fagliamento e sui processi di crescita delle faglie.

Nella zona epicentrale della sequenza sismica umbro-marchigiana del 1997/98 sono state eseguite trincee a fini paleosismologici lungo la faglia bordiera del bacino di Colfiorito.

Di seguito vengono descritte in dettaglio le caratteristiche principali delle faglie capaci per le aree di Colfiorito, Monte Vettore e Norcia.

2 La zona di Colfiorito

Il sistema di faglie quadernarie esposto nella zona di Colfiorito (Calamita e Pizzi, 1992; Cello et al., 1997) è costituito dai seguenti *set* principali (Fig. 1; Tab. 1):

- faglie con direzione media N140°-160°, immergenti a WSW caratterizzate da un movimento principalmente di tipo normale con piccola componente trascorrente sinistra.
- faglie ad andamento Nord-Sud, subverticali con movimento prevalentemente trascorrente sinistro.
- faglie, subordinate per frequenza e dislocamento, con direzione media N70°-90°, subverticali e con movimento prevalentemente trascorrente destro.

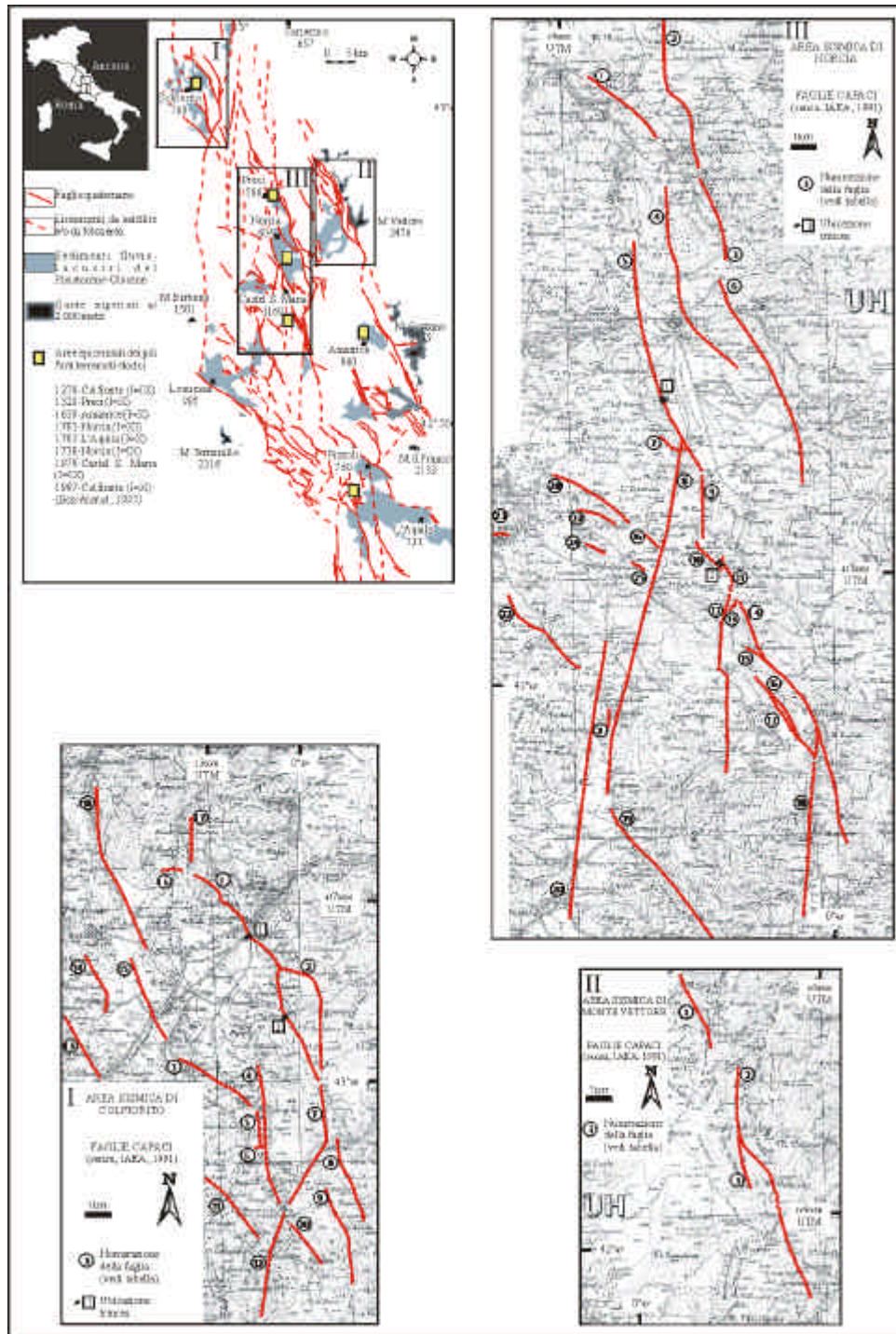


Fig. 1 - Ubicazione dell'area in studio e mappe delle faglie capaci per le aree di Colfiorito, Monte Vettore e Norcia.

Zone di taglio fragile-duttile subverticali ad andamento N10°-20°, caratterizzate da movimenti transpressivi sinistri sono inoltre presenti in località Collattoni e Forcella.

Un'eccezione alle cinematiche delle faglie precedentemente descritte sono la faglia bordiera della conca di San Martino (avente una direzione Nord-Sud e movimento diretto) nonché la faglia della Valle di Percanestro (ad andamento NW-SE e

N°	ORIENTAZIONE Inclinazione/pendenza N-N-E - N-E - N-E - N-E	CINEMATICA N=Normali Tsx=Inscostamento sinistro Tdx=Inscostamento destro I=Inversa	BEDROCK	DEPOSITI QUATERNARI	ATTIVAZIONE IN TEMPI STORICI	FAGLIA CAPACE (secondo IAEA, 1991) C=Capace P=Proibita	RIGETTO (in fase di valutazione?)
1	220°-270°/45°-80°	N/Tsx	SI	SI	SI	C	
2	210°-270°/55°-75°	N/Tsx	SI			P	
3	210°-230°/55°-65°	N	SI		SI	C	
4	265°-270°/60°-65°	N/Tsx	SI		SI	C	
5	265°-270°/60°-65°	N/Tsx	SI			C	
6	175°-190°/60°-65°	N/Tdx	SI	SI	SI	C	
7	265°-300°/60°-80°	Tsx/I	SI			P	
8	240°-260°/45°-80°	N/Tsx	SI			P	
9	235°-265°/60°-65°	N/Tsx	SI			P	
10	240°-245°/45°-80°	N	SI			P	
11	045°-060°/65°-90°	N/Tsx	SI	SI		C	
12	270°-280°/65°-90°	Tsx	SI			P	
13	240°-245°	N	SI	SI		P	
14	240°-270°	N	SI	SI		P	
15	240°-245°	N	SI	SI		P	
16	190°-195°/60°-65°	N	SI			P	
17	270°-275°/85°-90°	Tsx	SI			P	
18	240°-275°/85°-90°	Tsx/N	SI	SI		P	

Tab. 1 - Area sismica di Colfiorito

movimento principalmente trascorrente sinistro).

In figura 1 è possibile individuare due fasce di deformazione dove sono concentrate le principali strutture del sistema. Tali fasce corrispondono, in alcuni tratti, a faglie singole, mentre in altri corrispondono ad associazioni di faglie.

La prima fascia di deformazione si sviluppa, per una lunghezza di circa 15 km, a partire da Passo Cornello e prosegue, con direzione Nord-Sud, fino al Piano di Colle Croce dove assume una direzione NNW-SSE fino alla Valle di Percanestro - Torrente Vigi.

Fanno parte di questa fascia di deformazione le seguenti faglie (Fig. 1; Tab. 1):

- la faglia di Valle della Eгна - Colle Croce, lunga 6 km circa, ha un andamento Nord-Sud, nel tratto Passo Cornello - Colle Croce. Prosegue poi verso Sud con un andamento NNW-SSE mascherata, nel tratto finale, dai depositi dei Piani di Colle Croce e di Annifo (Fig. 1, faglia n° 18).

- la faglia di Arvello, osservabile solo in un affioramento (in località di Arvello), è subverticale e diretta NNW-SSE per una lunghezza di 2,5 km circa (Fig. 1, faglia n° 14).

- la faglia di Ricciano, determinante per la formazione dell'omonimo piano, ha andamento NNW-SSE per una lunghezza di circa 2,3 km (Fig. 1, faglia n° 13).

- la faglia di Annifo - Palude di Colfiorito, situata poco più ad Ovest della faglia di Valle Egna - Colle Croce, ha un andamento NW-SE ed immersione verso SW (Fig. 1, faglia n° 15). Determinante per quanto riguarda la genesi delle depressioni della Palude di Colfiorito e di Annifo, detta faglia, nel tratto settentrionale, borda le suddette depressioni proseguendo poi verso Sud per una lunghezza totale di 3,5 km circa.

- la faglia di Civitella - Valle di Percanestro, affiorante per brevi tratti (in località Fraia, Civitella e Torre di Percanestro) ha un generale andamento NW-SE per 5 km circa (Fig. 1, faglia n° 11).

La seconda fascia di deformazione parte dalla zona nei pressi del M. Acuto e prosegue in direzione NNW-SSE fino a Nord del M. Tolagna continuando, poi, in direzione Nord-Sud fino al Torrente Vigi per una lunghezza di 15 km circa (Fig. 1).

Le faglie della seconda fascia di deformazione sono le seguenti (Fig. 1; Tab. 1):

- La faglia bordiera di Colfiorito, determinante per la formazione dei bacini di Colfiorito e Borgo, interessa l'intera fascia per tutta la sua lunghezza (Fig. 1, faglia n° 1). L'andamento della faglia varia da NNW-SSE, nel tratto settentrionale, a Nord-Sud nel rimanente tratto con un piccolo segmento ad andamento NNE-SSW. Il piano di faglia è subverticale nei tratti ad andamento Nord-Sud, mentre immerge verso Ovest nei tratti a direzione sub-appenninica.

- La faglia di M. Faento - Centare (Fig. 1, faglia n° 2) è un segmento lungo circa 4 km ubicato ad Est della faglia bordiera di Colfiorito. Detta faglia si biforca dalla faglia bordiera di Colfiorito nei pressi del Fosso dell'Orsara per poi ricongiungersi più a Sud, in località M. Miglione. La superficie di faglia ha una direzione che varia da circa Est-Ovest a circa Nord-Sud con immersione verso SW, nei tratti a direzione sub-appenninica, mentre in quelli circa Nord-Sud, è subverticale.

- L'insieme di faglie di M. il Castello - M. Pizzuto, situato più ad Ovest della faglia bordiera di Colfiorito, è costituito da una serie di strutture ad andamento da NNW-SSE a Nord-Sud per una lunghezza totale di 6 km circa (Fig. 1, faglie n° 3, 4, 5, 6). La generale immersione è ad Occidente. Il tratto meridionale della faglia n° 4, bordante la conca di San Martino, può essere considerata come la principale struttura generatrice della conca stessa.

3 La zona del Monte Vettore

Il bacino quaternario di Castelluccio è bordato ad ENE da una importante faglia ben esposta lungo il versante occidentale del Monte Vettore, dove si suddivide in due *splays* (Cello et al., 1997). Questi ultimi danno luogo a due scarpate ubicate nella Formazione della Corniola, che interrompono bruscamente il versante e

costituiscono un'importante elemento morfologico (Fig. 1; Tab. 2). Quella topograficamente più alta è chiamata "Cordone del Vettore".

A nord (Fig. 1), in località Forca Viola, la faglia ha andamento N-S e presenta strie trascorrenti indicative di movimento sinistro; nel tratto centrale ha andamento N150° e carattere transtensivo sinistro, mentre a sud in località Forca di Presta assume di nuovo direzione N-S e un carattere trascorrente sinistro (Calamita and Pizzi, 1992; Cello et al., 1997).

La faglia del "Cordone del Vettore" per le sue caratteristiche strutturali e morfologiche può essere considerata capace (*sensu* IAEA, 1991). Secondo Calamita et al., (1994) questa scarpata si è sviluppata dopo l'apice della glaciazione wurmiana (20-15ka), quindi, in base alle sue caratteristiche geometriche e cinematiche si ottiene un valore dello slip rate di 0.5-0.6 mm/yr (Cello et al., 1997).

4 La zona di Norcia

Sulla base di specifiche caratteristiche geologico-strutturali e geomorfologiche la zona di Norcia può essere suddivisa in tre settori: il settore di Preci-Campi e quelli del Piano di S. Scolastica e di Castel S. Maria-Cittareale (Fig. 1). Tutte e tre questi settori risultano aree epicentrali dei seguenti terremoti storici (Fig. 1; Stucchi, 1985;

N°	ORIENTAZIONE Innersione/pandenza: NNE - NNO/NNW - NNE	CINEMATICA N=normale T=trascorrente sinistra TT=trascorrente destra I=inversa	BEDROCK	DEPOSITI QUATERNARI	ATTIVAZIONE IN TEMPI STORICI	FAGLIA CAPACE (secondo IAEA, 1991) C=Certo P=Probabile	RIGETTO (in base di valutazione)
1	230°-240°/55°-65°	N/Tsx	SI			C	
2	230°-270°/55°-70°	N/Tsx	SI			C	
3	230°-235°/55°-65°	N/Tsx	SI			C	

Tab. 2 - Area sismica di Monte Vettore

Boschi et al., 1997): il terremoto del 1328 con area epicentrale Preci, il terremoto del 1730 con area epicentrale l'abitato di Norcia, il terremoto del 1979 con area epicentrale la zona compresa tra Castel S. Maria e Cittareale. Il terremoto del 14 gennaio 1703, di gran lunga il più distruttivo, ha avuto come area epicentrale la zona di Norcia nel suo complesso.

Numerose sono in questo settore dell'Appennino centrale le faglie che mostrano indizi di attività recente (Fig. 1; Tab. 3); qui ne verranno descritte alcune che, per lunghezza e rigetto, risultano le più importanti (Cello et al., 1997).

La depressione tettonica di Norcia, riempita da depositi continentali del Pleistocene-Olocene, è bordata da due faglie principali ad andamento NNW-SSE (Fig. 1, faglie n° 4 e 6). Evidenze di attività recente lungo dette faglie sono date da scarpate nei depositi continentali alla base dei versanti e da faccette triangolari (Blumetti e Dramis, 1992). Queste ultime sono ben osservabili in particolare sul

N°	ORIENTAZIONE Inclinazione-pendenza min - max/min - max	CINEMATICA N=normale Tsx=trascorrente sinistra Tdx=trascorrente destra Intravena	BEDROCK	DEPOSITI QUATERNARI	ATTIVAZIONE IN TEMPI STORICI	FAGLIA CAPACE (secondo IABA, 1991) C=Certo P=Probabile	RIGETTO (in base alla valutazione)
1	230°-235°/50°-60°	N	SI			P	
2	230°-270°	N/Tsx	SI			P	
3	240°-250°/55°-65°	N/Tsx	SI	SI		C	
4	220°-270°/60°-80°	N/Tsx	SI	SI	SI	C	
5	065°-075°/60°-65°	N/Tsx	SI	SI	SI	C	
6	235°-245°/60°-65°	N/Tsx	SI	SI		C	
7	230°-240°/50°-55°	N	SI		SI	C	
8	280°-290°/80°-85°	Tsx	SI	SI		C	
9	090°-095°/80°-85°	Tsx	SI			P	
10	060°-070°	N		SI		C	
11	245°-260°/65°-90°	N/Tsx	SI		SI	C	
12	270°-280°/80°	Tsx	SI	SI		P	
13	270°-285°/50°-70°	Tsx	SI			C	
14	240°-250°	N	SI			C	
15	230°-245°/55°-65°	N/Tsx	SI		SI	C	
16	245°-255°/60°-65°	N/Tsx	SI			C	
17	250°-255°	N		SI	SI	C	
18	270°-280°/85°-90°	Tsx	SI	SI	SI	C	
19	235°-245°/60°-65°	N	SI	SI		P	
20	275°-285°	Tsx		SI		P	
21	270°-275°/80°-90°	Tsx	SI			P	
22	055°-070°/55°-65°	N	SI			C	
23	175°-185°/70°-85°	N/Tdx	SI			P	
24	230°-240°/60°-70°	N	SI			P	
25	230°-240°/50°-60°	N	SI			P	
26	235°-240°/60°-70°	N/Tdx	SI	SI		P	
27	225°-240°/50°-55°	N/Tdx	SI			P	

Tab. 3 - Area sismica di Norcia

versante occidentale del quale interrompono bruscamente la regolarità; nei pressi di Misciano (Fig. 1) è inoltre presente una scarpata di faglia netta e continua nei depositi di conoide che, dall'analisi paleosismologica (Cello et al., 1998b), risultano olocenici.

La scarpata di faglia che attraversa la città di Norcia (Fig. 1, faglia n° 5) disloca i depositi del Pleistocene medio del conoide di M.Patino (Blumetti e Dramis, 1992) e, nella sua prosecuzione settentrionale, interessa un altro conoide sovrainposto al precedente e quindi più recente. Alla base della scarpata la superficie di faglia ha direzione N 150° e strie di *dip-slip*.

A sud del bacino di Norcia, vi è un'altra piccola depressione (bacino di Castel S. Maria) bordata da una faglia ad andamento N 160° (il cui rigetto stratigrafico si aggira intorno ai 100 m), che presenta una netta scarpata ad alto angolo (Fig. 1, faglia n° 11). Sulla base dell'età di quest'ultima (15-20 ka) e delle sue caratteristiche geometriche e cinematiche si ottiene un valore dello *slip rate* di 0.4-0.5 mm/yr (Cello et al., 1997). Alla base di detta scarpata si osserva una fascia di circa 20 cm di colore chiaro, dove sono del tutto assenti le colonie di licheni che invece sono ben sviluppate nel resto della superficie di faglia. Tale tratto è stato messo in relazione con la riattivazione della faglia durante il terremoto di Norcia ($M_s = 5.9$) del 19

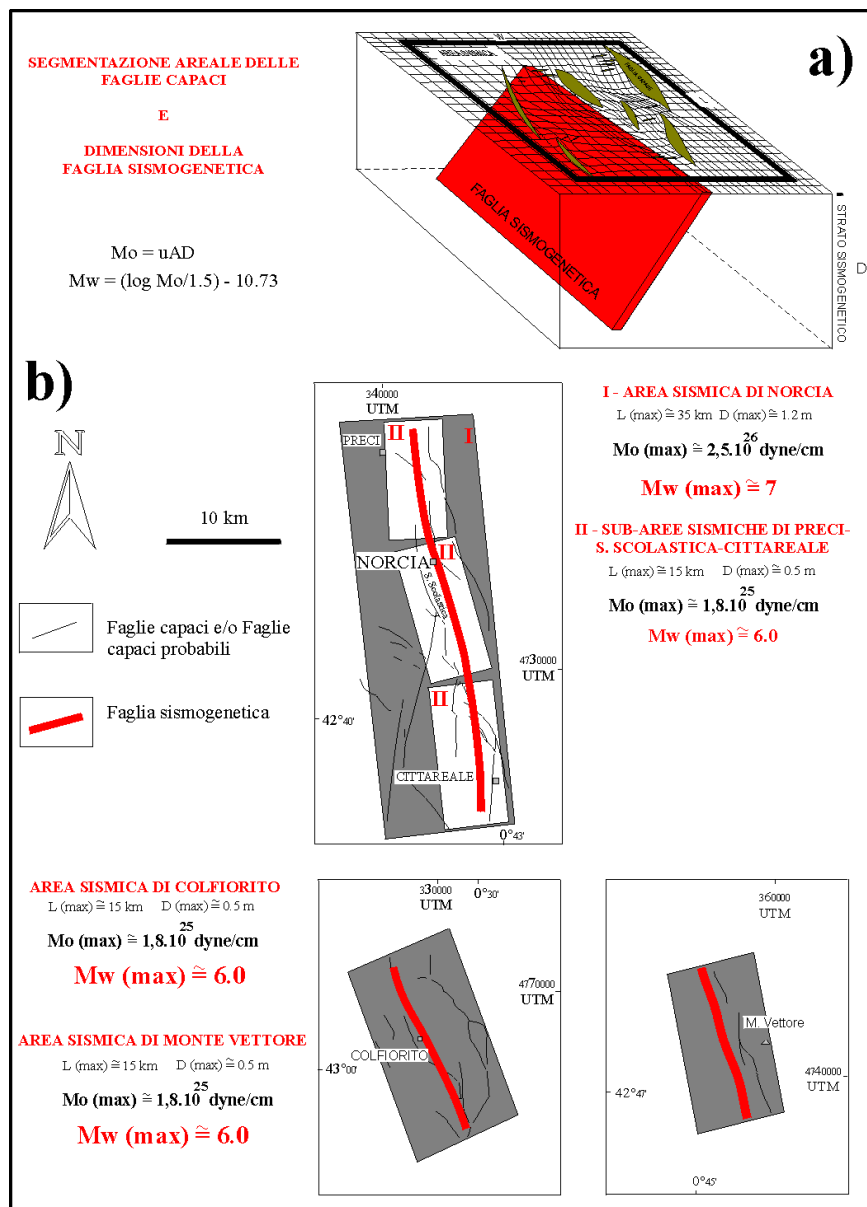


Fig. 2 - Segmentazione areale applicata alle aree sismiche di Colfiorito, Monte Vettore e Norcia.

settembre 1979 (Calamita e Pizzi, 1992).

Ancora più a sud, in località le Piatenette (versante occidentale di M. Pizzuto, Blumetti et al., 1990), faglie ad andamento NNW-SSE e con direzione delle strie N10°-20° mostrano nel substrato (Maiolica) scarpate di faglia ad alto angolo e continue (faglie n° 16 e 17). Il loro rigetto verticale è di circa 200 m e il piano di faglia, costituito da una superficie piana e lucida, presenta strie di abrasione che indicano un probabile movimento cosismico. 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 sua parte inferiore si osserva una scarpata di faglia, ubicata nei depositi di versante, di 20m di altezza e 30° di pendenza. Alla base di detta scarpata è presente un tratto, di 45 cm di altezza, a pendenza maggiore (45°) con il significato di “*scarplet*” (Cello et al., 1997).

5 Conclusioni

Le indagini effettuate, che consistono nell'acquisizione delle informazioni di dettaglio sui caratteri essenziali delle faglie capaci affioranti nelle aree di interesse, integrate con una rilettura critica del materiale geologico e geofisico disponibile, hanno permesso di definire, con l'appropriato dettaglio, sia il *pattern* della sismicità locale che l'assetto geometrico delle aree assiali di catena e hanno consentito l'applicazione di un modello di segmentazione discusso e verificato (per le aree in studio) nell'ambito del progetto 5.1.1 (Fig. 2).

Bibliografia

- 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.*, **6**, edited by L. Serva and D. B. Slemmons, pp. 83-100.
- Blumetti A. M., Dramis F., Gentili B., Pambianchi G. (1990): La struttura di M. Alvagnano-Castel Santa Maria nell'area nursina: aspetti geomorfologici e sismicità storica. *Rend. Soc. Geol. It.*, **13**, 71-76.
- Blumetti A. M., Dramis F. (1992) - Il Pleistocene inferiore nell'area nursina. *Studi Geol. Camerti*, Vol. spec., 55-64.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P. (1997): Catalogo dei forti terremoti in Italia 461 a.C. – 1990. *Istituto Nazionale di Geofisica e SGA storia geofisica ambiente*.
- Calamita F., Pizzi A. (1992): Tettonica quaternaria nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici. *Studi Geol. Camerti*, vol. spec., 17-25.
- Calamita F., Coltorti M., Farabollini P., Pizzi A. (1994): Le faglie normali quaternarie nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana. Proposta di un modello di tettonica d'inversione. *Studi Geol. Camerti*, Vol. spec., 211-225.
- 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.
- Cello G., Deiana G., Mangano P., Mazzoli S., Tondi E., Ferrelì L., Maschio L., Michetti A., Serva L., Vittori E. (1998a): Evidence for surface faulting during the September 26, 1997, Colfiorito (Central Italy) earthquakes. *J. Earthq. Eng.*, **2** (2), 303-324.

- Cello G., Mazzoli S., Tondi E. (1998b): The 1703 seismic sequence of central Italy: A major evidence of a crustal seismogenic zone in the Umbria-Marche-Abruzzi Apennines. *J. Geodyn.*, **26** (2-4), 443-460.
- Cello G., Gambini R., Mazzoli S., Read A., Tondi E., Zucconi V. (2000): Fault zone characteristics and scaling properties of the Val d'Agri Fault System (Southern Apennines, Italy), *J. Geodyn.*, **29** (3-5), 293-307.
- Galadini F., Galli P., Giraudi C. (1997): Geological investigation of Italian earthquakes: new paleoseismological data from the Fucino Plain (Central Italy), *J. Geodyn.*, **24**, 87-103.
- 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).
- Michetti A. M., Brunamonte F., Serva L., Vittori E. (1996): Trench investigations of the 1915 Fucino earthquake fault scarps (Abruzzo, Central Italy): geological evidence of large historical events, *J. Geophys. Res.*, **101**(B3), 5921-5936.
- Stucchi M. (1985): The earthquakes in central Italy, January-February 1703. Some question, 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., Cello G., Mazzoli S. (1997): Strutture sismogenetiche in Appennino centrale: potenziale sismico, analisi frattale e processi di crescita. *Il Quaternario*, **10** (2), 409-414.
- Tondi E. (2000): Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines (Italy), *J. Geodyn.*, **29** (3-5), 517-533.