

**Redazione della
Mappa di Pericolosità Sismica**

prevista dall'Ordinanza PCM
del 20 marzo 2003, n. 3274, All. 1

Rapporto Finale

novembre 2003



Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica

prevista dall'Ordinanza PCM
del 20 marzo 2003, n. 3274, All.1

Rapporto Finale novembre 2003

L'esecuzione delle ricerche è stata coordinata da un Gruppo composto da:

Massimiliano Stucchi (coordinatore)	INGV, Sezione di Milano
Aybige Akinci (responsabile di task)	INGV, Sezione Roma 1
Alessandro Amato	INGV, Centro Nazionale Terremoti
Luca Malagnini (responsabile di task)	INGV, Sezione Roma 1
Carlo Meletti (responsabile di task)	INGV, Sezione di Milano
Fabrizio Meroni (responsabile di task)	INGV, Sezione di Milano
Giulio Selvaggi	INGV, Centro Nazionale Terremoti
Gianluca Valensise (responsabile di task)	INGV, Sezione Roma 1
Gaetano Zonno (responsabile di task)	INGV, Sezione di Milano

e da

Dario Albarello	Università di Siena
Ezio Faccioli	Politecnico di Milano
Fabrizio Galadini	IGAG-CNR
Paolo Gasperini (responsabile di task)	Università di Bologna

istituito dal Presidente dell'INGV con decreti n. 142 del 26 giugno 2003 e n.183 del 24 luglio 2003.
Alle ricerche hanno partecipato:

Paola Albini, Filippo Bernardini, Viviana Castelli, Romano Camassi (resp. di task), Emanuela Ercolani, Augusto A. Gomez C., Elena Migliorini, Ilaria Leschiutta, Mario Locati, Santi Mirena, Carmen Mirto, Valentina Montaldo, Giuliana Rubbia R. (resp. di task)	INGV, Sezione di Milano
Salvatore Barba, Roberto Basili, Calvino Gasparini, Anna Maria Lombardi	INGV, Sezione di Roma 1
Raffaele Azzaro	INGV, Sezione di Catania
Barbara Castello, Claudio Chiarabba	INGV, Centro Nazionale Terremoti

Sono stati consultati:

Per l'indirizzo delle ricerche:

Antonio Lucantoni e Fabio Sabetta DPC, Servizio Sismico Nazionale

Per la revisione dei dati di base macrosismici:

Emanuela Guidoboni, Dante Mariotti, Alberto Comastri SGA Storia Geofisica Ambiente

Il coordinamento operativo è stato svolto da:
Carlo Meletti, Carmen Mirto, Valentina Montaldo e Massimiliano Stucchi.

**Redazione della mappa di pericolosità sismica
prevista dall'Ordinanza PCM 20 marzo 2003 n.3274, All.1.
Rapporto finale, novembre 2003**

Riassunto

Questa iniziativa è stata rivolta a soddisfare l'esigenza di una mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche, formulata dall'Ordinanza PCM 20 marzo 2003 n.3274, All.1, che ne fissa criteri e scadenza (aprile 2004). In particolare, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, raccogliendo l'auspicio della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, ha promosso la redazione della mappa in tempi più ravvicinati della predetta scadenza coinvolgendo nella sua redazione esperti del mondo scientifico oltre che propri ricercatori. Anche se determinata in modo significativo dalla scadenza ravvicinata, questa ricerca ha utilizzato e elaborato ulteriormente un elevato numero di informazioni e di conoscenze raccolte negli ultimi anni. In particolare:

- i) è stata sviluppata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS8, a partire da un sostanziale ripensamento della precedente zonazione ZS4 (Meletti et al., 2000) alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni. ZS8 è corredata da una classe di profondità per ogni ZS, determinata nella prospettiva di un suo utilizzo con relazioni di attenuazione regionalizzate;
- ii) è stato migliorato il catalogo CPTI (Gdl CPTI, 1999), mediante la revisione dei parametri dei terremoti della zona etnea e la determinazione di valori di M_w e di M_L per tutti gli eventi. Successivamente è stata realizzata una versione preliminare di un nuovo catalogo, detto CPTI2, aggiornato al 2002 con dati di buona qualità per l'ultimo decennio, compilato utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali resi disponibili a partire dal 1999;
- iii) sono state verificate alla luce dei dati dei terremoti più recenti le relazioni di attenuazione di a_{max} definite a scala nazionale e europea. Inoltre, a partire da leggi di scala ricavate da dati strong- e weak-motion, sono state calibrate tre relazioni di attenuazione regionali, valide per tre macrozone. Con approccio analogo sono state sviluppate nuove relazioni utilizzabili per le zone vulcaniche;
- iv) sono stati determinati, con approcci storici e statistici, due insiemi di intervalli di completezza dei dati del catalogo.

La mappa finale di a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è stata ottenuta dall'uso ponderato di tre gruppi di relazioni di attenuazione e due insiemi di intervalli di completezza. La mappa presenta livelli massimi di a_{max} meno elevati di quelli proposti dagli elaborati redatti con approcci analoghi negli ultimi anni; questa differenza è dovuta essenzialmente all'utilizzo delle nuove informazioni citate più sopra. La mappa presenta inoltre distribuzioni di a_{max} meno caratterizzate da picchi in aree ristrette.

Per quanto riguarda l'impatto potenziale sulla individuazione delle zone sismiche si può sottolineare che le aree collocate in fasce cosiddette "marginali", ossia le fasce che possono essere inserite in una zona sismica o in quella contigua nell'ambito del potere discrezionale che l'Ordinanza affida alle Regioni, coprono circa 2/3 della superficie totale del territorio. Questo aspetto sembra rendere la mappa particolarmente flessibile e adatta agli scopi per i quali è stata redatta.

1. Premessa

L'Ordinanza di Protezione Civile n. 3274 del 20 marzo 2003, suppl. n.72 alla GU 8 maggio 2003, n.105, ha dato attuazione ai contenuti del Dls 112/1998, art.93 e 94, che determinano la ripartizione tra Stato e Regioni delle competenze in materia di riduzione del rischio sismico, recependo i risultati del Gruppo di Lavoro istituito dal Sottosegretario alla Presidenza del Consiglio dei Ministri, dott. G. Letta, nel dicembre 2002 (decreto 4485 del 4.12.2002).

L'Ordinanza, allineando il sistema normativo per le costruzioni in zona sismica al sistema dei codici europei (EC8), ha consentito una significativa razionalizzazione del processo di individuazione delle "zone sismiche", processo che nel precedente sistema della "classificazione sismica" non era definito in modo chiaro. L'All.1 dell'Ordinanza stabilisce che le zone sismiche vengono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Stabilisce inoltre che la competenza delle Regioni in materia di individuazione delle zone sismiche si eserciti a partire da un elaborato di riferimento (mappa di a_{max}), redatto in modo omogeneo a scala nazionale in accordo coi criteri fissati nello stesso allegato, da elaborarsi entro un anno (aprile 2004).

Per la fase di prima applicazione, fra le mappe disponibili l'Ordinanza ha adottato come mappa di riferimento provvisoria la mappa (Fig.1) prodotta nel 1998 (Gruppo di Lavoro, 1999) dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale (SSN) su indicazione della Commissione Grandi Rischi (CGR) del Dipartimento della Protezione Civile (DPC). Tale mappa, pur essendo: i) concepita nella prospettiva del precedente sistema della classificazione sismica; ii) basata su dati non del tutto aggiornati; iii) priva di fasce di tolleranza, suddivideva il territorio in quattro categorie e poteva, in via preliminare, essere interpretata nei termini delle quattro classi di a_{max} definite dall'All.1. La mappa è stata adottata con la precauzione di non "declassare" in questa fase i Comuni assegnati a una categoria inferiore a quella precedente (Fig.1); a ciascuna categoria è stata assegnata una tolleranza di una categoria.

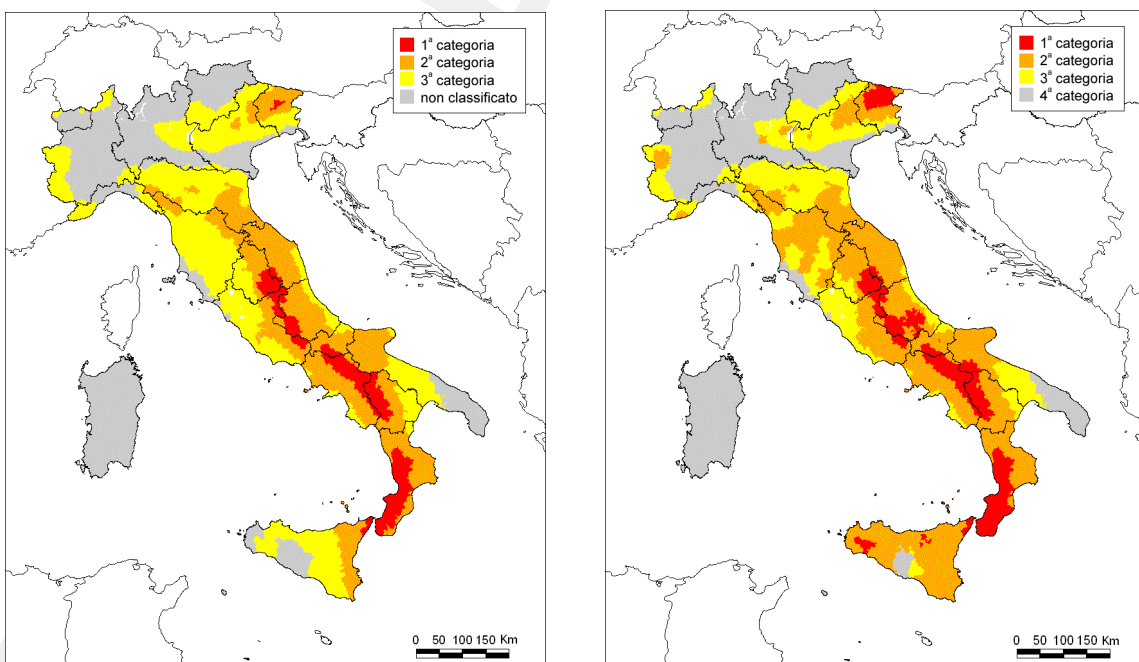


Figura 1. A sinistra: mappa di classificazione sismica proposta nel 1998 (Gruppo di Lavoro, 1999). A destra: mappa di zonazione sismica allegata all'Ordinanza 2003.

E' bene osservare, comunque, che la coincidenza fra il numero di categorie del precedente sistema ("classificazione sismica") e il numero di zone previste dall'Ordinanza non deve incoraggiare a stabilire un parallelismo eccessivo fra mappe relative a sistemi che sottendono livelli di protezione sismica differenti. Basti ricordare ad esempio che la quarta categoria precedente non richiedeva alcun intervento antisismico, mentre la quarta zona attuale lo richiede, sia pure in modo semplificato.

Si poneva quindi la necessità di completare la transizione realizzando una mappa finalizzata al nuovo sistema, redatta secondo i criteri fissati dall'All.1 entro la relativa scadenza (aprile 2004). Nel corso della riunione della CGR del 10.06.03 il Presidente dell'INGV annunciava che l'Istituto si era attivato per produrre un documento preliminare entro pochi mesi. Preso atto dell'iniziativa e delle perplessità manifestate da alcune Regioni in ordine a possibili modifiche della mappa di riferimento troppo ravvicinate nel tempo, la CGR esprimeva l'auspicio che i risultati della iniziativa INGV fossero resi disponibili entro il mese di ottobre 2003.

In data 25.06.03 il Presidente dell'INGV formalizzava i caratteri dell'iniziativa al DPC, che a sua volta li recepiva con lettera datata 16.07.03. Il Presidente istituiva quindi un Gruppo di Coordinamento (GdC) che provvedeva alla redazione di un programma di lavoro. Successivamente, recependo le indicazioni della CGR, ribadite dalla citata lettera del DPC, il GdC veniva allargato a esponenti di altri enti di ricerca e dell'università. L'esecuzione della ricerca è stata ripartita nei seguenti sub-obiettivi (task): "zonazione sismogenetica", "catalogo dei terremoti", "relazioni di attenuazione", "calcolo dei tassi di sismicità", "metodi alternativi" e "gestione del sito web". Per ragioni operative il confronto all'interno del GdC è avvenuto prevalentemente per via telematica; si sono comunque effettuate diverse riunioni di singoli task e un incontro collegiale (Milano, 10.10.2003).

Il risultato della ricerca, la mappa finale proposta più avanti, rappresenta un prodotto di consenso realizzato attraverso numerosi confronti lungo un arco cronologico di circa 4 mesi, avvalendosi della tecnologia GIS per visualizzare rapidamente le proposte di aggiornamento, incrociare i diversi set di dati e verificare in tempi rapidi l'impatto delle diverse scelte sulle stime di pericolosità finali.

2. Contesto, obiettivi e aspetti metodologici

Come ricordato più sopra, questa ricerca è stata intrapresa con l'obiettivo principale di fornire in tempi rapidi una mappa pienamente rispondente ai criteri dell'Ordinanza, con particolare riferimento all'impiego di dati aggiornati (All.1,2c) e alla evidenziazione delle fasce di tolleranza (All.1,2d) da mettere a disposizione delle Regioni per le rispettive deliberazioni.

Si è quindi convenuto di utilizzare procedure consolidate, in parte analoghe a quelle utilizzate per la redazione della mappa del 1998 (Gruppo di Lavoro, 1999), utilizzata come base per la fase di prima applicazione, in modo tale da apportare al quadro in vigore quelle variazioni che fossero indotte prevalentemente dal notevole aggiornamento delle conoscenze sismologiche (sismicità; potenziale sismogenetico; modalità di propagazione dell'energia, ecc.), piuttosto che dall'adozione di una diversa metodologia di calcolo.

Nel seguito vengono descritti gli aspetti principali che hanno caratterizzato la ricerca.

Parametri del moto del suolo. I termini del problema sono fissati in modo chiaro dall'All.1 all'Ordinanza. In particolare (All.1,2b):

- la mappa va prodotta in termini di accelerazione massima (a_{max}) del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

E' stato quindi ritenuto superfluo, in questa fase, fare riferimento ad altri parametri di moto del suolo, utilizzati in altre circostanze in Italia ma non richiesti dall'Ordinanza.

La mappa è stata redatta in termini di valori di a_{max} riferiti a siti su roccia o suolo molto rigido (Categoria A, con $V_s > 800$ m/s, secondo la classificazione introdotta nella stessa Ordinanza, All.2 Norme tecniche, Azione sismica, 3.1).

Si ricorda che le valutazioni che riguardano eventuali amplificazioni del moto del suolo dovute a effetti locali rientrano nelle competenze delle Regioni.

Dati di ingresso. Questa ricerca ha utilizzato tre categorie di elaborazioni: a) risultati consolidati di ricerche pubblicate negli ultimi anni; b) risultati confluiti in questa iniziativa a partire dalle attività svolte nell'ambito di alcuni progetti GNDT in corso di svolgimento ("Terremoti probabili...", coord. A. Amato e G. Selvaggi; "Revisione dei fondamenti...", coord. P. Gasperini; "Sviluppo e confronto di metodologie...", coord. M. Cocco; "Scenari di danno nell'area veneto-friulana", coord. M. Ruscetti); c) elaborati ancora inediti, realizzati *ad hoc* nell'ambito di questa iniziativa.

Nei paragrafi 3, 4 e 5 vengono riassunti gli aspetti principali relativi ai dati di ingresso.

Metodologia. Come detto più sopra, per ragioni di continuità e confronto con precedenti iniziative (Slejko et al., 1998; Albarello et al., 2000) sono state impiegate metodologie standard, di uso comune a livello mondiale per valutazioni di pericolosità sismica a scopi di normativa sismica. In particolare è stato usato l'approccio "Cornell" (Cornell, 1968; Bender e Perkins, 1987), utilizzato dalle citate iniziative italiane, da altre iniziative nazionali in Europa e nel mondo (ad esempio nell'ambito del progetto "Global Seismic Hazard Assessment Project - GSHAP"; Giardini, 1999) nonché, a scala europea, nel progetto "SESAME" (Jiménez et al., 2001; Giardini et al., 2003).

Approcci "a sismicità diffusa" (es. Frankel, 1995) sono stati utilizzati allo scopo di verificare i risultati ottenuti con i metodi standard. Il carattere convenzionale della mappa richiesta dall'Ordinanza ha portato a escludere l'utilizzo di approcci che considerano modelli non stazionari della sismicità, che pure negli ultimi anni sono stati oggetto anche in Italia di studi e esperimenti particolarmente significativi (Peruzza, 1999; Peruzza e Pace, 2002).

Non sono stati impiegati approcci ad "albero logico", in quanto la limitatezza del tempo a disposizione e il particolare obiettivo della ricerca hanno fatto propendere per un serrato dibattito e per l'adozione di scelte motivate, anziché per la produzione di elaborati alternativi. Sono comunque state eseguite valutazioni indipendenti di a_{max} usando tre relazioni di attenuazione e due intervalli di completezza, i cui esiti sono successivamente stati combinati con pesi diversi per ottenere la mappa finale.

Gli aspetti principali relativi alle procedure adottate sono descritti ai paragrafi 6 e 7; in quest'ultimo vengo presentati i risultati che, al paragrafo 8, vengono confrontati con altre elaborazioni.

Diffusione delle informazioni. Con l'obiettivo di rendere trasparenti le attività connesse a questa iniziativa è stato allestito il sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it> (fig. 2), dedicato a rendere pubblica la documentazione principale, con esclusione dei risultati finali, e a favorire la discussione attraverso un dibattito telematico.

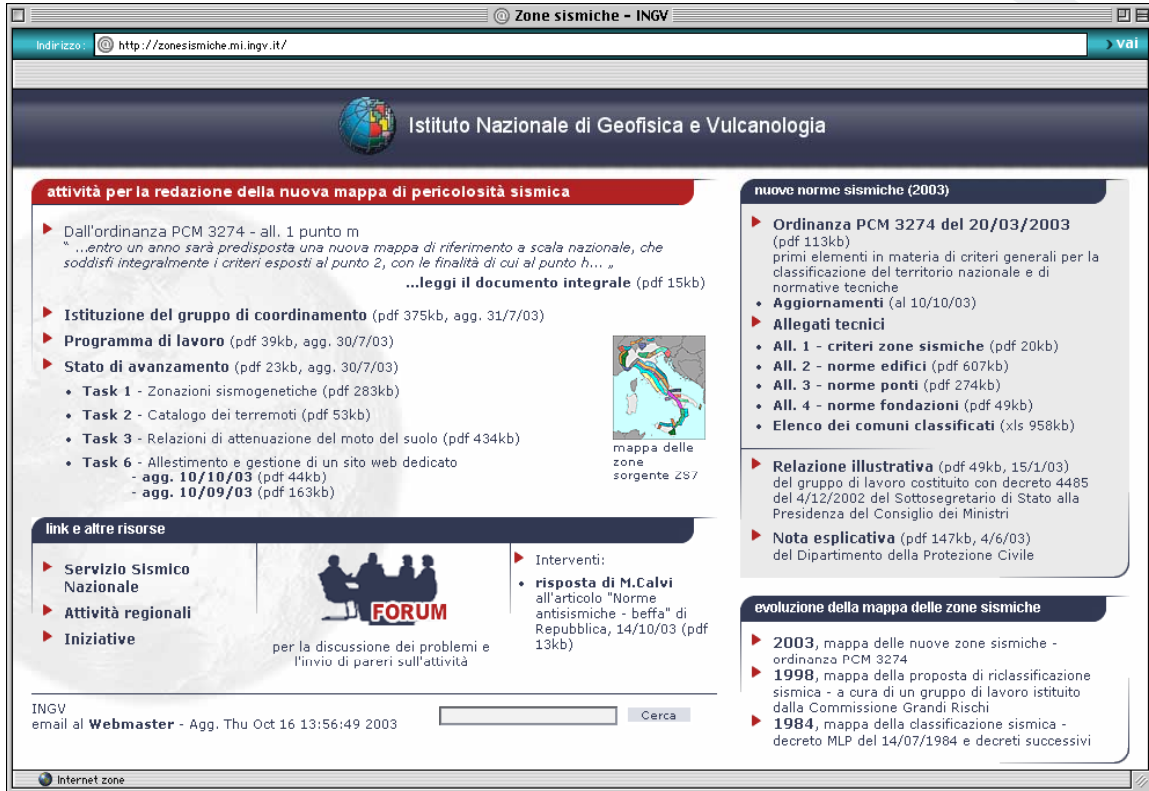


Figura 2. Home page del sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

L'apertura del sito (21 luglio 2003) è stata pubblicizzata via email con comunicati a ricercatori e operatori del settore, servizi regionali interessati al recepimento della normativa, ordini professionali di architetti e ingegneri, l'ANCI, l'ANCE, mailing-list della FIST ecc. L'esistenza del sito è stata comunicata dal DPC (1 agosto 2003) agli assessori e ai dirigenti regionali della Protezione Civile. Alcune Regioni e ordini professionali hanno inserito nei loro siti il link a zonesismiche.mi.ingv.it.

Il sito ha registrato in media 2500 richieste e 60 visitatori distinti al giorno, raggiungendo a fine ottobre 250.000 richieste e 4800 visitatori. Un incremento nelle visite di un ordine di grandezza superiore al valor medio è stato registrato in occasione di un evento sismico di energia medio-bassa (Bolognese, settembre 2003). Le analisi dei dati di accesso hanno messo in luce che il sito è stato consultato con costanza nel periodo luglio-ottobre 2003, in tutte le sue sezioni, da parte sia di contributori sia di utenti dei prodotti finali. Tra i visitatori più assidui del sito, si riscontrano le tipologie di utenza destinatarie: Dipartimento di Protezione Civile, INGV e Università, Regioni, Province, Comuni, professionisti, società di consulenza.

Il forum, dedicato al dibattito esterno al GdC, non ha invece riscosso un elevato successo di partecipazione.

3. Zonazione sismogenetica

Risultati. E' stata sviluppata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS8, a partire da un sostanziale ripensamento della precedente zonazione ZS4 (Meletti et al., 2000) alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni. ZS8 è corredata da una classe di profondità per ogni ZS, determinata nella prospettiva di un suo utilizzo con relazioni di attenuazione regionalizzate. L'ipotesi iniziale di realizzare due zonazioni realmente alternative si è rivelata impercorribile nei tempi a disposizione.

Stato dell'arte. Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nell'area italiana è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS4 (http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html; Scandone e Stucchi, 2000) proposta da Scandone e colleghi nel 1996 e adottata anche dai citati progetti GSHAP e SESAME con i necessari adattamenti nelle aree di confine. Di ZS4, che rappresentava la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000), gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune inconsistenze, che si sono aggiunte alla non completa coerenza con il catalogo CPTI e al problema della scarsità del campione di terremoti in molte ZS.

I lavori per sviluppare una nuova zonazione hanno preso l'avvio da alcuni tentativi preliminari proposti da Stucchi et al. (2000, 2002) e hanno poi considerato i molti dati pubblicati dopo l'elaborazione di ZS4 in tema di tettonica attiva e individuazione di sorgenti sismogenetiche. La fonte principale è stata il *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M5.5 in Italy* (DISS 2.0; Valensise e Pantosti, 2001) e i suoi aggiornamenti realizzati nell'ambito del Progetto GNDT "Terremoti probabili..." (coord. A. Amato e G. Selvaggi). Sono inoltre stati consultati i contributi di Galadini et al. (2001), i risultati prodotti dal Progetto GNDT "Scenari di danno nell'area veneto-friulana" (coord. M. Ruscetti), importanti studi sismotettonici di settori-chiave della penisola (ad esempio: Azzaro e Barbano, 2000; Boncio et al., 2000; i diversi contributi contenuti in Galadini et al., 2000) nonché proposte metodologiche innovative apparse nella letteratura degli ultimi anni (ad esempio Peruzza, 1999; Lavecchia et al., 2002; Peruzza e Pace, 2002).

Dopo la realizzazione di un prototipo detto ZS7 (fine luglio 2003), privo di stime di profondità, si è preso atto del fatto che non esistevano i presupposti per realizzare due zonazioni significativamente alternative. Si è quindi convenuto di rilasciarne una sola, definita ZS8 (fig. 3), che va intesa come un prodotto di consenso tra diversi ricercatori attivi in questo settore disciplinare, alcuni dei quali hanno partecipato alla elaborazione delle zonazioni realizzate in ambito ex-GNDT e alla realizzazione di compilazioni e banche dati sulla sismogenesi prodotte da ex-GNDT e INGV.

Requisiti principali. ZS8 è stata elaborata in modo da soddisfare i seguenti requisiti:

- a) essere coerente in linea di massima con il retroterra informativo di ZS4, che deriva dall'approccio cinematico all'elaborazione del modello sismotettonico;
- b) recepire i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola e sulla distribuzione delle sorgenti sismogenetiche, avendo come riferimento DISS e i suoi sviluppi a oggi;
- c) considerare le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più forti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali (Bormio 2000, Monferrato 2001, Merano 2001, Palermo 2002, Molise 2002, ecc.) localizzati al di fuori di quelle ZS;

Criteri. Con riferimento ai requisiti a), b) e c) gli aspetti innovativi riguardano:

- i) il completo riferimento delle ZS dell'Appennino alle direttrici longitudinali;
- ii) l'introduzione di ZS Est-Ovest nell'area dell'avampaese apulo, riferite a fasce a cinematica prevalente trascorrente;
- iii) l'introduzione nel Basso Tirreno di una fascia di intensa deformazione responsabile di parte della sismicità che interessa la costa tirrenica della Sicilia;
- iv) la scelta di privilegiare le proposte del citato progetto SESAME per le zone di confine, previo adattamento alle ZS individuate in Italia;
- v) la assunzione che in tutte le aree che non ricadono in ZS sia comunque possibile il verificarsi di eventi con $M_{max}=4.9$, derivante dalla constatazione che eventi di bassa e intermedia energia si verificano pressoché ovunque in Italia.

In fig. 4 e fig. 5 ZS8 è posta a confronto con il contenuto informativo di DISS e con la zonazione del progetto SESAME.

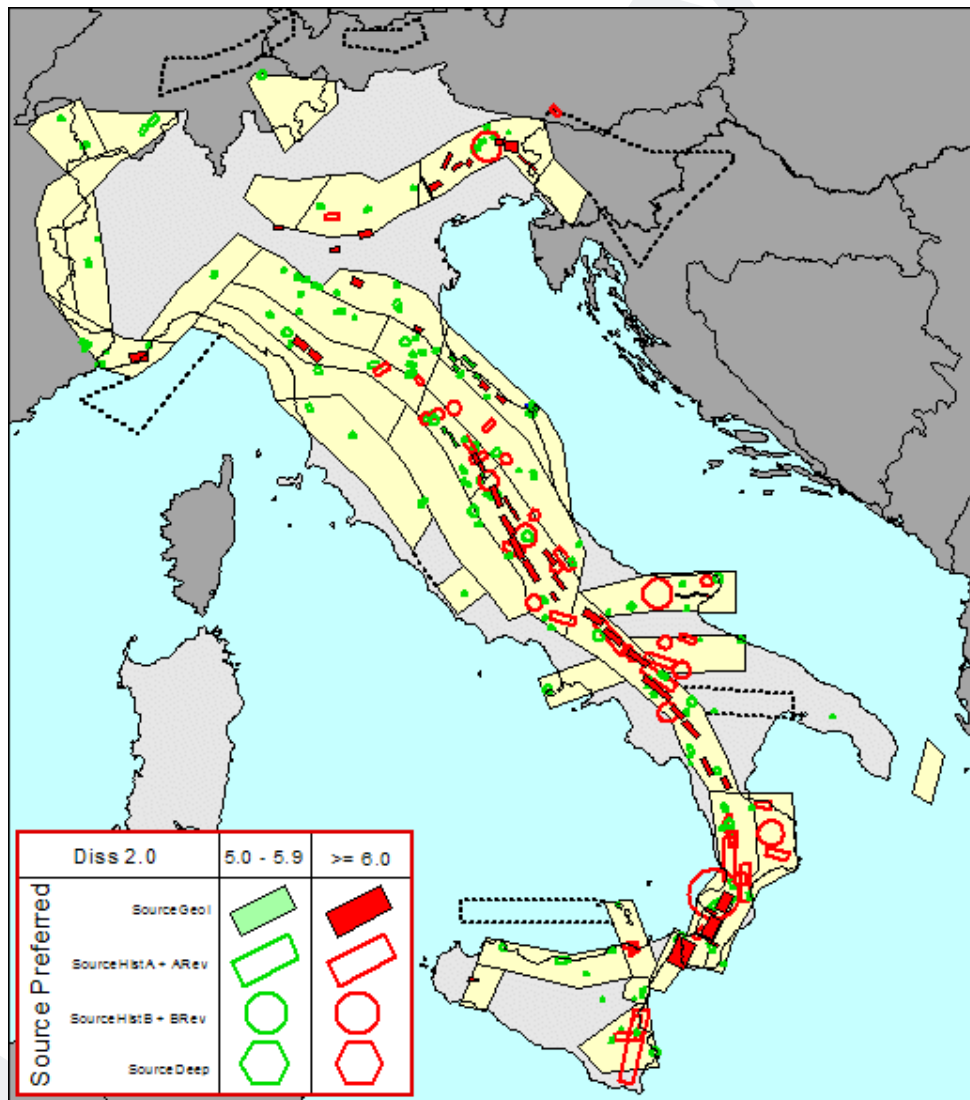


Figura 4. Zonazione sismogenetica ZS8 a confronto con le sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (Valensise e Pantosti, 2001).

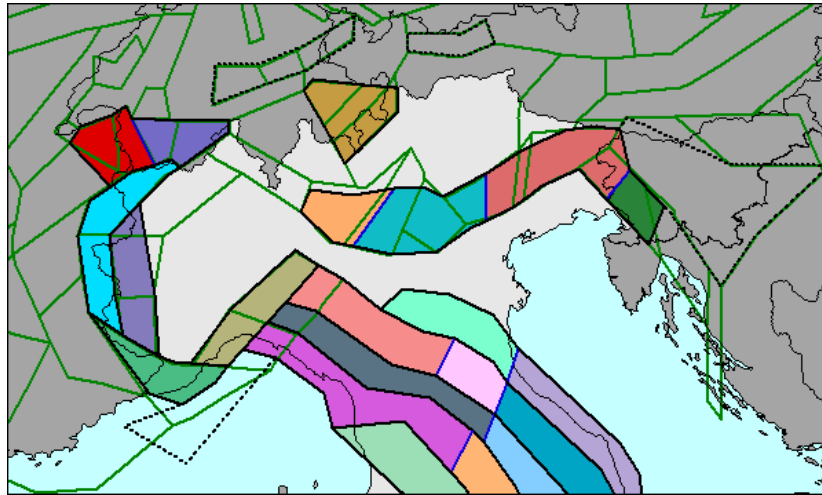


Figura 5. Zonazione sismogenetica ZS8 a confronto con la zonazione del progetto SESAME nell'area alpina (Jiménez et al., 2001; linee di colore verde).

Per quanto riguarda il requisito d), in ZS4 22 ZS su 80 avevano un numero di eventi ≤ 10 ; dopo l'applicazione degli intervalli di completezza del catalogo le ZS con questa caratteristica salivano a 39. Per risolvere questo problema, ove possibile sono state definite ZS abbastanza estese a partire da fasce a comportamento cinematico omogeneo (fig. 6).

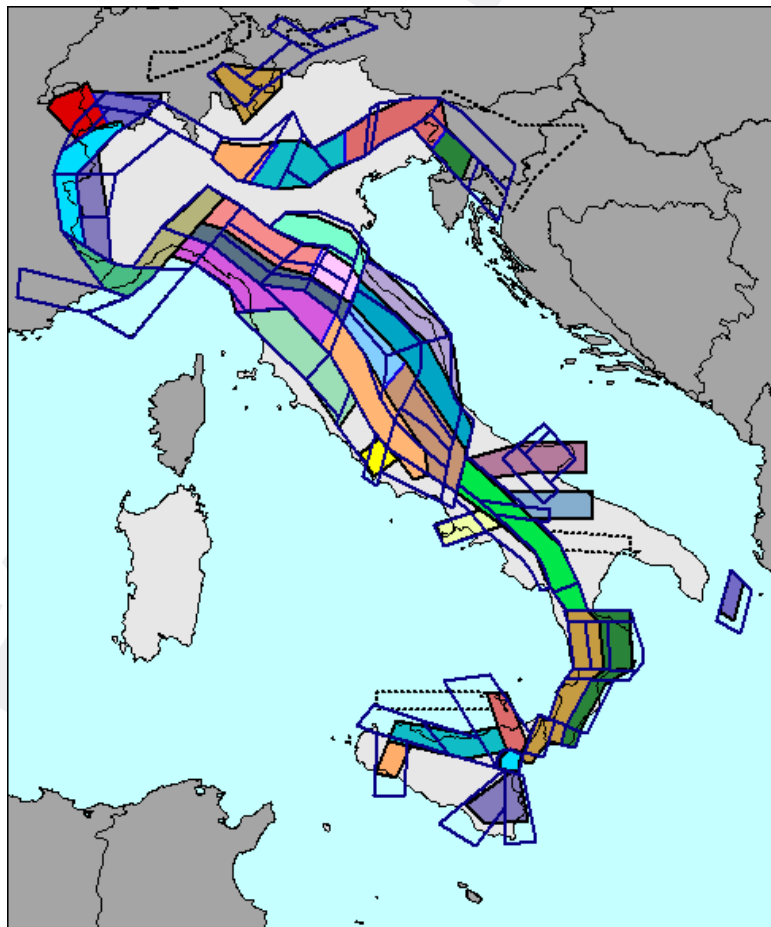


Figura 6. Zonazione sismogenetica ZS8 a confronto con ZS4 (linee di colore blu scuro).

In totale le ZS sono 35, cui vanno aggiunte 7 ZS non utilizzate in quanto: a) non contribuiscono in modo significativo alla pericolosità del territorio (4 ZS: Tirolo, Svizzera centrale, Slovenia centrale, Mar Ligure); b) il numero di eventi che ricade al loro interno è molto basso (3 ZS: Agro romano, Basso Tirreno e Materano). Per la ZS del Canale d'Otranto, che rientrerebbe nel caso b), è stata fatta un'eccezione al fine di non sottovalutare la pericolosità sismica indotta da eventi localizzati nel Canale.

In ZS8 la superficie coperta dalle ZS è di 190.000 km² (236.000 km² considerando anche le 7 zone non utilizzate), contro i 250.000 km² di ZS4. La superficie media di ciascuna ZS è di 5.700 km² circa (in ZS4 era di 3.100 km²). Il numero medio di terremoti per ZS è 41; solo 3 ZS su 35 hanno meno di 10 eventi.

Per quanto riguarda il requisito e) si veda al paragrafo successivo.

Profondità. Per quanto riguarda il requisito f), in assenza di letteratura specifica si è convenuto di individuare per ogni ZS una profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, ovvero l'intervallo nel quale si colloca presumibilmente lo strato sismogenetico che rilascerà i prossimi eventi. Per ragioni operative è stato adottato un numero limitato di classi (fig. 7).

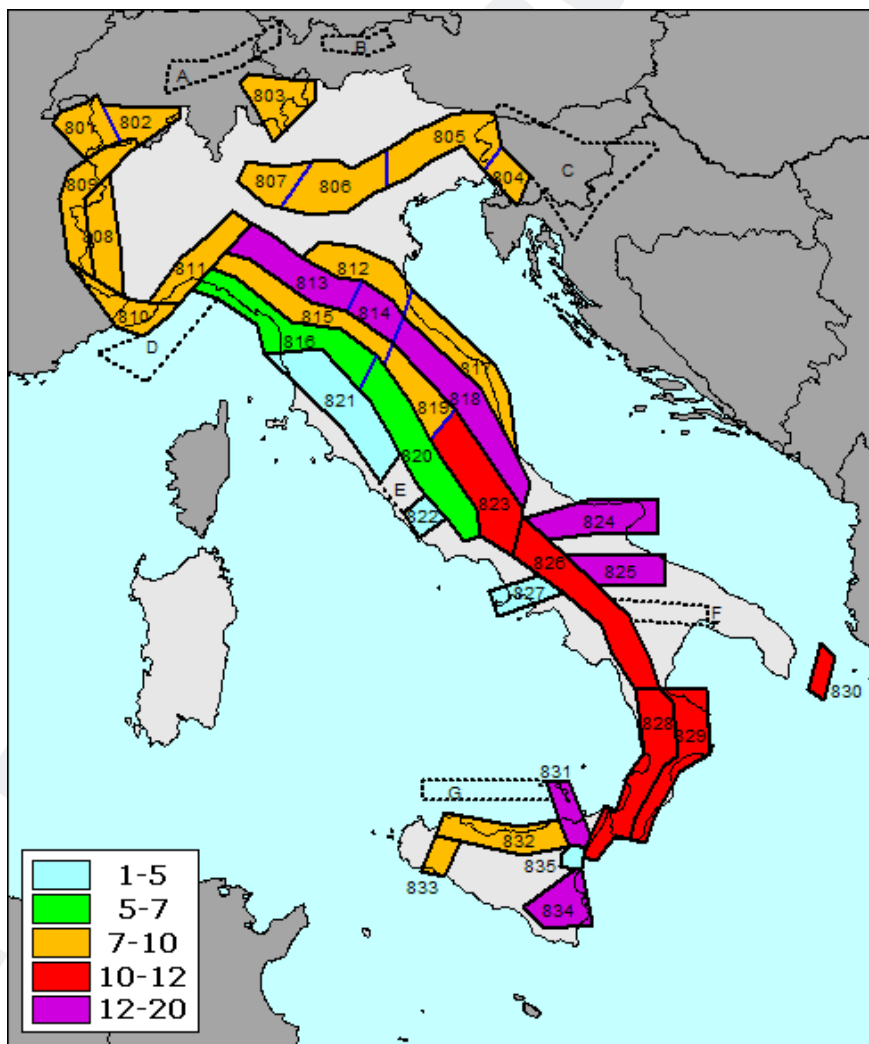


Figura 7. Attribuzione della classe di profondità (in km) alle ZS di ZS8.

I risultati sono stati ottenuti analizzando le profondità ipocentrali degli eventi contenuti nel Bollettino INGV (1986-2002) con $M > 2.0$, errore di localizzazione < 30 km sulle tre coordinate ipocentrali (nella maggior parte dei casi tale errore è < 10 km) e profondità < 50 km non prefissata dall'algoritmo di determinazione. Si tratta di un dataset omogeneo di oltre 13.000 eventi che è stato analizzato per ciascuna ZS, calcolando le distribuzioni di frequenza delle profondità. Ove possibile gli intervalli di profondità così individuati sono stati confrontati con: i) le distribuzioni di frequenza della sismicità clusterizzata, ottenute dalla banca dati delle sequenze sismiche 1981-2000 di Basili et al. (2001); ii) le profondità delle sorgenti sismogenetiche, individuate sulla base di dati geologici e geofisici utilizzati da DISS; iii) l'insieme dei dati utilizzati per formulare le relazioni di attenuazione regionali. Nei casi in cui i dati disponibili si sono rivelati non significativi o contraddittori, la profondità della ZS è stata assegnata sulla base della similitudine geologica e geodinamica con ZS vicine.

In sintesi, ZS8 rappresenta un punto di convergenza di numerosi operatori, molti dei quali coinvolti nei principali progetti di ricerca varati negli ultimi anni sulla sismogenesi in Italia. In particolare, ZS8 nasce a valle della pubblicazione di banche dati e di ampi contributi di sintesi tra il 2000 e il 2001, e beneficia quindi di quasi tre anni di dibattito su questi temi.

4. Catalogo dei terremoti

Risultati. È stato dapprima migliorato il catalogo CPTI (Gdl CPTI, 1999), mediante la revisione dei parametri dei terremoti della zona etnea e la determinazione di valori di M_w e di M_L per tutti gli eventi, al fine di renderlo utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione di cui al punto seguente. Successivamente è stata realizzata una versione preliminare di un nuovo catalogo, detto CPTI2, aggiornato al 2002 con dati di buona qualità per l'ultimo decennio e compilato utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali resi disponibili a partire dal 1999.

Qualificazione del catalogo CPTI. Nonostante sia disponibile dal 1999, il catalogo CPTI non è stato usato per valutazioni di pericolosità sismica basate su ZS4, probabilmente perché deriva da una base di dati non coerente con essa. In questa ricerca si è provveduto a rendere CPTI utilizzabile in combinazione con la zonazione ZS8, associando in modo critico la maggior parte dei terremoti a una ZS. Oltre agli eventi che ricadono direttamente nelle ZS, a queste ne sono stati associati altri 80 dopo un esame delle incertezze delle rispettive localizzazioni. Con lo stesso criterio altri 15 eventi sono stati associati a ZS diverse da quelle in cui ricade l'epicentro. Sono stati inoltre modificati alcuni parametri energetici (I_0 , M_m , M_a) dei terremoti etnei, utilizzando le relazioni $M(I_0)$ di Azzaro e Barbano (1997). Infine, allo scopo di rendere possibile l'impiego delle relazioni di attenuazione regionali di cui al paragrafo 5, per tutti i terremoti sono stati determinati; i) i valori di M_w a partire dalle relazioni $M_w(M_s)$ determinate nell'ambito dell'operazione descritta nel seguito; ii) i valori di magnitudo da usare in combinazione con la relazione di Sabetta e Pugliese (1996).

Compilazione di CPTI2. È stata compilata una versione aggiornata del catalogo dei terremoti di area italiana - all'interno della finestra geografica definita per CPTI - sopra la soglia del danno ($I \geq 5/6$, $M_s \geq 4.0$), estesa a tutto il 2002, che: i) recepisce i risultati degli studi sismologici, sia macrosismici che strumentali, realizzati successivamente o comunque non utilizzati per compilare CPTI; ii) offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della magnitudo momento M_w , della magnitudo calcolata sulle onde superficiali M_s e della magnitudo locale M_L .

Per quanto riguarda i nuovi studi (fig. 8) si segnalano: a) la versione 3 del Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI3, Boschi et al., 2000); b) il database francese SISFRANCE (SisFrance, 2002); c) il database svizzero ECOS (Swiss Seismological Service, 2002); d) studi monografici sulla sismicità di Catania e Bologna (Boschi e Guidoboni, 2001; 2003); e) studi di terremoti realizzati dalla società SGA per INGV relativamente al Molise e all'Italia settentrionale; f) studi di terremoti relativi ad aree (Sicilia orientale, Basilicata, Veneto settentrionale, Bassa Padana) o singoli eventi di particolare interesse realizzati da ricercatori INGV (sezioni di Milano e Catania) e SSN (Molin et al., 1999; Galli et al., 2002); g) altri studi storico-macrosismici disponibili in letteratura; h) rilievi macrosismici di terremoti recenti; i) bollettini strumentali e macrosismici INGV per il periodo 1993-2002; j) il Catalogo Strumentale dei Terremoti Italiani 1981-1996 (CSTI; Gruppo di lavoro CSTI, 2001).

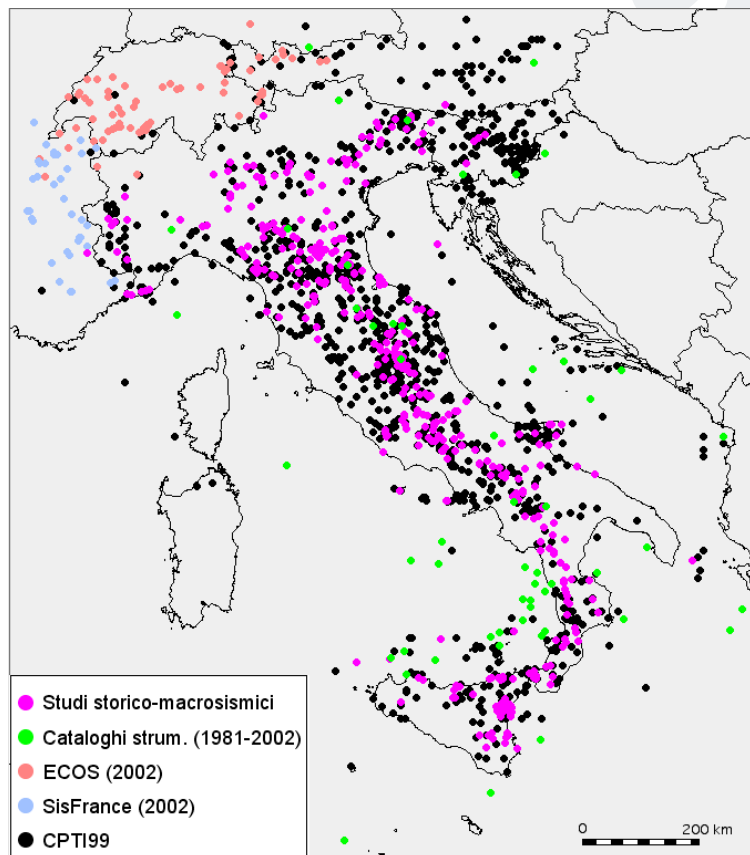


Figura 8. Distribuzione dei terremoti in CPTI2 secondo l'origine dei dati di base.

Per ciascun evento conosciuto attraverso dati macrosismici gli studi dai quali derivano i parametri di CPTI sono stati confrontati con quelli oggi disponibili. Nei casi in cui i nuovi studi sono risultati più affidabili dei precedenti, per qualità dello studio, numero di punti di intensità, ecc. - situazioni che si sono verificate nella maggioranza dei casi - i parametri sono stati determinati dai nuovi studi secondo le procedure usate per la compilazione di CPTI. Va sottolineato che i nuovi studi hanno fornito elementi anche per un numero significativo di eventi che in CPTI non disponevano di dati di base.

Nella sezione Ante-1000 l'aggiornamento ha riguardato essenzialmente il recepimento della versione 3 di CFTI, con l'aggiornamento dei parametri di 24 terremoti e l'ingresso di 10 terremoti nuovi con parametri al di sopra delle soglie di interesse.

Nella sezione 1000-1980 l'aggiornamento ha riguardato circa 600 terremoti, mentre altri 50 circa sono stati provati falsi, soprattutto in ambito svizzero e francese, oppure hanno visto i parametri energetici scendere al di sotto delle soglie di definizione del catalogo. Inoltre sono stati introdotti circa 50 nuovi eventi.

Nella sezione post-1980, che in CPTI risultava parzialmente lacunosa, l'innovazione è stata molto consistente e ha riguardato i seguenti aspetti principali:

- estensione dal 1993 al 2002
- riconsiderazione complessiva della finestra temporale 1981-1992
- rivalutazione omogenea di tutti i parametri dei terremoti, con particolare riferimento a vari tipi di magnitudo.

Per la realizzazione di questi obiettivi si è fatto ricorso a diversi set di determinazioni strumentali che, sebbene riconducibili essenzialmente al database strumentale INGV, sono il frutto di elaborazioni differenti, per quanto riguarda sia la localizzazione sia la stima della magnitudo. Sono stati considerati in particolare il Bollettino dell'INGV (disponibile in rete dal 1983 fino al 2002), il catalogo CSTI (1981-1996) e due open file risultanti dalle ricerche svolte nell'ambito dei Progetti: i) "Terremoti probabili...", coord. A. Amato e G. Selvaggi; ii) "Revisione dei fondamenti...", coord. P. Gasperini, promossi dal Programma Quadro GNDT 2000-2002. In particolare, per il periodo 1981-1996 è stato usato prevalentemente l'open file fornito dal Progetto "Terremoti probabili...", mentre per il periodo dal 1997 al 2002 è stato scelto prioritariamente l'open file del Progetto "Revisione dei fondamenti...". In presenza di dati macrosismici è stata comunque preferita la localizzazione determinata da tali dati.

Per quanto riguarda le magnitudo, per l'intero periodo 1981-2002 sono state adottate le determinazioni di ML dell'open file del Progetto "Revisione dei fondamenti...". In parallelo è stato predisposto un database di magnitudo strumentali e momenti sismici scalari per l'area italiana, raccogliendo e integrando le informazioni provenienti dalle varie raccolte disponibili: Ambraseys (1990) e Margottini et al. (1993), i cataloghi CMT di Harvard e RCMT dell'INGV (Pondrelli et al., 2002), il catalogo PDE del NEIC e l'open file di determinazioni ML Wood-Anderson e W-A sintetiche risultanti dal lavoro di Gasperini (2002). Questo database ha permesso di stimare nuove relazioni empiriche (fig. 9 e 10) tra i vari tipi di magnitudo (M_w , M_s , m_b e ML) e quindi di ricavare stime di M_w e M_s e delle relative incertezze per tutti i terremoti aventi almeno un tipo di M. Sulla base delle associazioni tra dati macrosismici e strumentali sono state poi ricavate nuove relazioni empiriche fra dati macrosismici e M_w e M_s ; queste relazioni sono poi state utilizzate per calcolare le magnitudo macrosismiche e relative incertezze per tutti gli eventi che disponevano di dati macrosismici. Infine le magnitudo macrosismiche così ottenute sono state combinate, attraverso medie pesate con l'inverso dell'incertezza al quadrato, con le determinazioni strumentali; da questa procedura sono state escluse le determinazioni di M_w , ottenute dall'inversione del momento tensore, che sono state adottate direttamente.

Per utilizzare la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1996), calibrata su ML fino a 5.5 e su M_s al di sopra di tale valore, si è sfruttato il fatto che la relazione empirica che lega M_w a M_s al di sopra di 5.5-6.0 coincide quasi esattamente con quella che lega M_w e ML. In questo modo applicando semplicemente al valore di M_w di ogni terremoto la regressione inversa $M_{sp}=1.208*M_w-1.302$ si ottiene un valore di magnitudo quasi esattamente coincidente appunto con ML fino a 5.5 e con M_s al di sopra, con scarti in media di 0.02 e al massimo di 0.06 unità.

In conclusione si sottolinea che tutti i dati descritti in questa sezione riflettono risultati e avanzamenti nelle conoscenze conseguiti successivamente alla pubblicazione della proposta di riclassificazione del 1998 (Gruppo di Lavoro, 1999) e del catalogo CPTI.

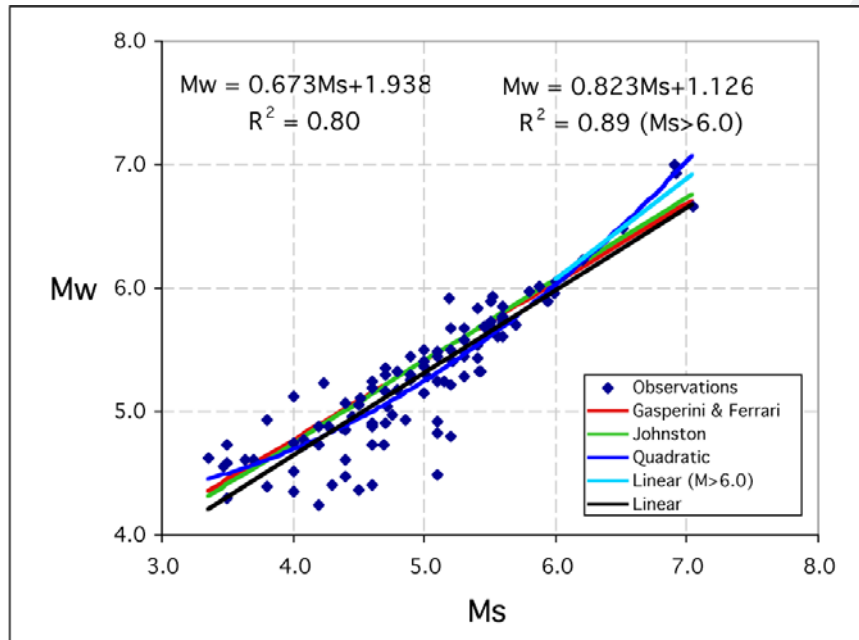


Figura 9. Regressione tra M_w e M_s . In azzurro e nero le leggi empiriche utilizzate in CPTI2 rispettivamente per $M_s > 6$ e $M_s \leq 6$. Per confronto sono anche riportate: i) la regressione quadratica (blu); ii) le regressioni lineari ricavate da Johnston (1996) per le regioni continentali stabili (verde) e da Gasperini e Ferrari (2000) per l'Italia (rosso).

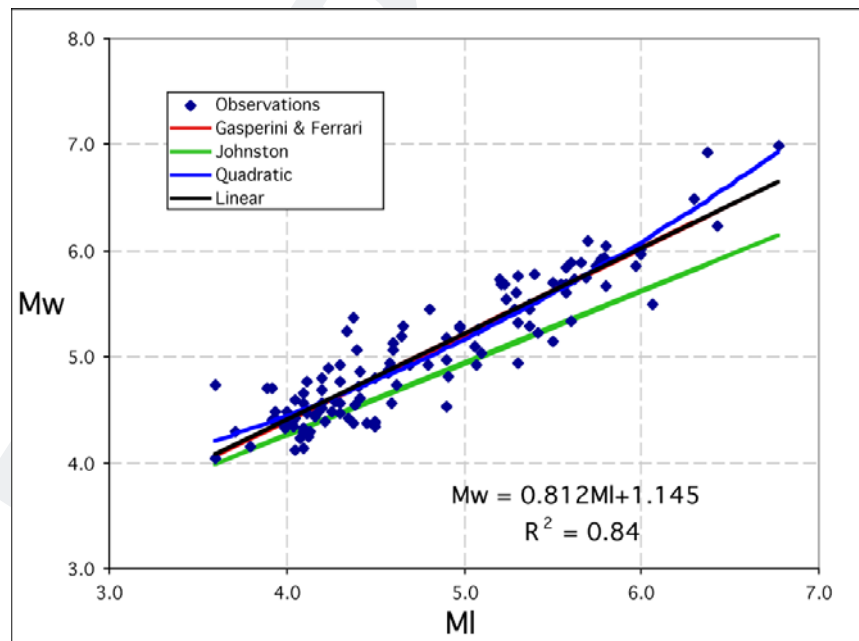


Figura 10. Regressione tra M_w e M_L . In nero la legge empirica utilizzata in CPTI2. Per confronto sono anche riportate: i) la regressione quadratica (blu); ii) le regressioni lineari ricavate da Johnston (1996) per le regioni continentali stabili (verde) e da Gasperini e Ferrari (2000) per l'Italia (rosso).

5. Relazioni di attenuazione del moto del suolo

Risultati. Le relazioni di attenuazione di a_{max} definite a scala nazionale e europea sono state verificate alla luce dei dati dei terremoti più recenti. Inoltre, a partire da leggi di scala ricavate da dati strong- e weak-motion, sono state calibrate tre relazioni di attenuazione regionali, valide per tre macrozone. Con approccio analogo sono state sviluppate nuove relazioni utilizzabili per le zone vulcaniche.

Verifica delle relazioni di attenuazione di a_{max} definite a scala nazionale e europea. Le principali relazioni di attenuazione determinate a scala europea, quali quelle di Ambraseys (1995) e di Ambraseys et al. (1996), e a scala nazionale, come quelle di Sabetta e Pugliese (1996) e di Tento et al. (1992), sono tutte derivate dall'analisi statistica di insiemi simili di dati accelerometrici.

La relazione di Ambraseys (1995), usata per valutare la pericolosità sismica da Slejko et al. (1998), è definita per un suolo generico ed è stata superata dalla relazione di Ambraseys et al. (1996), ricavata da diverse centinaia di registrazioni strong motion europee di terremoti con M_s compresa tra 4.0 e 7.6. Questa relazione è stata utilizzata anche da Albarello et al. (2000) e, a livello europeo, nell'ambito dei progetti GSHAP (Giardini, 1999; Slejko et al., 1999) e SESAME (Jiménez et al., 2001).

La relazione di Sabetta e Pugliese (1996), basata su dati prevalentemente italiani, adotta M_s come magnitudo di riferimento per terremoti con $M > 5.5$ e M_L per terremoti con $M < 5.5$; è stata usata da Romeo e Pugliese (1998 e 2000) per produrre mappe di pericolosità nazionali. La relazione di Tento et al. (1992), derivata da un insieme di dati simile, fornisce stime dei valori di a_{max} analoghe a quelle che si ottengono con la relazione di Ambraseys et al. (1996).

Allo scopo di verificare la capacità predittiva delle relazioni di Ambraseys et al. (1996) e di Sabetta and Pugliese (1996) sono stati eseguiti confronti con i dati di registrazioni di terremoti italiani recenti, in particolare del terremoto di Colfiorito del 26 settembre 1997 (evento delle 09:40, $M_w 6.0$) e del terremoto del Molise del 31 ottobre 2002 ($M_w 5.7$), ottenendo un accordo accettabile (fig. 11).

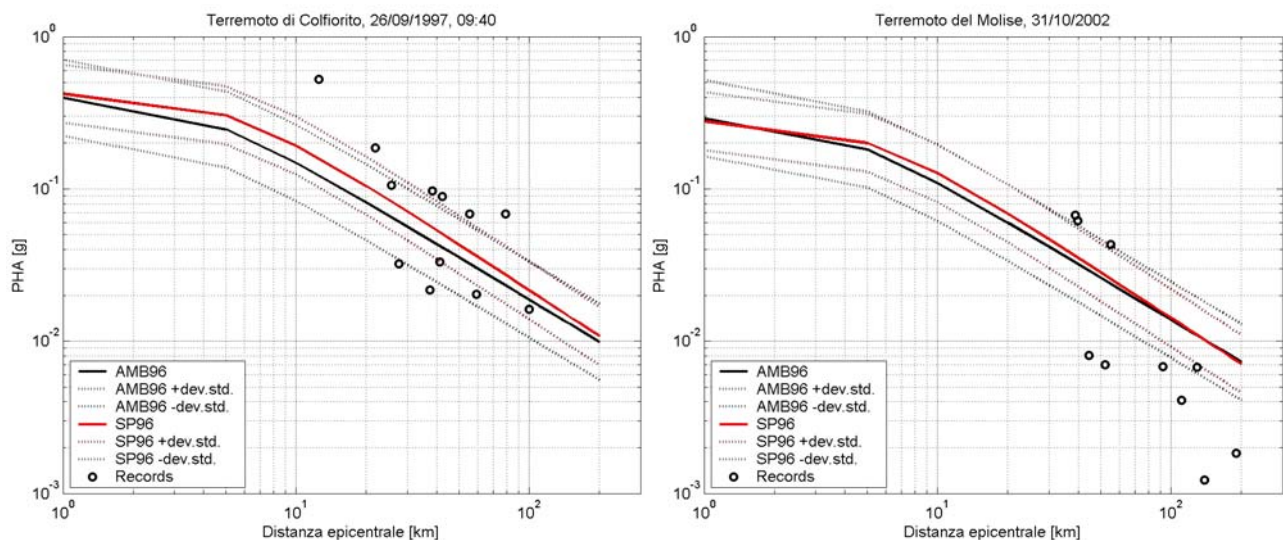


Figura 11. *A sinistra:* Confronto tra le curve di Ambraseys et al., 1996 (AMB96, in nero) e Sabetta and Pugliese, 1996 (SP96, in rosso) per $M_s 6.0$ con i dati del terremoto di Colfiorito ($M_s 6.0$). *A destra:* confronto delle stesse per $M_s 5.5$ con i dati del terremoto del Molise ($M_s 5.7$).

Definizione di relazioni di attenuazione regionali. Uno dei limiti di cui soffrono le relazioni di attenuazione formulate in termini di a_{max} è il ristretto campione di dati sulla base delle quali vengono determinate. Questo problema viene parzialmente ovviato facendo ricorso a dati di regioni molto ampie (Italia o addirittura Europa); a fronte di risultati statisticamente più stabili, tuttavia, le relazioni così ottenute tendono a descrivere un comportamento "medio" che in molti casi è poco rappresentativo di situazioni regionali e locali (un esempio è costituito dalle zone vulcaniche).

Per superare questo limite si è verificata la possibilità di utilizzare leggi di scala del moto del suolo determinate su base regionale a partire da registrazioni strong- e weak-motion, che forniscono ovviamente un campione di dati più consistente. In particolare, le leggi di scala regionalizzate proposte da Malagnini et al. (2000 e 2002) e da Morasca et al. (2003) contengono informazioni sulla propagazione rispettivamente per tre macrozone: Alpi occidentali (zona 1); Alpi orientali (zona 2); Appennino centro-settentrionale (zona 3). Il passaggio dalle leggi di scala regionalizzate a relazioni di attenuazione regionalizzate è stato effettuato utilizzando lo strumento della teoria delle vibrazioni aleatorie (RVT, Cartwright and Lounguet-Higgins, 1956); in questo modo è possibile ottenere stime teoriche di a_{max} in funzione della magnitudo e della distanza ipocentrale. Poiché le relazioni regionali non sono definite per distanze ipocentrali inferiori a 10 km, si è convenuto di vincolare il valore di a_{max} a 1 km di distanza epicentrale a quello fornito dalla relazione di Ambraseys et al. (1996). Alle relazioni di attenuazione così ottenute, definite in termini di M_w , sono stati assegnati valori di deviazione standard del logaritmo dell'accelerazione, valutati tramite stime indirette, che per le tre macrozone risultano nel range 0.18-0.21. Per motivi pratici la deviazione standard è poi stata assunta uguale a 0.2 per tutte le macrozone.

Per quanto riguarda le altre parti del territorio, per le quali non sono ancora disponibili leggi di scala regionalizzate, il problema è stato risolto estendendo i risultati disponibili per le tre macrozone predette a macrozone con caratteristiche crostali analoghe. In particolare, l'Arco calabro è stato assimilato alle Alpi occidentali; la Sicilia settentrionale è stata assimilata all'Appennino; la Sicilia meridionale e la Piattaforma Apula sono state assimilate alle Alpi orientali.

Per quanto riguarda le ZS vulcaniche (Etna, vulcani campani, Colli Albani, vulcani toscano-laziali; zona 4) sono state considerate alcune relazioni di scala specifiche per zone italiane (De Natale et al., 1988; Patanè et al., 1994; 1997). Le relazioni di attenuazione sono state determinate con la tecnica della RVT a partire dai parametri (spreading geometrico $1/r$ e parametro k) della legge di scala di De Natale et al. (1988) per l'area dei Campi Flegrei, parametri che derivano dall'analisi di diverse decine di sismogrammi digitali di eventi di debole energia, registrati a breve distanza. Le relazioni di attenuazione che ne derivano sono caratterizzate da valori elevati di a_{max} a brevi distanze ipocentrali, che tendono a decadere rapidamente con la distanza, in accordo con gli effetti osservati che indicano danni generalmente molto localizzati. Poiché le ZS cui si intendono applicare queste relazioni sono simili ma non identiche, i rispettivi valori di a_{max} sono stati ricavati con riferimento a valori diversi di stress drop.

In fig. 12 è rappresentata l'attribuzione delle relazioni di attenuazione regionalizzate alle ZS: i colori identificano le macrozone alle quali è attribuito lo stesso insieme di relazioni di attenuazione.

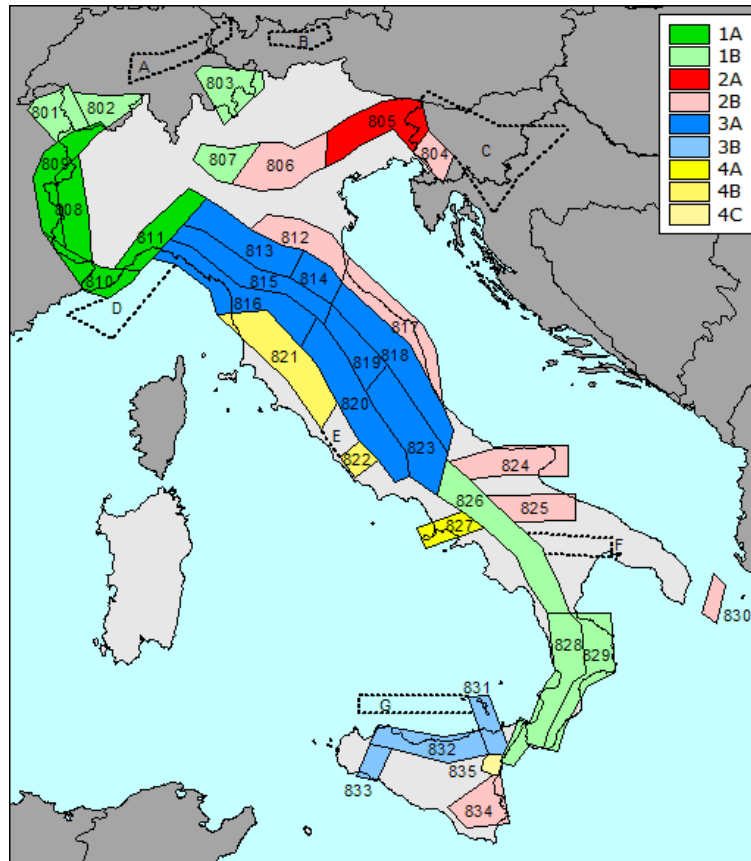


Figura 12. Attribuzione delle relazioni di attenuazione regionali alle ZS. *Colore pieno (A)*: macrozone i cui dati sono stati usati per la definizione delle leggi di scala. *Colore sfumato (B)*: macrozone cui le relazioni di attenuazione sono state associate sulla base di analogie del comportamento propagativo.

La fig. 13 presenta alcune curve di attenuazione regionali.

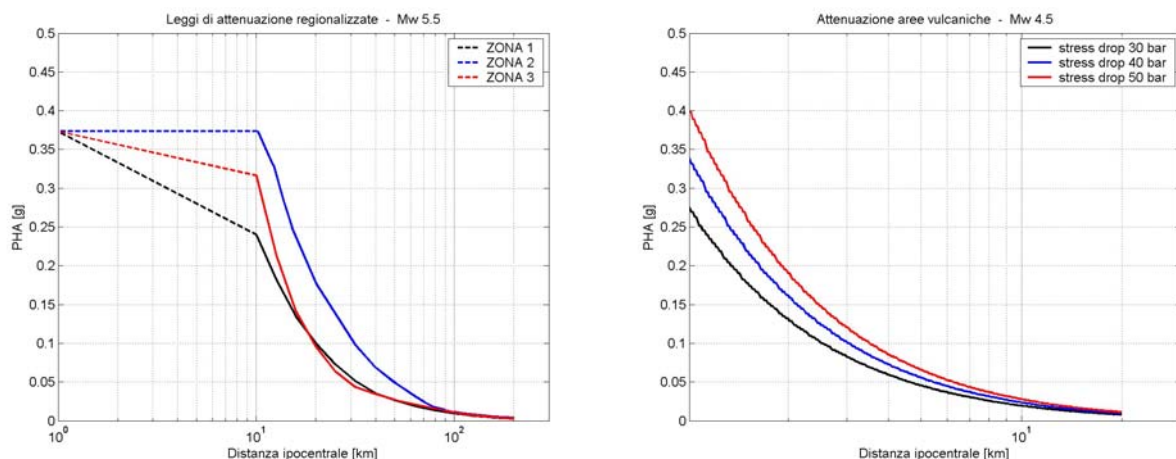


Figura 13. *A sinistra*: Confronto tra le curve di attenuazione regionali valide nelle zone 1 (Alpi occidentali e Arco calabro, nero), 2 (Alpi orientali, Piattaforma Apula e Sicilia meridionale, blu) e 3 (Appennino e Sicilia settentrionale, rosso), per Mw5.5. *A destra*: confronto tra le curve di attenuazione per le aree vulcaniche calcolate con tre valori di stress drop, per Mw4.5.

Anche per quanto riguarda le relazioni regionali la capacità predittiva è stata verificata attraverso il confronto con i valori di a_{max} registrati in occasione di terremoti non compresi nella base di dati analizzata per definire le relazioni stesse: in particolare i terremoti di Colfiorito (26.09.1997, Mw6.0) e del Molise (31.10.2002, Mw5.7). I confronti mostrano un accordo accettabile tra valori osservati e valori previsti dalle curve di attenuazione (fig. 14), e forniscono una verifica sperimentale dei valori di deviazione standard.

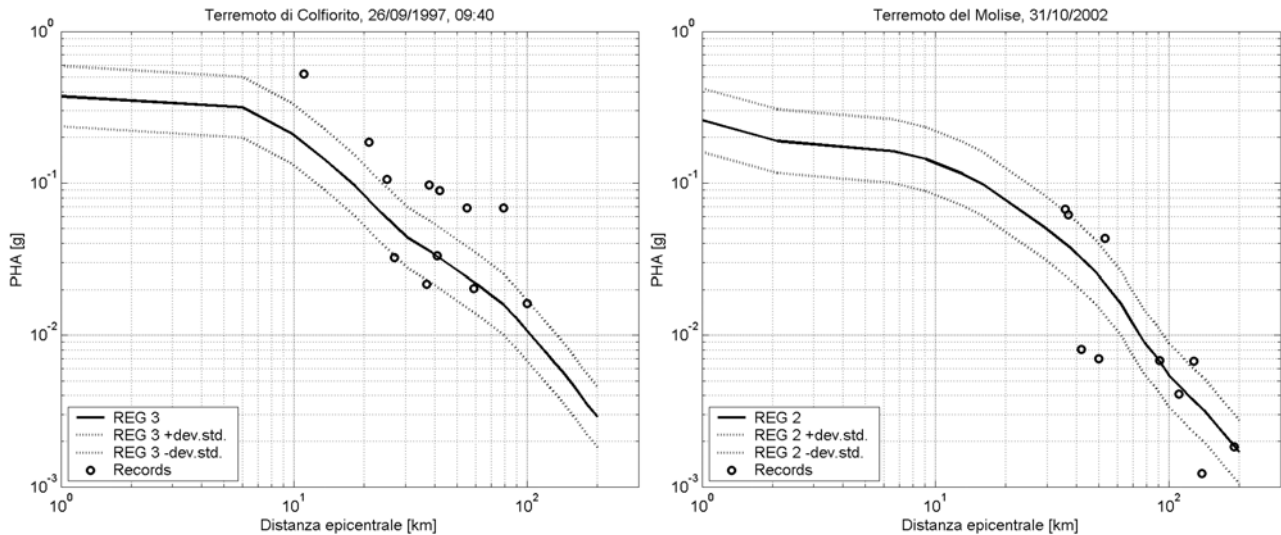


Figura 14. A sinistra: Confronto tra le curve per Mw6.0 derivate da Malagnini et al. (2000), valide per l'Appennino con i dati del terremoto di Colfiorito, 1997 (Mw6.0). A destra: confronto tra le curve per Mw6.0 derivate da Malagnini et al. (2002), valide per Alpi orientali e Piattaforma Apula, con i dati del terremoto del Molise, 2002 (Mw5.7).

In conclusione si ritiene che la soluzione più idonea sia:

- per tutte le ZS, escluse quelle vulcaniche: utilizzo ponderato delle tre relazioni Ambraseys et al. (1996), Sabetta e Pugliese (1996), relazioni regionali, con pesi uguali oppure leggermente differenziati a favore di quelle regionali;
- per le ZS vulcaniche di Etna, Vulcani campani e Colli Albani: utilizzo ponderato delle tre relazioni di cui al punto a), con peso molto maggiore a quella sviluppata nell'ambito di questa iniziativa, calcolata per valori di stress drop rispettivamente di 30 bar per l'Etna e 40 bar per le altre due ZS;
- ZS dei vulcani tosco-laziali (a sismicità più complessa delle precedenti): soluzione di tipo a), con relazione regionale vulcanica e stress drop pari a 50 bar.

Definizione di leggi regionali di attenuazione dell'intensità macrosismica. A partire dal database dei dati di intensità utilizzato per la compilazione del catalogo CPTI2 sono stati determinati, per ciascuna ZS, i parametri della relazione di attenuazione bilineare di Gasperini (2001), regionalizzata sulla base dei risultati di un'analisi tomografica riguardante le variazioni laterali dei coefficienti della curva di attenuazione in intensità su gran parte territorio italiano (Carletti e Gasperini, 2003). Le relazioni di attenuazione così ottenute possono essere utilizzate per la valutazione della pericolosità in termini di intensità macrosismica, e anche per eseguire confronti con i risultati espressi in termini di a_{max} , con particolare riferimento alle zone in cui i dati strumentali sono particolarmente carenti.

6. Modalità di parametrizzazione della sismicità

Determinazione degli intervalli di completezza dei dati del catalogo. L'impatto sui tassi di sismicità delle valutazioni di completezza determinati da analisi statistiche è stato discusso da Stucchi e Albini (2000). In particolare, questa analisi ha mostrato che tali intervalli determinano un divario molto elevato fra il numero di terremoti in 1000 anni di catalogo e il numero di terremoti virtuali stimato in 1000 anni a partire dai tassi di sismicità, anche per terremoti distruttivi ($I_0=8/9$; $M \geq 5.8$). Per ridurre questo divario, in questa ricerca la porzione di catalogo da considerarsi completa è stata determinata utilizzando approcci di tipo sia storico, sia statistico. In particolare sono stati proposti due insiemi di intervalli di completezza, definiti rispettivamente "prevalentemente storico" (CO-03.6) e "prevalentemente statistico" (CO-03.8).

Per determinare l'insieme "prevalentemente storico" sono stati utilizzati i risultati delle stime di completezza dei dati storici di sito, con riferimento a $I_{\text{sito}} \geq 8/9$ e $I_{\text{sito}} \geq 9/10$, ottenute con un approccio di tipo storico per una ventina di località italiane (fig. 15) nell'ambito di ricerche svolte per conto del SSN (Albini et al., 2001) e nel progetto GNDT "Scenari di danno..." (Albini et al., 2002).



Figura 15. Stelle (blu): Località oggetto di indagine storica (spiegazione delle sigle a lato). Punti (rossi): luoghi oggetto di analisi statistiche.

Queste stime sono state ottenute: i) analizzando, in via speditiva, il potenziale informativo di carattere storico e storiografico riguardante le località in esame; ii) valutando in modo esperto gli intervalli temporali per i quali risulta poco credibile che un eventuale effetto della predetta intensità possa non essere stato "registrato" dalla documentazione storica che concorre al potenziale informativo.

Le stime, espresse in termini di anno di decorrenza della completezza, sono interpretabili come riferite a eventi con $I_{sito}=I_o$ e epicentro nella località, e sono quindi state formulate per le classi di M_s corrispondente ($M_s \geq 5.8$; $M_s \geq 6.4$; fig. 16, stelle blu). L'insieme degli intervalli di completezza è stato ottenuto estendendo in modo ragionato le predette stime alle altre classi di M_s , con passo pari almeno a 0.6. Per determinare l'insieme "prevalentemente-statistico" sono state considerate invece le stime di tipo statistico ottenute dall'applicazione della metodologia di Albarello et al. (2001) a una trentina di punti (fig. 15), che sono corredate da un intervallo temporale che esprime l'incertezza della determinazione (fig. 16, triangoli rossi e barre rosse).

Il primo insieme di intervalli è poi stato completato, mediante considerazioni storiche di prima approssimazione, estendendo le stime a 5 macrozone e, da queste, modulandole per le varie ZS (CO-03.6; fig. 16, quadrati verdi). Per il secondo insieme l'estensione alle macrozone è avvenuta utilizzando vincoli di coerenza areale (CO-03.8; fig. 16, triangoli verdi). In fig. 17 sono presentati i 5 andamenti principali.

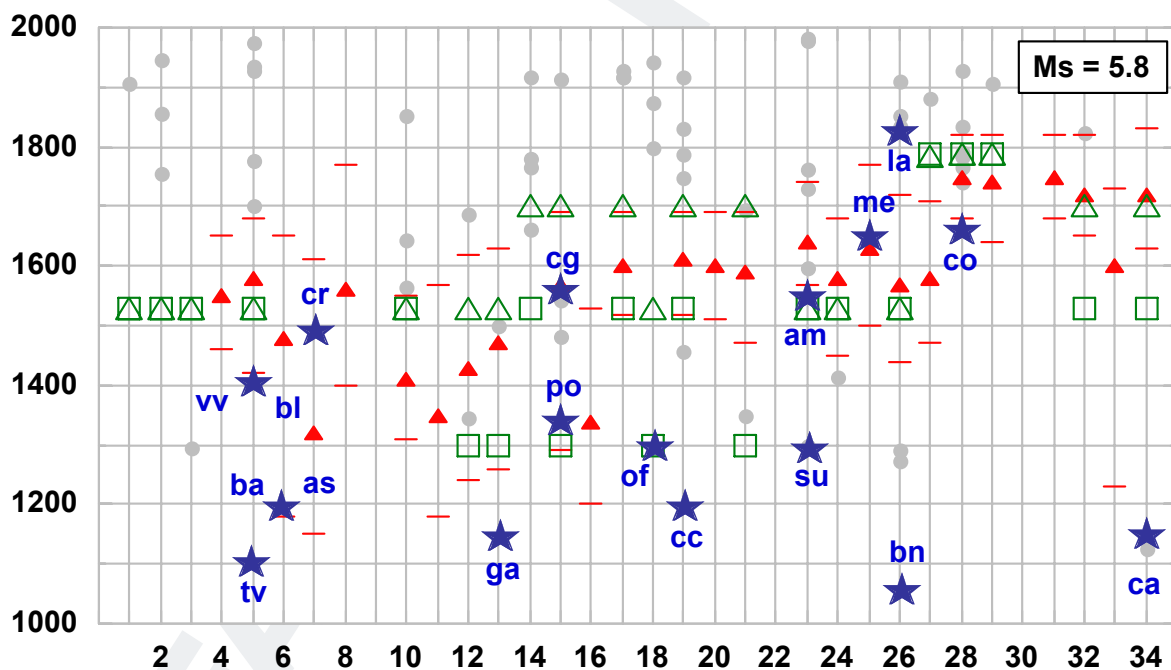


Figura 16. Rappresentazione spazio-temporale (in ascissa le ZS, in ordinata il tempo), per due classi di M_s , dei terremoti di CPTI (*pallini grigi*) con l'aggiunta delle decorrenze di completezza: storica, per i dati dei 20 siti indagati (*stelle blu*); statistica con intervalli di confidenza, per i 30 luoghi analizzati (*triangoli e barre rosse*); CO-03.6 (*quadrati verdi*); CO-03.8 (*triangoli verdi*).

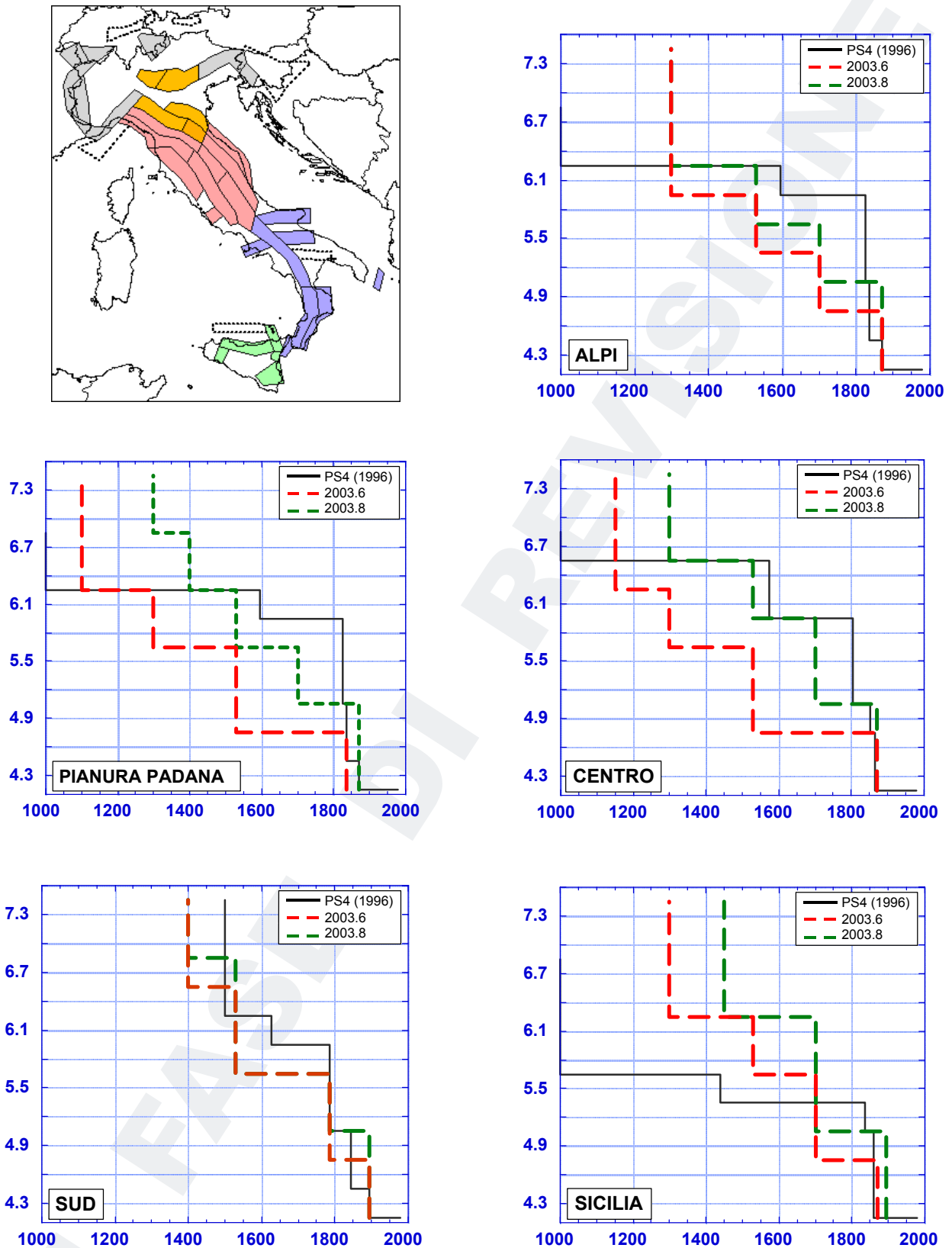


Figura 17. Macrozone di definizione degli intervalli di completezza C0-03.6 e C0-03.8, e relativi andamenti principali, confrontati con gli analoghi andamenti utilizzati da Slejko et al. (1998).

Dalla applicazione dei due insiemi di intervalli di completezza i numeri che esprimono il divario fra terremoti in catalogo e terremoti virtuali stimati a partire dai tassi di sismicità per $M_s \geq 5.8$ risulta rispettivamente di 84 e 102; per $M_s \geq 6.1$ risulta rispettivamente di 41 e 50 (fig. 18).

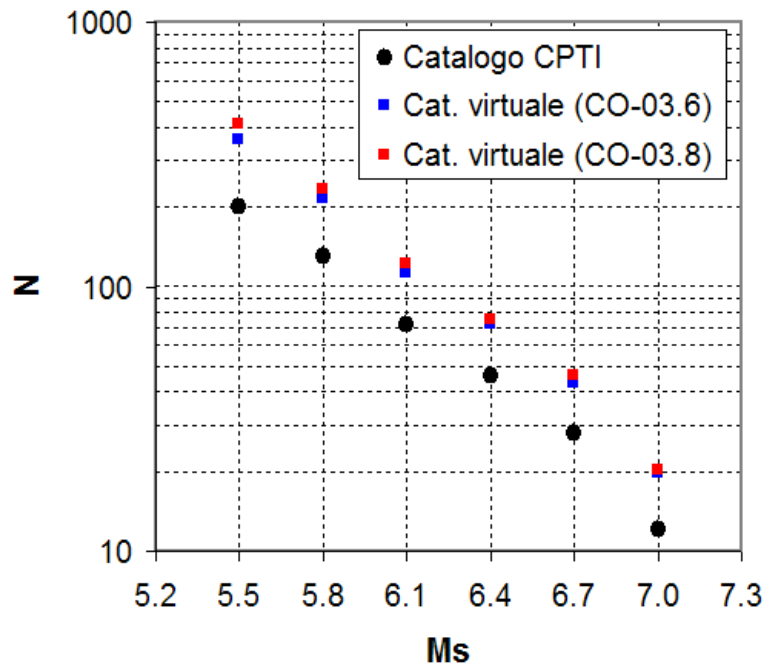


Figura 18. Numero cumulativo di eventi in CPTI a confronto con il numero cumulativo dei eventi virtuali stimato dai tassi di sismicità ottenuti dai 2 insiemi di intervalli di completezza.

Poiché si tratta di eventi distruttivi, capaci cioè di determinare un impatto notevole sul territorio e di lasciare tracce persistenti sul territorio stesso e nella relativa memoria storica, queste cifre appaiono abbastanza elevate, anche se inferiori a quelle riscontrate nelle citate valutazioni di pericolosità.

Calcolo dei tassi di sismicità. E' stato utilizzando il catalogo CPTI fino al 1980, qualificato come descritto al paragrafo 4, integrato con il catalogo CPTI2 per la sezione 1981-2002. La ZS dell'Etna è stata trattata in modo distinto (vedi più sotto). I tassi di sismicità sono stati determinati individualmente, per ciascuna classe di M e per ciascuna ZS, dividendo il numero di terremoti presenti nella classe e nella finestra temporale ritenuta completa per la lunghezza della finestra stessa. Questa procedura è stata preferita all'utilizzo di parametri di relazioni GR per i seguenti motivi: a) scarsa credibilità della applicazione delle relazioni GR ad aree limitate; b) opportunità di rispettare alcune singolarità presenti nella distribuzione dei terremoti nel catalogo, con particolare riferimento al probabile sovrannumero nella classe $M_s=4.9$ ($I_0=7$), dovuto all'eredità di stime di intensità epicentrali di tipo cautelativo, non ancora aggiornate.

In previsione dell'impiego di relazioni di attenuazione che usano tipi diversi di magnitudo (M_s , M_w e M_L) si è reso necessario determinare tre distinte serie di tassi. Per quelli calcolati in termini di M_s sono state usate classi di $0.3M_s$ (classe inferiore $M_s 4.3 \pm 0.15$), per un totale iniziale di 1469 terremoti che, tuttavia, con l'adozione dei 2 insiemi di intervalli di completezza diventano rispettivamente circa 1070 (CO-03.6) e circa 910 (CO-03.8).

I tassi in termini di Mw e ML sono stati calcolati dallo stesso insieme di terremoti usato per Ms: poiché le relazioni fra Ms, Mw e ML non sono lineari, per rispettare le singolarità del catalogo descritte più sopra sono state adottate classi di Mw e ML leggermente diverse (0.24Mw e 0.28ML).

Per la ZS dell'Etna è stata usata la porzione di catalogo descritta al paragrafo 4.

Adozione del valore di Mmax. Il valore di Mmax per ciascuna ZS è stato determinato dal confronto fra il valore osservato, contenuto nel catalogo, e quello proposto su base esclusivamente geologica dal citato DISS, assunto come elemento di vincolo indipendente. In due ZS (Ferrarese e Costa marchigiana) quest'ultimo valore è risultato superiore a quello osservato; il tasso di sismicità per la relativa classe di M è stato calcolato utilizzando il periodo minimo di ritorno proposto da DISS.

Inoltre, nelle ZS dei Grigioni e del Bresciano/Veronese gli eventi con $M=M_{max}$ risultano al di fuori dell'intervallo di completezza. Anche per queste classi i tassi di sismicità sono stati calcolati utilizzando un periodo di ricorrenza pari alla distanza cronologica dell'evento dal termine del catalogo.

7. Valutazione di amax (10%/50anni)

Le distribuzioni di amax con probabilità di superamento del 10% in 50 anni sono state valutate utilizzando il citato codice SEISRISK III con i dati di ingresso, le procedure e le scelte illustrate nei paragrafi precedenti. I valori di profondità da usare in combinazione con le relazioni di attenuazione regionali sono stati scelti, all'interno delle classi definite al paragrafo 3, attribuendo un peso maggiore alle profondità dei terremoti usati per la calibrazione delle relazioni stesse.

Come previsto dall'Ordinanza (All.1, 2d) le valutazioni di amax sono state eseguite su di una griglia di punti con passo 0.05° ; i risultati sono stati rappresentati in termini di valori della accelerazione di gravità g, mediante fasce colorate con passo di 0.025g.

Facendo seguito a quanto suggerito nei paragrafi precedenti, sono state eseguite 6 valutazioni indipendenti, utilizzando in alternativa tre set di relazioni di attenuazione e due set di intervalli di completezza, secondo lo schema presentato in tabella:

rel. di attenuazione	dev. stand.	CO-03.6	CO-03.8
Ambraseys et al., 1996	0.25	val. 1	val. 5
Sabetta e P., 1996	0.19	val. 2	val. 6
Regionali, 2003	0.20	val. 3	val. 7

Le valutazioni 1, 2 e 3 sono state combinate fra loro con pesi rispettivamente 30%, 30% e 40%, con l'eccezione delle ZS dell'Etna, dei Colli Albani e dei Vulcani campani dove il peso utilizzato è stato rispettivamente 10%, 10% e 80%; il risultato di questa operazione rappresenta la valutazione 4 (fig. 19). Le valutazioni 5, 6 e 7 sono state combinate fra loro in modo analogo alle precedenti, ottenendo la valutazione 8 (fig.20). Infine, le valutazioni 4 e 8 sono state combinate fra loro con peso 50%, ottenendo la valutazione 9 (fig. 21), che viene proposta come mappa finale.

Per quanto riguarda le aree esterne alle ZS, anche se in tali aree è possibile che si verifichino eventi con $M_s 4.9$, si ritiene in prima approssimazione che i valori di amax ottenuti dal contributo delle ZS contigue siano sufficientemente rappresentativi della pericolosità sismica. Fanno eccezione le isole Pelagie, Pantelleria, Ustica, Ponza e per le quali occorrerà procedere con un approccio diverso. Per la Sardegna non si ritiene necessario eseguire valutazioni di amax.

Le pagine 22 - 28 che contengono le figure 19 - 24
relative alla mappa di pericolosità sismica
non vengono rese disponibili.

IN FASE DI REVISIONE

Bibliografia

- Akinci A., C. Mueller, L. Malagnini and A. Lombardi (2003). A probabilistic seismic hazard assessment for the Apls and Appennines (Italy). *Boll. Geo. Teo. App., sottomesso*
- Albarello D., Bosi V., Brammerini F., Lucantoni A., Naso G., Peruzza L., Rebez A., Sabetta F. e Slejko D. (2000). Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale. Quaderni di Geofisica, 12, ING, Roma, 7 pp., CD-ROM, 4 allegati.
- Albarello D., Camassi R. and Rebez A. (2001). Detection of space and time heterogeneity in the completeness level of a seismic catalogue by a "robust" statistical approach: an application to the Italian area. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 6, 1694-1703.
- Albini P., Camassi R., Castelli V. e Stucchi M. (eds) (2001). Miglioramento della qualità delle informazioni macrosismiche per un loro utilizzo nella valutazione della pericolosità sismica. Rapporto tecnico INGV-MI per il Servizio Sismico Nazionale, Milano, 195 pp. (Parte A, 43 pp.; Parte B, 152 pp.).
- Albini P., Stucchi M. e Mirto C. (2002). Valutazione di completezza, su base storica, dei dati del catalogo sismico CPTI (1999) nell'area corrispondente alle ZS n. 5 e 6 in ZS4 (Belluno/Cansiglio e Asolo/Vittorio Veneto). Progetto GNDT "Scenari di danno in area veneto-friulana". Rapporto tecnico INGV-MI, 2002, 5 pp.
- Ambraseys N.N. (1990). Uniform magnitude re-evaluation of European earthquakes associated with strong-motion records. *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, 19, 1-20.
- Ambraseys N.N. (1995). The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe. *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, 24, 4, 467-490.
- Ambraseys N.N., Simpson K.A. and Bommer J.J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, 25, 371-400.
- Azzaro R. and Barbano M.S. (1997). Intensity-magnitude relationship for the Mt. Etna area (Sicily). *Acta Vulcanologica*, 9, 1/2, 15-21.
- Azzaro R. and Barbano M.S. (2000). Analysis of the seismicity of southeastern Sicily; a proposed tectonic interpretation. *Ann. Geofis.*, 43, 1, 171-188.
- Basili R., S. Barba and G. Valensise (2001). The location of potential large earthquake sources in the Apennines: major constraints from minor seismicity. *Eos Trans. AGU*, 82(47), Fall Meet. Suppl., Abstract T52B-0941, F1257, 20 Nov. 2001.
- Bender B. and Perkins D.M. (1987). SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 1772, 48 pp.
- Boncio P., Brozzetti F. and Lavecchia G. (2000) Architecture and seismotectonics of a regional low-angle normal fault zone in Central Italy. *Tectonics*, 19, 1038-1055.
- Boschi E. e Guidoboni E. (2001). Catania terremoti e lave dal mondo antico alla fine del Novecento. INGV-SGA, Bologna, 414 pp.
- Boschi E. e Guidoboni E. (2003). I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo. INGV-SGA. Bologna, 598 pp.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. and Gasperini P. (eds.) (2000). Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980. *Ann. Geofis.*, 43, 609-868.
- Camassi R e Stucchi M. (1997). NT 4.1.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno. Rapporto tecnico GNDT, Milano, 66 pp. + <http://emidius.mi.ingv.it/NT/home.html>
- Carletti F. and Gasperini P. (2003). Lateral variation of seismic intensity attenuation in Italy. *Geophys. J. Int.* (submitted).
- Cartwright D.E. and Longuet-Higgins M.S. (1956). The statistical distribution of the maxima of a random function. *Proc. R. Soc. London*, 237, 212-232.
- Console R. and Murru M. (2001). A simple and testable model for earthquake clustering. *Journ. Geoph. Res.*, 106, B5, 8699-8711.
- Cornell C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- De Natale G., Faccioli E. and Zollo A. (1988). Scaling of peak ground motion from digital recordings of small earthquakes at Campi Flegrei, Southern Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 128, 37-53.
- Frankel A. (1995). Mapping Seismic Hazard in the Central and Eastern United States. *Seism. Res. Lett.*, 66, 4, 8-21.
- Galadini F., Meletti C. and Vittori E. (2001). Major active faults in Italy; available surficial data. *Geologie en Mijnbouw, Netherlands Journal of Geosciences*, 80, 3-4, 273-296.

- Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (eds) (2000). Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999). Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 397 pp.
- Galli P., Molin D., Galadini F. e Giaccio B. (2002). Aspetti sismotettonici del terremoto irpino del 1930. In: Castenetto S. e Sebastiano M. (eds), Il "terremoto del Vulture" 23 luglio 1930 VIII dell'Era fascista. SSN, Roma, 217-262.
- Gasperini P. (2001). Attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape indicates the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 826-841.
- Gasperini P. (2002). Local magnitude reevaluation for recent Italian earthquakes (1981-1996). *Journal of Seismology*, 6, 503-524.
- Gasperini P. and Ferrari G. (2000). Deriving numerical estimates from descriptive information: the computation of earthquake parameters. *Ann. Geofis.*, 43, 729-746.
- Giardini D. (1999). The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) - 1992/1999. *Ann. Geofis.*, 42, 957-974.
- Giardini D., Jiménez M.J. and Grünthal G. (eds) (2003). The ESC-SESAME European-Mediterranean Seismic Hazard Map, scale 1:5,000,000. ETH-CSIC-GFZ, Zürich.
- Gruppo di lavoro (1999). Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale. *Ingegneria Sismica*, 16, 1, 5-14.
- Gruppo di lavoro CPTI (1999). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp.
- Gruppo di lavoro CSTI (2001). Catalogo Strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996, Versione 1.0. ING-GNDT, CD-ROM.
- Jiménez M.J., Giardini G., Grünthal G. and the SESAME Working Group (2001). Unified seismic hazard modelling throughout the Mediterranean region. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 42, 3-18.
- Johnston A.C. (1996). Seismic moment assessment of earthquakes in stable continental regions - I, Instrumental seismicity. *Geophys. J. Int.*, 124, 381-414.
- Lavecchia G., Boncio P., Brozzetti F., Stucchi M. and Leschiutta I. (2002). New criteria for seismotectonic zoning in Central Italy; insights from the Umbria-Marche Apennines. *Boll. Soc. Geol. It.*, Vol. Spec. 1, 881-891.
- Malagnini L., Akinci A., Herrmann R.B., Pino N.A. and Scognamiglio L. (2002). Characteristics of the Ground Motion in Northeastern Italy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 6, 2186-2204.
- Malagnini L., Herrmann R.B. and Di Bona M. (2000). Ground motion scaling in the Apennines (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 4, 1062-1081.
- Margottini C., Ambraseys N.N. e Screpanti A. (1993). La magnitudo dei terremoti italiani del XX secolo. Enea, Roma.
- Margottini C., Molin D. e Serva L. (1992). Intensity versus ground motion: a new approach using Italian data. *Eng. Geol.*, 33, 45-58.
- Meletti C., Patacca E. and Scandone P. (2000). Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 11-35.
- Molin D., Galadini F., Galli P., Mucci L. e Rossi A. (1999). Terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915. Studio macrosismico. In: Castenetto S. e Galadini F. (eds), 13 gennaio 1915. Il terremoto nella Marsica. SSN, Roma, 321-340; 631-661.
- Morasca P., Malagnini L., Akinci A., D. Spallarossa and Herrmann R.B. (2003). Ground-motion scaling in the Western Alps. *Bull. Seism. Soc. Am.* (submitted).
- Patanè D., Ferrucci F. and Gresta S. (1994). Spectral features of microearthquakes in volcanic areas: attenuation in the crust and amplitude response of the site at Mt. Etna (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1842-1860.
- Patanè D., Ferrucci F., Giampiccolo E. and Scaramuzzino L. (1997). Source scaling of microearthquakes at Mt. Etna volcano and in the Calabrian Arc (Southern Italy). *Geoph. Res. Lett.* 24, 1879-1882.
- Peruzza L. (ed) (1999). Progetto MISHA. Metodi innovativi per la stima dell'hazard: applicazione all'Italia Centrale. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 176 pp.
- Peruzza L. and Pace B. (2002). Sensitivity analysis for seismic source characteristics to probabilistic seismic hazard assessment in central Apennines (Abruzzo area). *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 43, 79-100.

- Pondrelli S., Morelli A., Ekström G., Mazza S., Boschi E. and Dziewonsky A.M. (2002). European-Mediterranean regional centroid moment tensor catalog 1997-2000. *Phys. Earth. Plan. Int.*, 130, 71-101.
- Romeo A., Paciello A. and Rinaldis D. (2000). Seismic Hazard Maps of Italy Including Site Effects. *Soil Dyn. and Earthq. Eng.*, 20, 85-92.
- Romeo R. and Pugliese A. (1998). A global earthquake hazard assessment of Italy. *Proc. of the 11th European Conference on Earthquake Engineering*, 6-11 September 1998, Paris (France), 115.
- Romeo R. and Pugliese A. (2000). Seismicity, seismotectonics and seismic hazard of Italy. *Eng. Geol.*, 55, 241-266.
- Sabetta F. and Pugliese A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86, 2, 337-352.
- Scandone P. e Stucchi M. (2000). La zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica. In: Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (eds), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 3-14.
- SisFrance (2002). *SisFrance: histoire et caractéristiques des séismes ressentis en France métropolitaine et sur ses abords*. <http://www.sisfrance.net/>
- Slejko D., Camassi R., Cecic I., Herak D., Herak M., Kociu S., Kouskouna V., Lapajne J., Makropoulos K., Meletti C., Muço B., Papaioannou Ch., Peruzza L., Rebez A., Scandone P., Sulstarova E., Voulgaris N., Zivcic M. and Zupancic P. (1999). Seismic hazard assessment of Adria. *Ann. Geofis.*, 42, 6, 1085-1107.
- Slejko D., Peruzza L. and Rebez A. (1998). The seismic hazard maps of Italy. *Ann. Geofis.*, 41, 2, 183-214.
- Stucchi M. e Albini P. (2000). Quanti terremoti distruttivi abbiamo perso nell'ultimo millennio? Spunti per la definizione di un approccio storico alla valutazione della completezza. In: Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (eds), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 333-344.
- Stucchi M., Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (2002). Sorgenti sismogenetiche e zone-sorgente: una alternativa irriducibile? 21° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Roma (Italy), 19-21 Novembre 2002, Riassunti, 96-97.
- Stucchi M., Scandone P., Galadini F., Meletti C. and Rebez A. (2000). Towards a new seismogenic zonation of Italy. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC), 10-15 September 2000, Lisboa (Portugal). Abstract.
- Swiss Seismological Service (2002). ECOS - Earthquake Catalog of Switzerland. ECOS Report to PEGASOS, Version 31. 3. 2002, Appendix A: ECOS Database. SED, Zürich. <http://histserver.ethz.ch/>
- Tento A., Franceschina L. and Marcellini A. (1992). Expected ground motion evaluation for Italian sites. *Proc. of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, 19-24 July 1992, Madrid (Spain), Vol. 1, 489-494.
- Valensise G. and Pantosti D. (2001). Database of potential sources for earthquakes larger than M5.5 in Italy. *Ann. Geofis.*, suppl. vol. 44(4), 180 pp., with CD-ROM.