

Analisi delle relazioni tra sismicità e strutture tettoniche in Umbria-Marche-Abruzzo finalizzata alla realizzazione della mappa delle zone sismogenetiche

G. Lavecchia, P. Boncio, F. Brozzetti

Dipartimento di Scienze della Terra, Università "G. d'A." Chieti (e-mail: glavecchia@unich.it)

1 Introduzione e metodologie di lavoro

Nell'ambito dei Sotto-Progetti 5.1.1 e 5.1.2, l'U.R. Chieti 1 si è occupata dell'analisi delle relazioni fra sismicità e strutture tettoniche nell'area umbro-marchigiana-abruzzese al fine di portare nuovi contributi ed idee per l'individuazione delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili e per la realizzazione della mappa delle zone sismogenetiche. I risultati della ricerca sono schematizzati e sintetizzati in tre elaborati principali: 1) Carta degli allineamenti di faglie quaternarie rilevanti dal punto di vista sismogenetico e relativa Tabella descrittiva, con parametri geometrici delle strutture; 2) Carta delle *box* sismogenetiche e relativa Tabella descrittiva, con possibili associazioni terremoto-struttura; 3) Zonazione sismotettonica dell'area intra-appenninica in distensione.

L'approccio della nostra U.R. all'analisi sismotettonica e sismogenetica è di tipo prevalentemente strutturale-cinematico. Riteniamo, infatti, che il contributo della geologia *s.l.* all'individuazione di strutture possibilmente sismogenetiche debba essere molto articolato e tenere nella dovuta considerazione sia l'analisi geomorfologica e morfotettonica delle strutture tardo-quaternarie, sia lo studio delle evidenze stratigrafiche di terremoti passati, sia l'analisi dell'evoluzione cinematica della regione appenninica nell'ambito di una storia deformativa più lunga nel tempo. Alcuni degli eventi sismici intra-appenninici degli ultimi anni hanno chiaramente dimostrato l'attivazione di strutture per le quali mancavano evidenze paleosismologiche e/o indizi d'attività tardo-quaternaria.

In particolare, il nostro lavoro in ambito GNDT si è articolato in varie fasi: 1) definizione della geometria superficiale e profonda delle strutture distensive quaternarie, sulla base di dati di rilevamento geologico-strutturale, di dati di sismica a riflessione e conseguente costruzione di sezioni geologiche bilanciate, ed utilizzo di dati di letteratura per caratterizzare le strutture dal punto vista morfotettonico, paleosismologico e sismologico; 2) per alcune aree campione, revisione dei dati sismologici strumentali registrati con reti sismiche locali (fisse e temporanee) mediante ri-localizzazione degli stessi utilizzando modelli di velocità costruiti sulla base dei dati geologico-strutturali e geofisici acquisiti al punto uno; 3) confronto della geometria delle strutture così definite con la distribuzione superficiale e profonda dei maggiori terremoti strumentali e delle associate repliche, nonché con la distribuzione della microsismicità diffusa; 4) confronto, sulla base dell'analisi del tensore degli sforzi, fra il campo di stress deducibile dagli indicatori cinematici delle faglie quaternarie (plio-quaternarie nel caso dell'Umbria occidentale) e quello ricavabile dai meccanismi focali; 5) individuazione e parametrizzazione, sulla base dei punti sopraddetti, delle

strutture possibilmente sismogenetiche, ovvero delle strutture per le quali si osserva una buona corrispondenza fra la geometria e la cinematica della deformazione definite su base geologica e su base sismologica; 6) elaborazione di una zonazione sismo-tettonica basata sulla proiezione in superficie delle strutture tardo plioceniche-quadernarie che controllano la sismicità dell'area e/o sono associate a terremoti moderati e forti ($M \geq 5.5$).

2 Allineamenti di faglie quadernarie rilevanti dal punto di vista sismogenetico

Nell'ambito del Sotto-progetto 5.1.2, è stata realizzata una carta degli allineamenti di faglie quadernarie ovest-immidenti, rilevanti dal punto di vista sismogenetico, dell'area intra-appenninica umbro-marchigiana-abruzzese ed una relativa parametrizzazione delle singole strutture. La carta è stata realizzata sulla base di dati editi ed inediti degli Autori (dati geologico-strutturali di superficie e profondi), integrati con dati morfotettonici, paleosismologici e sismologici di letteratura, per quanto riguarda il settore umbro-marchigiano e l'area Magnola-Fucino-Val di Sangro-Barrea, mentre è stata elaborata su base compilativa per i restanti settori (si vedano i Riferimenti bibliografici in Tab. 1).

Sono stati identificati tre allineamenti principali di faglie quadernarie normali ed oblique, che si sviluppano in direzione NNW-SSE con locali *bending* in direzione WNW-ESE (Fig. 1):

- 1) allineamento interno: M. Subasio - Spoleto e *fault system* Martani sud - Rieti - Fucino - Val di Sangro;
- 2) allineamento intermedio: *fault system* Gubbio - Colfiorito - Norcia - Montereale - Aterno - Sulmona;
- 3) allineamento esterno: *fault system* M. Vettore - Campotosto - Gran Sasso e possibile prosecuzione settentrionale nella struttura di M. San Vicino.

Il campo di sforzi associato è distensivo con σ_3 in direzione SW-NE (Boncio e Lavecchia, 2000 *cum bibl.*). Ogni allineamento (*fault system* regionale) è costituito da *master faults* continue per alcune decine di chilometri in profondità, a volte segmentate in strutture di ordine gerarchico minore, spesso vicarianti secondo un *pattern en échelon* destro. In Tabella 1 sono sintetizzate le caratteristiche geometriche e cinematiche delle singole strutture. Tutte le *master faults* individuate sono, a nostro avviso, definibili sismogenetiche perché caratterizzate, il più delle volte, da evidenze di campagna di attività tardo-quadernaria (Tab. 1 *cum bibl.*) e perché associabili a paleosismi e/o a rilevanti ($M > 5$) terremoti strumentali e storici. Indicazioni sulla profondità massima delle strutture sismogenetiche derivano da dati sismologici e di sismica a riflessione (Bagnaia et al., 1996; Boncio e Lavecchia 1999, 2000, in stampa; Boncio et al., 1998a, 1998b). In generale, si osserva un progressivo approfondimento della base delle strutture sismogenetiche spostandosi da NW verso SE. E' infatti possibile stimare profondità sismogenetiche di circa 6 Km per la struttura di Gubbio (5), 8 Km per Colfiorito (6), 6-7 Km per la struttura di S.Martino-M.Civitella (7a), circa 11 Km per le strutture di Preci-F. d'Ancarano (7b) e Nottoria-M. Pizzuto (7c), circa 12-13 Km per le strutture di M. San Vicino (1) e M. Bove-M. Vettore (2). Le profondità sismogenetiche raggiungono 13-14 Km in corrispondenza delle strutture di

M.Gorzano – Campotosto (3), di Montereale (8b), della Val di Sangro (19b) e di Barrea – Castelnuovo a Volturno (20).

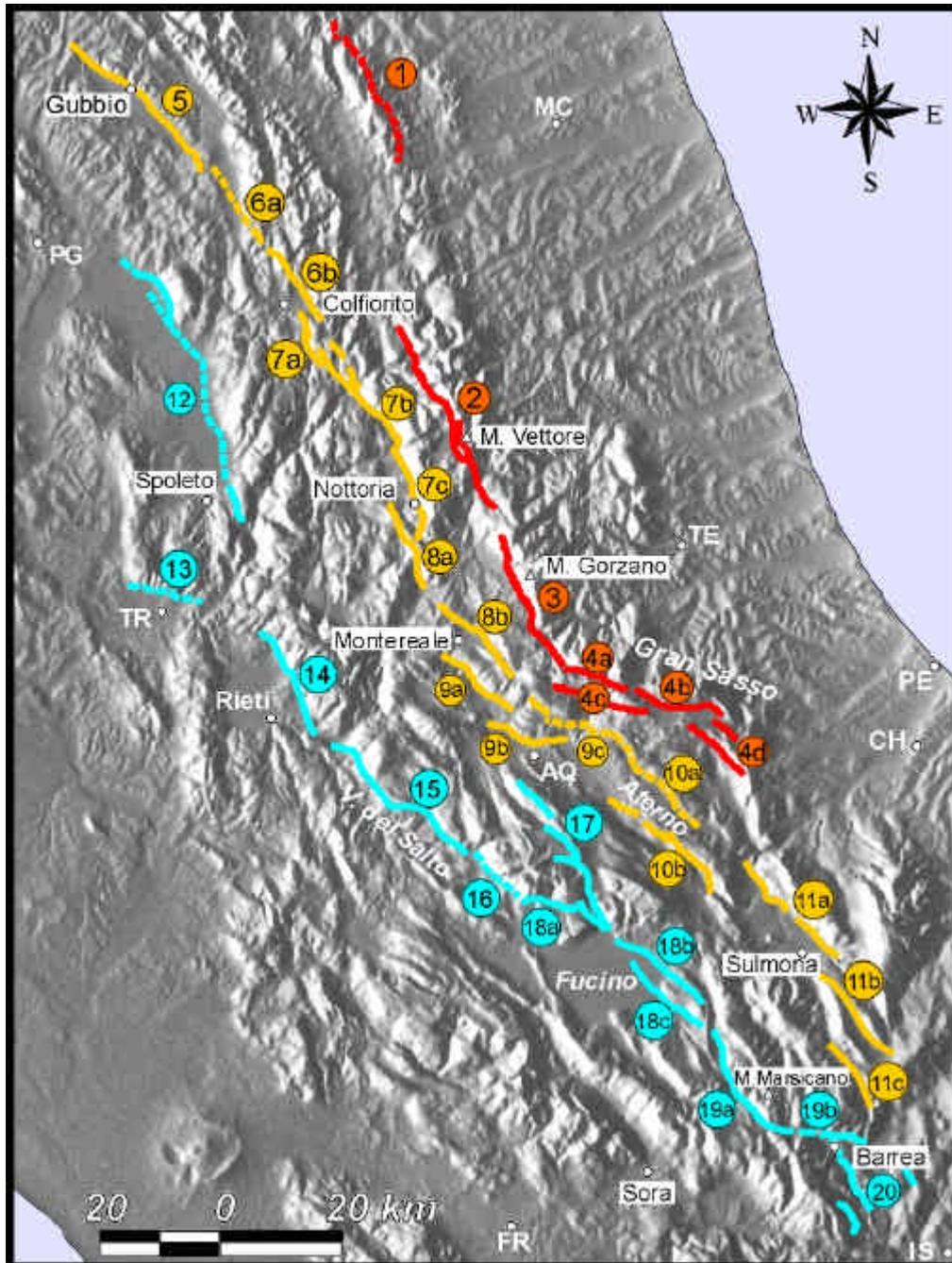


Fig. 1 - Carta degli allineamenti di faglie quaternarie ovest-immergenti, rilevanti dal punto di vista sismogenetico, dell'area intra-appenninica umbro-marchigiana-abruzzese. Azzurro: allineamento interno; Giallo: allineamento intermedio; Rosso: allineamento esterno. La numerazione progressiva (1,2 ...) identifica le master faults; le lettere (a,b,c ...) si riferiscono a strutture minori all'interno di una singola master fault (vedi Tab. 1). Il tratteggio identifica faglie sepolte o con dubbio ruolo sismogenetico. Sullo sfondo, shaded relief dell'Italia centrale (da Reichenbach et al., 1992).

MF	Struttura	Giacitura in superficie (°)			Dimensioni (Km)				Geom.	Cinem.	Tensore degli Sforzi				Attività tardo Quat.	
		dir.	imm.	incl.	L	W	Ws	D			σ_1	σ_2	σ_3	Rif.		Rif.
1	M. S. Vicino (#)	140-170	SW	40-60	25	20	15	13	listrica	dip slip	08386	32901	23903		/	
2	M.Bove-M.Vettore	140-170	SW	60	35	21	13	13	listrica	dip slip	30278	14210	05104		SI	G1, G2
3	M.Gorzano-Campotosto	150-160	SW	50-70	29	16(?)	13(?)	13-14	/	dip slip	23484	32601	05606	MT91	SI	B90
4	a) Corno Grande	100-105	SSW	70	11	/	/	/	/	/	max estensione NNE			G1	SI	G2, VG98
	b) Campo Imperatore	090-120	SSW	40-70	15	/	/	/	/	dip slip / transt. dx	max estensione NNE			G1	SI	G1, G2
	c) Assergi	100	SSW	60	16	/	/	/	/	dip slip / transt. dx	max estensione NNE			G1	SI	G1, G2
	d) M.Cappucc.-M. S.Vito	130	SW	70-80	12	/	/	/	/	/	/	/	/		SI	G2, VG98
5	Gubbio	130	SW	50	30	10	10	6	listrica	dip slip	04480	14200	23210		SI	
6	a) Gualdo Tadino	150(?)	SW	/	15	12(?)	9-10	6-7(?)	listrica(?)	/	/	/	/	/	/	/
	b) Colfiorito	145	SW	55	15	14	10	8	listrica	dip slip	max estensione NE				SI	G1, G3
7	a) S. Martino-M.Civitella	145	SW	60	11	10	8	6-7	listrica	dip slip	max estensione NE				SI	G1, G3
	b) Preci-F.ca d'Ancarano	135-150	SW	50	12	11	9	11	listrica	dip slip	17169	33320	06505		SI	
	c) Nottoria-M. Pizzuto	140-180	SW-W	50-75	17	11	9	11	listrica	dip slip / transt. sx	17169	33320	06505		SI	
8	a) Cast.S.Maria-Cittareale	150-160	SW	65	14	/	/	/	/	dip slip / transt. sx	04888	14201	23202		SI	G1, G3
	b) Montereale	125-145	SW	60	18	16(?)	10(?)	13-14	/	dip slip(?)	/	/	/	/	SI	G2
9	a) Pizzoli	120-130	SW	70	15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	SI	G2, B96
	b) M.Pettino	100-120	SSW-SW	60-80	14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	SI	G2
	c) Camarda (#)	90	S	60-80	11	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
10	a) Aterno SW (#)(+)	120-150	SW	70-80	22	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	b) Media Valle dell'Aterno (+)	120-130	SW	50-70	23	/	/	/	/	dip slip	max estensione NE			G1	SI	G1
11	a) Sulmona (+)	130-140	SW	50-80	22	/	/	/	/	dip slip	max estensione NE			G1	SI	G1, G2
	b) Pizzalto (+)	150	SW	80	18	/	/	/	/	/	/	/	/		SI	G2
	c) Piano Cinque Miglia (+)	140-160	SW	70-80	13	/	/	/	/	dip slip	/	/	/		SI	G2
12	Subasio-Spoleto(#) (continuità dubbia)	145-180	SW-W	/	52	5-6(?)	4(?)	4	listrica(?)	dip slip / transt. sx	/	/	/	/		/
13	Martani sud (#)	090-100	S-SSW	70	11	/	4-10	/	/	transt. dx	23780	12603	03508			
14	Conca di Rieti	140-160	WSW	80	19	/	/	/	/	dip slip	max estensione NE			C89	SI	M95

MF	Struttura	Giacitura in superficie (°)			Dimensioni (Km)				Geom.	Cinem.	Tensore degli Sforzi				Attività tardo Quat.	
		dir.	imm.	incl.	L	W	Ws	D			σ_1	σ_2	σ_3	Rif.	Rif.	
15	Valle del Salto	090-140	S-SW	60	30	/	/	/	/	/	/	/	/	/	SI	G2
16	M. Velino	130	SW	35-55	12	/	/	/	/	dip slip	max estensione NE				/	
17	Campo Felice-Ovindoli	125-170	SSW-SW	45-80	30	/	/	/	/	dip slip / transt. sx	max estensione NE-NNE				SI	G1, G2, P96
18	a) Magnola	90-100	S-SSW	35-50	10	/	/	/	/	dip slip / transt. dx	max estensione NNE				SI	G1, G2
	b) M. Parasano	110-145	SSW-SW	60	18	/	/	/	/	dip slip	max estensione NE				SI	S86, G2
	c) Gioia dei Marsi	140	SW	55-65	16	/	/	/	/	dip slip	max estensione NE				SI	S86, G2
19	a) M. Marsicano	145	SW	55-75	19	/	/	/	/	dip slip / transt. sx	max estensione NE-NNE					
	b) Val di Sangro	100	SSW	70-80	17	14	5	13-14	plana-re ?	dip slip / transt. dx	max estensione NE-NNE					
20	Barrea-Castel N. a Volturmo (#)	150	SW	65	13	18	10	13-14	listrica	dip slip	max estensione NE					

Tab. 1 - Parametri geometrici e cinematici delle strutture appartenenti alle principali master faults (MF) sismogenetiche dell'area appenninica umbro-marchigiana-abruzzese. **Dimensioni:** L = lunghezza lungo la direzione; W = lunghezza lungo l'immersione; Ws = larghezza della proiezione in superficie della faglia; D = profondità della faglia sismogenetica. L'orientazione degli assi del tensore degli sforzi è espressa in trend (prime 3 cifre) e plunge. (#) = struttura di rilevanza sismogenetica prevalentemente sulla base di considerazioni sismotettoniche (associazione con terremoti strumentali e/o storici); (+) = l'ipotesi di appartenenza ad un'unica Master Fault sismogenetica continua in profondità è dubbia. **Riferimenti bibliografici citati in Tabella (Rif.):** G1, G2, G3 = GNDT-Progetto 5.1.2, contributi delle Unità di Ricerca (G1 = UR_Chieti, F. Calamita; G2 = UR_CNR-IRTR; G3 = UR_Camerino); S86 = Serva et al. (1986); C89 = Cavinato et al. (1989); B90 = Bachetti et al. (1990); MT91 = Marsili e Tozzi (1991); M95 = Michetti et al. (1995); B96 = Bagnaia et al. (1996); P96 = Pantosti et al. (1996); VG98 = Vezzani e Ghisetti (1998).

3 Le box sismogenetiche intra-appenniniche

Con il termine «box sismogenetica» si è inteso definire un'area sostanzialmente omogenea dal punto di vista cinematico e sismotettonico, che rappresentasse la proiezione in superficie di una *master fault* sismogenetica (Fig. 2). La larghezza (Ws) delle *box* rappresenta la proiezione in superficie della lunghezza lungo l'immersione (W) del piano di faglia sismogenetica ed è funzione dell'inclinazione e della profondità (D) dello stesso. La scelta di definire le *box* sulla base delle caratteristiche geometriche tridimensionali delle *master faults*, e cioè di strutture di importanza regionale sostanzialmente continue in profondità, piuttosto che dalla geometria dei singoli segmenti che a volte caratterizzano le *master faults* stesse, deriva dalla convinzione che la continuità in profondità è una caratteristica geometrica da considerare di primaria importanza se si vuole valutare il massimo potenziale sismogenetico di una struttura ai fini delle stime di pericolosità. Tale continuità si traduce infatti nella possibilità che l'intera struttura venga attivata da un unico episodio di rottura, oppure da più episodi di rottura separati da brevi intervalli di tempo (dell'ordine dei secondi o minuti), fenomeno, quest'ultimo, che non differisce sostanzialmente dal

primo ai fini delle stime di pericolosità sismica. La carta delle *box* sismogenetiche, quindi, è stata realizzata a partire dalla carta delle *master faults* sismogenetiche di Figura 1 e vuole essere il primo passo verso uno strumento da utilizzare per calcoli di pericolosità sismica basati su sorgenti sismogenetiche individuali tridimensionali (es. Peruzza et al., 1997). All'interno della *box* si localizza l'epicentro del terremoto massimo atteso, la cui magnitudo è funzione della dimensione della struttura.

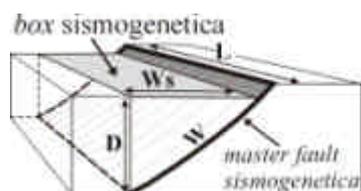


Fig. 2 - Blocco diagramma illustrante il significato di box sismogenetica. Vengono indicate: profondità (*D*), lunghezza lungo la direzione (*L*) e lungo l'immersione (*W*) e larghezza della proiezione in superficie (W_s = larghezza box) della master fault sismogenetica.

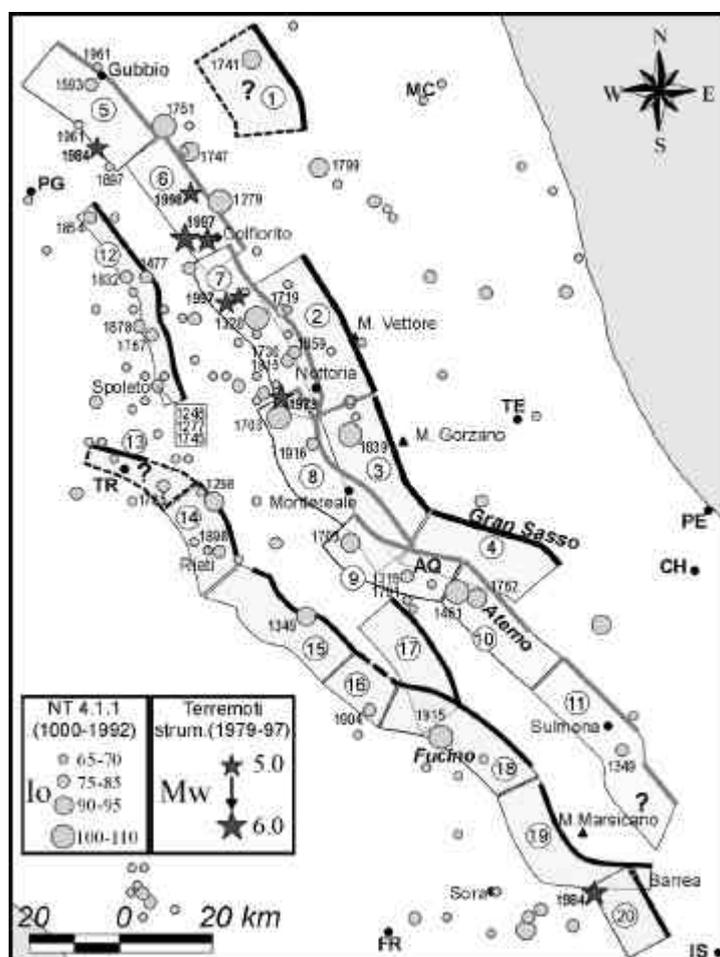


Fig. 3 - Carta delle «box sismogenetiche» con epicentri dei terremoti storici (dal 1000 al 1992) e dei maggiori terremoti strumentali (dal 1979 al 1997, $M_w \geq 5.6$). La numerazione fa riferimento alla Tabella 2, dove vengono forniti i parametri geometrici delle singole box. Le linee spesse coincidono con la traccia di superficie delle master faults sismogenetiche di Figura 1. A tratteggio vengono raffigurate le box con dubbio ruolo sismogenetico.

Nell'area umbro-marchigiana-abruzzese (Fig. 3), le *box* si sviluppano mediamente in direzione NNW-SSE e rappresentano la proiezione in pianta del volume sismogenetico in corrispondenza ed al tetto di *master faults* distensive immergenti verso SW. Per la maggior parte delle *box* (n.1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 20) i valori di D e W sono stati desunti dai dati di sottosuolo specificati nel Paragrafo precedente. Negli altri casi, i valori di W e Ws sono del tutto ipotetici, essendo stati estrapolati facendo riferimento alle strutture note contigue.

In Tabella 2 sono riportati i dati sulla geometria delle *box*, le possibili associazioni con terremoti storici e/o strumentali, le giaciture degli assi P e T dei meccanismi focali dei principali terremoti strumentali, nonché le giaciture degli assi principali dei relativi tensori dello sforzo ricavati dall'applicazione del metodo di inversione di Carey. Nella tabella sono anche riportate le dimensioni delle superfici di rottura profonda, calcolate tramite l'applicazione delle leggi di scala (Wells e Coppersmith, 1994) nel caso dei terremoti storici e misurate sulla base della distribuzione degli *aftershocks* nel caso dei maggiori terremoti strumentali. Se si mettono a confronto le dimensioni della struttura sismogenetica attivata in occasione di eventi storici o recenti e le dimensioni della *master fault*, valutate sulla base di criteri geologici *s.l.*, è interessante osservare che il più delle volte, il massimo terremoto osservato non attiva l'intera struttura. Fanno eccezione i terremoti di Norcia 1703 (M=6.8) e del Fucino 1915 (M=7).

4 Proposta preliminare di zonazione sismotettonica e sismogenetica

4.1 Breve introduzione al «Etrurian fault system»

La zonazione sismotettonica alla quale stiamo lavorando è fortemente controllata dalla geometria di elementi tettonici quaternari rilevanti nel generare terremoti e/o nel definire il limite tra zone attualmente in deformazione rispetto a zone sostanzialmente stabili. In particolare, nell'area umbra la distribuzione della sismicità strumentale e storica sembra fortemente controllata dalla geometria di una faglia diretta est-immergente, la Faglia Altotiberina (FA), la cui esistenza è ben documentata da dati geologici di superficie integrati con dati di pozzo (Perugia 2, San Donato 1), di sismica a riflessione (profilo CROP 03 e profili commerciali) ed a rifrazione (profilo DSS 78) (Barchi et al., 1998; Boncio et al., 1998b). La faglia ha una inclinazione media di 30° verso NE e rappresenta lo scollamento basale di faglie quaternarie sismogenetiche SW-immergenti, quali la faglia di Gubbio. La traccia di superficie della FA separa un settore quasi asismico ad ovest, al letto della FA, da un settore in distensione interessato da attività sismica ad est, al tetto della FA. Le faglie, sintetiche ed antitetiche al tetto della FA, a loro volta, consentono di suddividere il settore in distensione in una serie di blocchi strutturali che presentano differenti caratteristiche nella distribuzione e nell'entità della sismicità (Fig. 4). La FA è vincolata per una lunghezza di circa 70 km da San Sepolcro a Bettona. La FA rappresenterebbe lo *splay* orientale di un sistema est-immergente, denominato «Etrurian fault system» (EF system, Boncio et al., in stampa), la cui emergenza (*i.e. breakaway*) è localizzata più internamente, cioè ad ovest della traccia di superficie della FA. Nell'area umbra

Box sismogenetica	Dimensioni box			Terremoti storici associati					Superficie di rottura (§)			Terremoti strumentali associati				Superficie di rottura (^)			Meccanismo focale			Tensore Sforzi (sismologico)		
	L	Ws	D	data	Io	Mn	Mc	Struttura attivata @	R L D	R W	R A	data	M _s	M _v	Struttura attivata @	R L D	R W	R A	Tax	Pax	Rif.	σ1	σ2	σ3
1- M. S. Vicino	25	15	13	24/4/1741 ?	90	6.0	6.1	1	15	10	135	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2- M. Bove- M. Vettore	35	13	13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3- M. Gorzano - Campotosto	29	13	13	07/10/1639	100	6.6	5.9	3	12	8	93	Ago-Sett '92 20/10/1996	MI 3.9 MI 4.2	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4- Gran Sasso s.l.	30	13	13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5- Gubbio	30	12	6	23/04/1593	75	5.1	5.6	5	/	/	/	19/04/1984	5.2	5.6	5 (porzio- ne centro- merid.)	12	5	60	03925	20364	CMT	10478	30711	12160
				01/3/1897 ?	65	4.6	/	5 (termin. merid.)	/	/	/													
				23/03/1961	65	4.6	/	5	/	/	/													
6- Gualdo T. - Colfiorito	31	10	6-8	27/07/1751	100	6.6	6.2	6a	17	11	164	26/09/1997 02:33	5.5	5.7	6b	19	10	190	05208	17675	CMT	19573	31508	04714
				01/3/1897(?)	65	4.6	/	6a (termin. settent.)	/	/	/	26/09/1997 11:40	5.9	6.0					05006	21484	CMT			
				03/04/1998	4.8	5.1	6a	/	/	/	05423	22467	CMT											
7- Norcia s.l.	44	10	11	01/12/1328	100	6.6	6.2	7b(+7a?)	17	11	164	19/09/1979	5.9	5.9	7c	14	7.5	105	07919	23169	CMT	10378	30710	12160
				14/01/1703	110	7.1	6.8	7a+7b+7c	33	17	508													
				27/06/1719	75	5.1	5.0	7b	/	/	/													
				12/05/1730	85	5.8	5.9	7c	12	8	93													
				03/9/1815 ?	75	5.1	/	7c	/	/	/													
22/08/1859	85	5.8	5.3	7b	/	/	/	14/10/1997	5.5	5.6	7a	17	6.5	110	05111	15755	CMT	19573	31508	04714				
03/907	27281	E98																						
8- Montereale s.l.	45	10	13- 14	02/02/1703	100	6.6	6.7	8b	29	16	421	Seq. Giu '94	MI 3.7	8b	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
16/11/1916 ?	75	5.1	/	8a	/	/	/																	
9 - Aquilano s.l.	27	10	/	03/12/1315 ?	90	6.0	/	9b	13	9	112	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
01/1791	75	5.1	/	/	/	/																		
10 - Aterno	30	10	/	26/11/1461	100	6.6	6.1	10a(+10b?)	15	10	135	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
06/10/1762	90	6.0	5.5	10a	/	/	/																	
11 - Sulmona + Pizzalto - Cin- que Miglia	22	10 (\$)	/	03/12/1315 ?	90	6.0	/	/	13	9	112	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	
12 - Valle Umbra	43	4	4	02/02/1477	75	5.1	/	12 (Valle Umbra Nord)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
				13/01/1832	85	5.8	5.6	/	/	/														
				12/02/1854	75	5.1	/	/	/	/														

Box sismogenetica	Dimensioni box			Terremoti storici associati				up. di rottura (\$)	Terremoti strumentali associati				up. di rottura (^)	Meccanismo focale			Tensore Sforzi (sismologico)											
	L	Ws	D	data	Io	Mm	Me		Struttura attivata @	RLD	RW	RA		data	Ms	Mv	Struttura attivata €	RLD	RW	RA	Tax	Pax	Rif.	σ1	σ2	σ3		
12- Valle Umbra	43	4	4	05/06/1767	75	5.1	5.3	12 (Valle Umbra Sud)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/			
				1246	75	5.1	/		/	/	/															/	/	/
				1277	80	5.4	/		/	/	/															/	/	/
				03/1745	75	5.1	/		/	/	/															/	/	/
				15/09/1878	80	5.4	5.3		/	/	/															/	/	/
13- Martani Sud	27	da 4 a 10	/	09/10/1785	80	5.4	5.2	13	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
14- Reatino	21	10 (\$)	/	01/12/1298	85	5.8	6.2	14	17	11	164	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
				27/06/1898	75	5.1	5.3		/	/	/																	
15- Valle del Salto	33	10 (\$)	/	09/1349 ??	95	6.3	7.1	15	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
16- Monte Velino	12	10 (\$)	/	24/02/1904	85	5.8	5.5	16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
17- C. Felice-Ovindoli	30	10 (\$)	/	09/1349 ??	95	6.3	7.1	17	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
18- Fucino s.l.	38	10 (\$)	/	13/01/1915	110	7.1	7.0	18a+18b+18c	42	20	741	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
19- Marsicano-Val di Sangro	36	10-5	13-14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/				
20- Barrea	18	10	13-14	/	/	/	/	/	/	/	/	07/05/1984	5.8	5.9	20	6	7.5	45	05719	18963	CMT	/	/	/				

Tab. 2 - Parametri geometrici delle «box sismogenetiche» ed associazioni terremoti-box. Dimensioni box: i parametri L, Ws e D fanno riferimento alla Figura 2. Terremoti storici (dal Catalogo C.P.T.I. 1999): Io = Intensità epicentrale; Mm = Magnitudo macrosismica da relazione tabellare (C.P.T.I., 1999); Me = Magnitudo macrosismica equivalente (C.P.T.I., 1999). Superficie di rottura: RLD = lunghezza lungo la direzione della rottura profonda; RW = lunghezza lungo l'immersione della rottura profonda; RA = area della rottura. Riferimenti bibliografici citati in Tabella (Rif.): CMT = www.seismology.harvard.edu/CMT; E98 = Ekstrom et al. (1998). @ = la numerazione fa riferimento alle strutture sismogenetiche di Figura 1 e Tabella 1; (?) = l'associazione del terremoto storico alla struttura è dubbia; (\$) = la larghezza della box sismogenetica è stata estrapolata facendo riferimento alle profondità delle strutture note appartenenti allo stesso fault system regionale; (\$) = le relazioni di scala di Wells e Coppersmith (1994) per terremoti distensivi sono state applicate ai terremoti di magnitudo (Me) superiore a 5.7 (Ms=Mw) ad eccezione degli eventi con forte discrepanza fra i valori di Mm ed Me ($\log RLD=0.5Mw-1.88$; $\log RW=0.35Mw-1.14$; $\log RA=0.82Mw-2.87$). I valori ottenuti danno l'ordine di grandezza della struttura attivata. (^) = Superficie di rottura misurata dagli aftershocks.

la *breakaway* dell'EF system si localizza ad occidente dell'alloctono distensivo dei Massicci Perugini, mentre più a sud può essere identificata nella faglia diretta a basso angolo est-immersa della zona di Narni (Boncio et al., 1995). Verso nord, una possibile continuazione della *breakaway* dell'EF system può essere individuata nella zona di taglio est-immersa che delimita ad ovest i *graben* del Casentino, del Mugello e poi, ancora spostandosi verso nord, nella faglia bordiera occidentale del *graben* della Garfagnana e di quello della Lunigiana (Artoni et al., 1992).

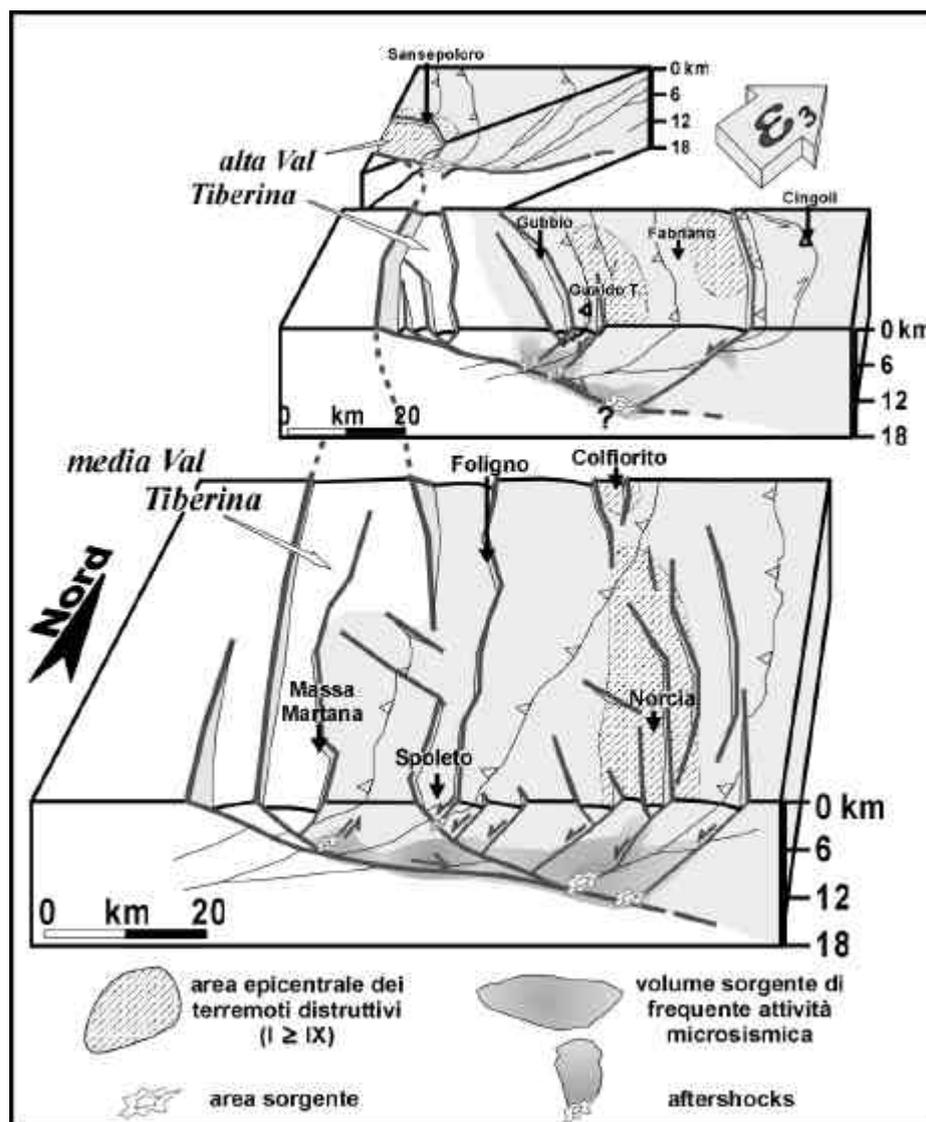


Fig. 4 - Modello sismotettonico per l'Appennino umbro-marchigiano. In grigio viene rappresentato il blocco considerato attivo al tetto della Faglia Altotiberina, all'interno del quale si distribuisce prevalentemente la sismicità; in bianco vengono indicati i blocchi relativamente asismici; in grigio scuro vengono schematizzate le aree in sezione a maggiore concentrazione di microsismicità. L'asterisco indica l'ipotizzata area di enucleazione dei maggiori terremoti. La freccia indica la direzione di allontanamento del blocco di tetto attivo (i.e. e_3).

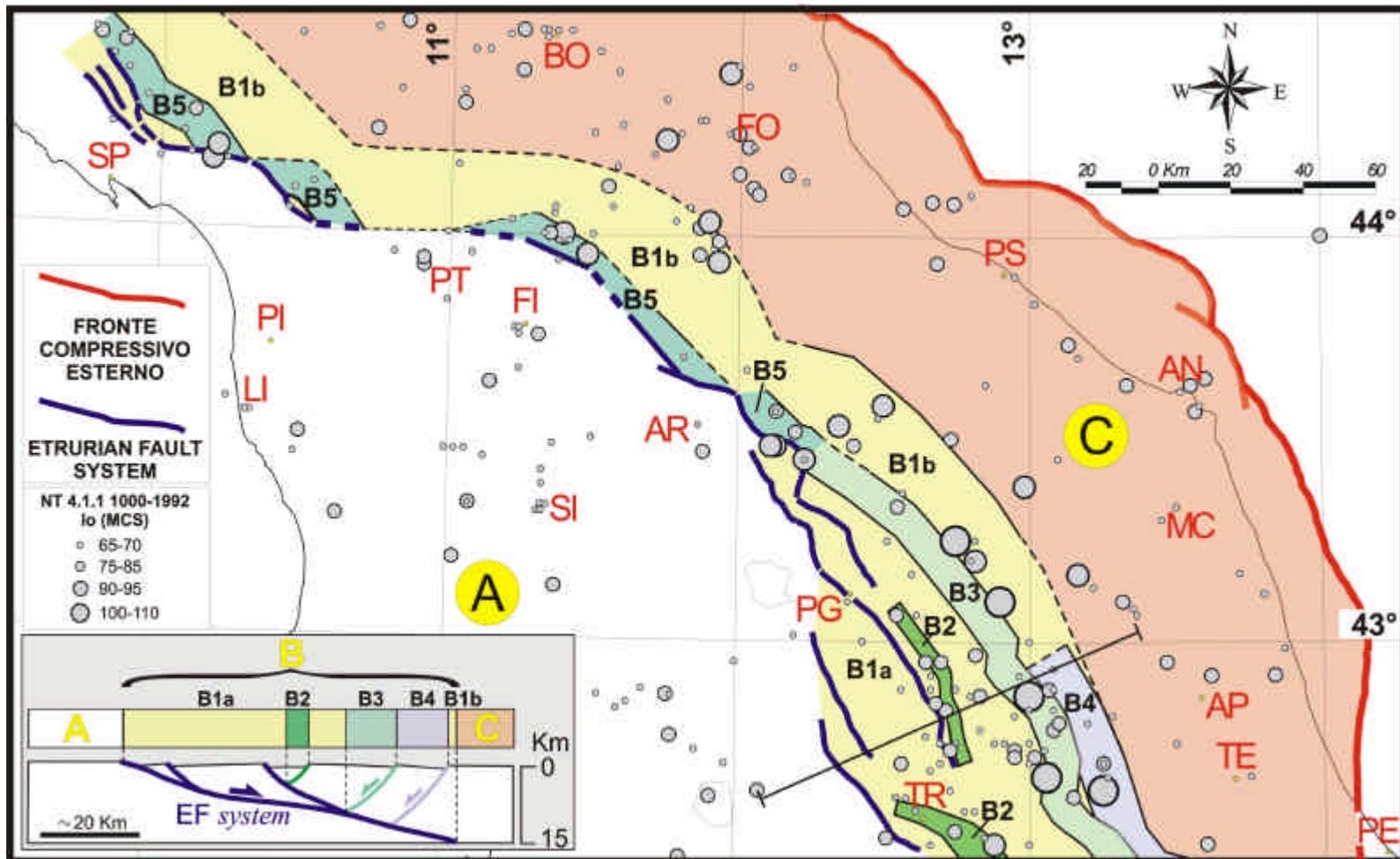


Fig. 5 – Carta delle zone sismotettoniche (preliminare). In bianco viene rappresentata l'area toscana a crosta assottigliata (Settore A); in giallo, verde e celeste vengono indicate le varie zone all'interno dell'area appenninica in distensione (Settore B); in arancio viene rappresentata l'area appenninica in compressione (Settore C). In basso a sinistra, la sezione schematica illustra il significato strutturale delle varie zone all'interno dell'area appenninica umbro-marchigiana in distensione (Settore B).

In sintesi, un sistema distensivo a basso angolo est-immerso (EF *system*) che delimita bacini plio-quadernari, può essere identificata, almeno come ipotesi di lavoro, in tutto il settore che si estende dalla Lunigiana alla Conca di Terni, per una estensione di circa 350 Km.

4.2 Carta delle zone sismotettoniche per l'area Appenninica in distensione

In Italia centro-settentrionale possono essere identificati, da ovest verso est, 3 principali settori crostali con differenti caratteristiche strutturali e di sismicità:

- ◆ Settore A: a crosta già assottigliata e solo moderatamente sismico;
- ◆ Settore B: attualmente in distensione (meccanismi distensivi e transtensivi con σ_3 sub-orizzontale in direzione SW-NE) al tetto dell'EF *system*;
- ◆ Settore C: attualmente in compressione (meccanismi compressivi e transpressivi con sforzo principale massimo sub-orizzontale in direzione SW-NE).

La zonazione sismotettonica che abbiamo elaborato (Fig. 5) riguarda il settore B, che viene suddiviso in 5 zone, ed è basata sull'utilizzo della geometria tridimensionale degli elementi strutturali che controllano il campo deformativo attivo e la distribuzione della relativa sismicità. Essa è, quindi, fortemente controllata dalla forma e dimensione sia delle *master faults* sismogenetiche ovest-immersenti e delle relative *box*, sia dell'EF *system* est-immerso. La "qualità" della zonazione proposta non è omogenea. Infatti, per il settore umbro-marchigiano è sufficientemente vincolata, mentre per il settore settentrionale va considerata come una ipotesi di lavoro molto preliminare. L'assenza di dati sufficientemente dettagliati sulla geometria delle *master faults* sismogenetiche e delle relative *box* al di fuori del settore umbro-marchigiano motiva anche la scelta di non rappresentare, in questa fase, le singole *box* sismogenetiche. Vengono raffigurate, invece, zone che rappresentano l'involuppo di *box* sismogenetiche con analogo significato strutturale (zone B3, B4 e B5). Un'omogeneizzazione della zonazione è il risultato che il nostro gruppo di lavoro si propone di raggiungere con le ricerche future. Tutte le zone identificate (B1, B2, B3, B4 e B5) corrispondono a blocchi in distensione al tetto dell'EF *system*, ma presentano caratteristiche di sismicità differenti, nelle modalità ed entità di rilascio dell'energia. Le zone B1a e B1b rappresentano blocchi crostali al tetto dell'EF *system* est-immerso la cui sismicità può essere imputata a deformazione diffusa all'interno del blocco in distensione e/o all'attività di faglie la cui "maturità" non è tale da rendersi evidenti in superficie o la cui evidenza di superficie non è nota. Le zone B2, B3 e B4 coincidono con le *box* sismogenetiche relative alle *master faults* ovest-immersenti dell'area umbro-marchigiana. La zona B5 rappresenta la prosecuzione verso nord della zona B3, contenendo i bacini continentali intra-montani più recenti dell'area nord-appenninica, nonché i maggiori terremoti storici distensivi dell'area medesima. Differisce dalla zona B3 in quanto i maggiori terremoti storici potrebbero essere associati all'attività sismogenetica delle faglie est-immersenti dell'EF *system* e non soltanto alle strutture antitetiche SW-immersenti.

- **Zona B1a** (blocco crostale al tetto della porzione più occidentale dell'EF *system*): attività sismica moderata, con locali concentrazioni di microsismicità e terremoti di piccola magnitudo ($M \leq 5$).

- Zona B1b (blocco crostale al tetto della porzione più orientale dell'EF system): è quella dal significato strutturale e sismotettonico più incerto. Ad essa potrebbero essere associati i terremoti distensivi localizzati ad est delle più orientali faglie dirette ovest-immergenti affioranti in superficie.
- Zona B2 (box 12 e 13): microsismicità diffusa e localmente terremoti moderati, con massima magnitudo attesa < 5.5.
- Zona B3 (box 5-6-7-8): sismicità strumentale e storica intensa quasi dappertutto con terremoti di magnitudo medio-alta (fino a M=6.8).
- Zona B4 (box 2 e 3): sismicità strumentale relativamente scarsa ma indizi di significativa attività sismica in epoca storica nel settore meridionale (box 3) ed evidenze paleosismologiche di forti terremoti nel settore settentrionale (box 2).
- Zona B5 (in fase di studio!): sismicità storica intensa con terremoti di magnitudo medio-alta (da M=6 a M=6.3), tra cui gli eventi di Città di Castello-Alta Valtiberina (25/12/1352 M=6; 18/10/1389 M=6; 26/04/1458 M=6; 30/09/1789 M=5.8; 26/04/1917 M=6), del Mugello (13/06/1542 M=6; 29/06/1919 M=6) e della Garfagnana-Alpi Apuane (11/04/1837 M=6.3; 07/09/1920 M=6.3).

Bibliografia

- Artoni A., Bernini M., Papani G., Vescovi P., Zanzucchi C. (1992): Sezione geologica schematica Bonassola (SP) - Felino (PR). *Studi Geol. Camerti*, Vol. Spec. CROP 1-1A, 61-63.
- Bachetti C., Blumetti A.M., Calderoni G., Ridolfi M. (1990): Attività Neotettonica e paleosismica nel settore meridionale dei Monti della Laga. *Rend. Soc. Geol. It.*, **13**, 9-16.
- Bagnaia R., Blumetti A.M., De Luca G., Gorini A., Marcucci S., Marsan P., Milana G., Salvucci R., Zambonelli, E. (1996): Morfotettonica dei rilievi a nord della conca aquilana. *Il Quaternario*, **9**(1), 287-292.
- Barchi M.R., De Feyter A., Magnani M.B., Minelli G., Pialli G., Sotera B.M. (1998): The structural style of the Umbria-Marche fold and thrust belt. *Mem. Soc. Geol. It.*, **52**, 557-578.
- Boncio P., Bacheca A., Brozzetti F., Lavecchia G. (1995): Analisi geometrica e cinematica del settore centrale della Catena Narnese-Amerina (Umbria sud-occidentale). *Studi Geol. Camerti*, Vol. Spec. 1995/1, 73-86.
- Boncio P., Brozzetti F., Di Matteo P., Lavecchia G., Pace B. (1998a): Il controllo dell'interazione fra strutture sincinematiche a diversa orientazione nella genesi ed evoluzione dei processi sismogenetici: l'esempio della Val Di Sangro (Abruzzo). *Atti del XVII GNGTS*, AIT CD-Rom 1998.
- Boncio P., Brozzetti F., Ponziani F., Barchi M., Lavecchia G., Pialli G. (1998b): Seismicity and extensional tectonics in the northern Umbria-Marche Apennines. *Mem. Soc. Geol. It.*, **52**, 539-555.
- Boncio P., Brozzetti F., Lavecchia G. (1996): State of stress in the northern Umbria-Marche Apennines (central Italy): inferences from microearthquake and fault kinematics analyses. *Annales Tectonicae*, **10**/1-2, 80-97.
- Boncio P., Brozzetti F., Lavecchia G. (in stampa): Architecture and seismotectonics of a regional Low-Angle Normal Fault zone in Central Italy. *Tectonics*.
- Boncio P., Lavecchia G. (1999): I terremoti di Colfiorito (Appennino umbro-marchigiano) del Settembre-Ottobre 1997: contesto tettonico e prime considerazioni sismogenetiche.

- Boll. Soc. Geol. It.*, 118, 229-236.
- Boncio P., Lavecchia G. (2000): A structural model for active extension in Central Italy. *J. Geodynamics*, **29**, 233-244.
- Boncio P., Lavecchia G. (in stampa): A geological model for the Colfiorito earthquakes (September-October 1997, central Italy). *J. Seismology*.
- Camassi R., Stucchi M. (1996): NT 4.1: un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. <http://emidius.itim.mi.cnr.it/NT>.
- Cavinato G.P., Chiaretti F., Cosentino D., Serva L. (1989): Caratteri geologico-strutturali del margine orientale della Conca di Rieti. *Boll. Soc. Geol. It.*, **108**, 207-218.
- C.P.T.I. (1999): Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. ING, GNDT, SGA e SSN Eds., *Editrice Compositori*, Bologna, 88 pp.
- Ekström G., Morelli A., Boschi E., Dziewonski A.M. (1998): Moment tensor analysis of the central Italy earthquake sequence of September-October 1997. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1971-1974.
- GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) (1999) – Progetto 5.1.2 “Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili”. <http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT>.
- Marsili P., Tozzi M. (1991): Successione di eventi deformativi nei Monti della Laga: il settore di Monte Gorzano (Rieti). *Studi Geol. Camerti*, vol. spec. 1991/2, CROP 11, 71-78.
- Michetti A.M., Brunamonte F., Serva L., Whitney R.A. (1995): Seismic hazard assessment from paleoseismological evidence in the Rieti region, Central Italy. *Persp. in Paleoseismology*, AEG Spec. Pub. **6**, 63-82.
- Monachesi G., Stucchi M. (1996): DOM 4.1: un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM.html>.
- Pantosti D., D'Addezio G., Cinti F.R. (1996): Paleoseismicity of the Ovindoli-Pezza fault, central Apennines, Italy: a history including a large, previously unrecorded earthquake in the Middle Ages (860-1300 A.D.). *J. Geophys. Res.*, **101**, 5937-5959.
- Peruzza L., Pantosti D., Slejko D., Valensise G. (1997): Testing a new hybrid approach to seismic hazard assessment: an application to the Calabrian arc (southern Italy). *Natural Hazards*, **14**, 113-126.
- Reichenbach P., Acevedo W., Mark R.K., Pike R.J. (1992): Landforms of Italy, scale 1:1.200.000. *N.G.P.H.H.*, GNDCI publ.n.581, Rome, Italy.
- Serva L., Blumetti A.M., Michetti A.M. (1986): Gli effetti sul terreno del terremoto del Fucino (13 gennaio 1915): tentativo d'interpretazione della evoluzione tettonica recente di alcune strutture. *Mem. Soc. Geol. It.*, **35**, 893-907.
- U.R. Camerino, Resp. Cello G. (1999): “Faglie tardo-quadernarie in Appennino Centrale”, “Cartografia e processi relativi a zone di faglie attive in Appennino” a cura di E. Tondi. http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P512/UR_contributi.
- U.R. Chieti, Resp. Calamita F. (1999): “Faglie quadernarie ed attive nell'Appennino centrale” a cura di A. Pizzi. http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P512/UR_contributi.
- U.R. CNR-IRTR (Istituto di Ricerca sulla Tettonica Recente), Resp. Messina P. (1999) – “Faglie attive nel Pleistocene Superiore - Olocene in Italia Centrale” a cura di F. Galadini, P. Galli, P. Messina. http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/P512/UR_contributi.
- Vezzani L., Ghisetti F. (1998): Carta Geologica dell'Abruzzo. *S.E.L.C.A.*, Firenze 1998.
- Wells D.L., Coppersmith K.J. (1994): New empirical relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area and Surface Displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 974-1002.