

Redazione della
Mappa di Pericolosità Sismica

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

Rapporto Conclusivo

bozza - aprile 2004



Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica

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

Rapporto Conclusivo *bozza - aprile 2004*

Questo documento rappresenta l'adeguamento di risultati della prima fase delle ricerche, descritte nel Rapporto Finale consegnato al Dipartimento per la Protezione Civile nel novembre 2003 e le cui modalità di realizzazione sono descritte nella pagina seguente, alle richieste del board dei revisori istituito dallo stesso Dipartimento.

La realizzazione è stata curata da un Gruppo di Lavoro composto da:

Massimiliano Stucchi (coordinatore)
Aybige Akinci
Ezio Faccioli
Paolo Gasperini
Luca Malagnini
Carlo Meletti
Valentina Montaldo
Gianluca Valensise

INGV, Sezione di Milano
INGV, Sezione Roma1
Politecnico di Milano
Università di Bologna
INGV, Sezione Roma1
INGV, Sezione di Milano
INGV, Sezione di Milano
INGV, Sezione Roma1

Hanno contribuito inoltre: Paola Albini, Salvatore Barba, Roberto Basili, Filippo Bernardini, Romano Camassi, Fabrizio Galadini, Ilaria Leschiutta, Fabrizio Meroni, Carmen Mirto, Giuliana Rubbia, Gianfranco Vannucci, Gaetano Zonno (INGV).

Il board dei revisori comprende:

Julian Bommer
Mariano Garcia
Domenico Giardini
Paolo Emilio Pinto
Dario Slejko

Imperial College, London (uk)
ICTJA-CSIS, Barcelona (es)
ETH, Zuerich (ch)
Università di Roma La Sapienza
INOGS, Trieste.

Alla revisione e al miglioramento dei risultati hanno contribuito anche: Franco Barberi (Università di Roma 3), Gian Michele Calvi (Università di Pavia), Paolo Gasparini (Università di Napoli Federico II) e i componenti della Commissione Grandi Rischi, Sezione Rischio Sismico.

Il documento è citabile come:

Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Nella prima fase (2003) l'esecuzione delle ricerche e la realizzazione del Rapporto Finale, consegnato a DPC nel novembre 2003, è stata coordinata da un Gruppo composto da:

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

e da

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

istituito dal Presidente dell'INGV con Decreti n.142 del 26 giugno 2003 e n.183 del 24 luglio 2003.

Alle ricerche hanno partecipato:

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

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*

Indice

| | |
|---|---------------|
| Riassunto | p. i |
| 1. Introduzione | p. 1 |
| 2. Contesto, obiettivi, aspetti metodologici | p. 3 |
| 3. Catalogo dei terremoti | p. 7 |
| 4. Zonazione sismogenetica | p. 10 |
| 5. Relazioni di attenuazione del moto del suolo | p. 18 |
| 6. Modalità di parametrizzazione della sismicità | p. 25 |
| 7. Valutazione di a_{max} (10%/50 anni) | p. 49 |
| 8. Confronti con altri elaborati | p. 59 |
| 9. Considerazioni conclusive e ringraziamenti | p. 62 |
| 10. Riferimenti bibliografici | p. 63 |
| | |
| Appendici | |
| App.1 – Catalogo dei terremoti CPTI2 | 29 pp. |
| App.2 – Zonazione sismogenetica ZS9 | 38 pp. |
| App.3 – Relazioni di attenuazione del moto del suolo | 22 pp. |
| App.4 – Applicazione del metodo a sismicità diffusa | 3 pp. |
| App.5 – Diffusione delle informazioni | 6 pp. |
| App.A - Elementi del processo di revisione scientifica | 35 pp. |

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

Rapporto conclusivo, aprile 2004

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 nel luglio 2003 la redazione della mappa coinvolgendo nella sua redazione esperti del mondo scientifico oltre che propri ricercatori, consegnando una prima versione in tempi molto brevi (novembre 2003). Pur condizionata in modo significativo dalla scadenza, questa ricerca ha utilizzato e elaborato un gran numero di dati e conoscenze prodotti di recente. In particolare:

- i) è stata elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9, 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. ZS9 è corredata, per ogni ZS, da un meccanismo focale prevalente e da un valore di profondità, determinati nella prospettiva di utilizzo con le relazioni di attenuazione descritte più sotto;
- ii) è stata prodotta una versione aggiornata del catalogo CPTI (Gdl CPTI, 1999), detta CPTI2, mediante: i) la revisione dei parametri dei terremoti della zona etnea; ii) la determinazione di valori di Mw e ML per tutti gli eventi; iii) la ricompilazione ex-novo della porzione 1981-1992 e la sua estensione al 2002, utilizzando 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 amax definite a scala nazionale e europea, utilizzando distanze epicentrali calcolate in modo appropriato e le modifiche per i meccanismi focali prevalenti introdotte da Bommer et al. (2003). 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 è stata sviluppata una nuova relazione utilizzabili per le zone vulcaniche.
- iv) sono stati determinati, con approcci storici e statistici, due insiemi di intervalli di completezza dei dati del catalogo CPTI2.

Secondo i criteri in uso nell'ambito scientifico internazionale, le procedure adottate per la compilazione della prima versione della mappa di amax con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Gruppo di Coordinamento, 2003) sono state sottoposte alla revisione di un gruppo di esperti di area europea, che ha fornito valutazioni e suggerimenti in modo sia collegiale che individuale. Conseguentemente, dati di ingresso e procedure sono stati migliorati in accordo con tali indicazioni.

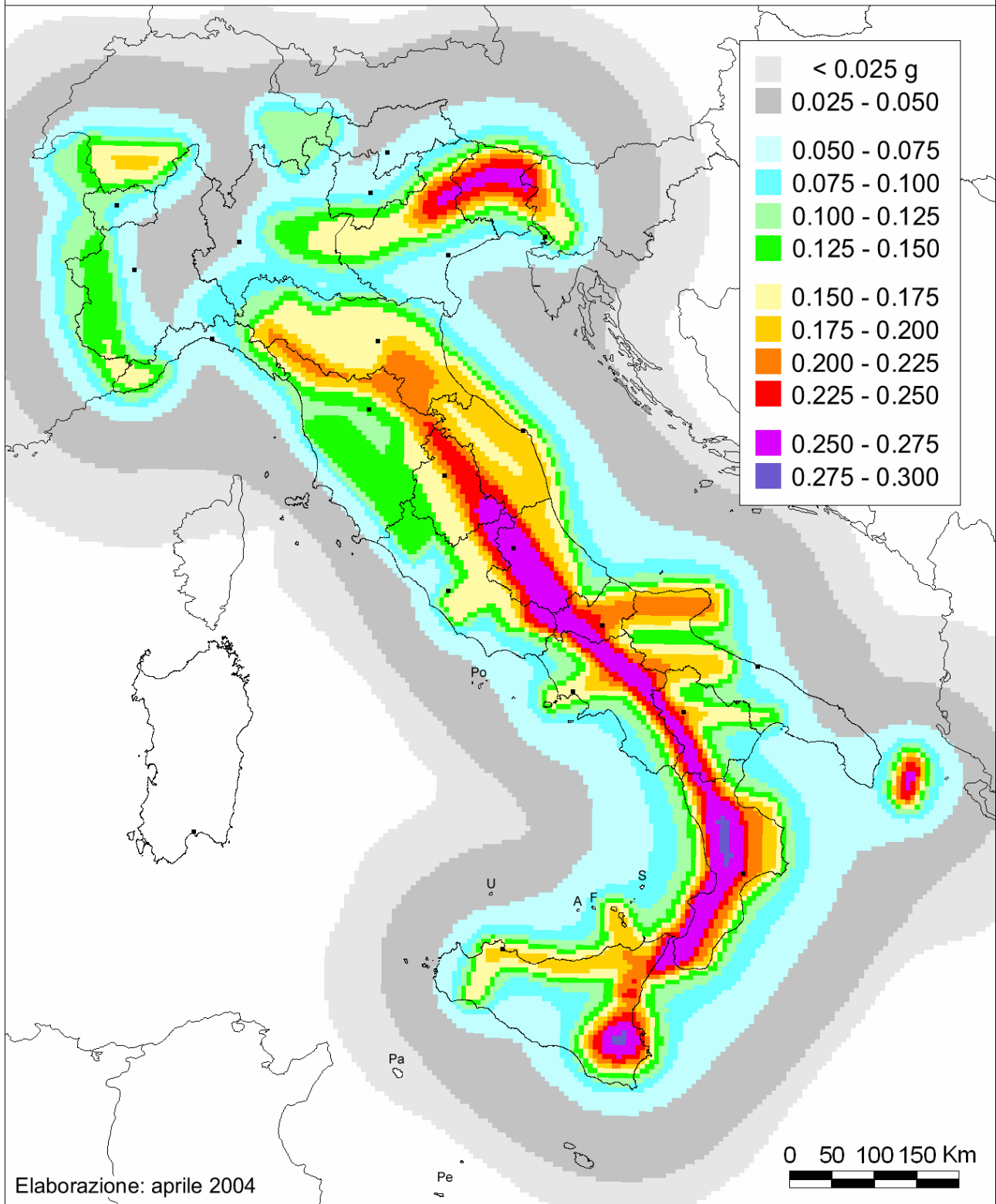
La mappa definitiva, presentata nella pagina successiva e descritta nel seguito, è stata ottenuta come mediana di 16 mappe corrispondenti ad altrettanti rami di un albero logico. Ciascun ramo, cui viene attribuito un peso, esplora alternative riguardanti: i) le modalità di valutazione della completezza del catalogo; ii) le modalità di determinazione dei tassi di sismicità; iii) le relazioni di attenuazione del moto del suolo. La mappa è corredata da una misura dell'incertezza, espressa in termini di distribuzione dei valori dell'84mo percentile relativi al campione delle 16 mappe.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

**Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni**

(riferimento: Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.3274, All.1)



1. Introduzione

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 G. Letta, nel dicembre 2002 (decreto 4485 del 4.12.2002).

L'Ordinanza, allineando la normativa per le costruzioni in zona sismica al sistema dei codici europei (EC8), ha consentito una significativa razionalizzazione del processo di individuazione delle "zone sismiche", che nel precedente sistema della "classificazione sismica" non era definito in modo chiaro. L'All.1 dell'Ordinanza stabilisce che le zone sismiche sono 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}), da elaborarsi entro un anno (aprile 2004) in modo omogeneo a scala nazionale secondo i criteri previsti dal citato All.1.

Per la fase di prima applicazione, fra le mappe allora disponibili l'Ordinanza adottò come mappa provvisoria di riferimento quella (fig.1a) 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 con riferimento al precedente sistema della classificazione sismica; ii) basata su dati non del tutto aggiornati; iii) priva delle fasce di tolleranza richieste dall'Ordinanza, suddivideva il territorio in quattro categorie e poteva, in via preliminare, essere interpretata nei termini delle quattro classi di a_{max} definite dal suddetto All.1. La mappa del 1998 è stata adottata con la precauzione di non "declassare" in questa fase i Comuni che risultino ora assegnati a una categoria inferiore a quella in cui erano assegnati in precedenza (fig.1b); la mappa risultante, allegata all'Ordinanza, è presentata in fig.1c.

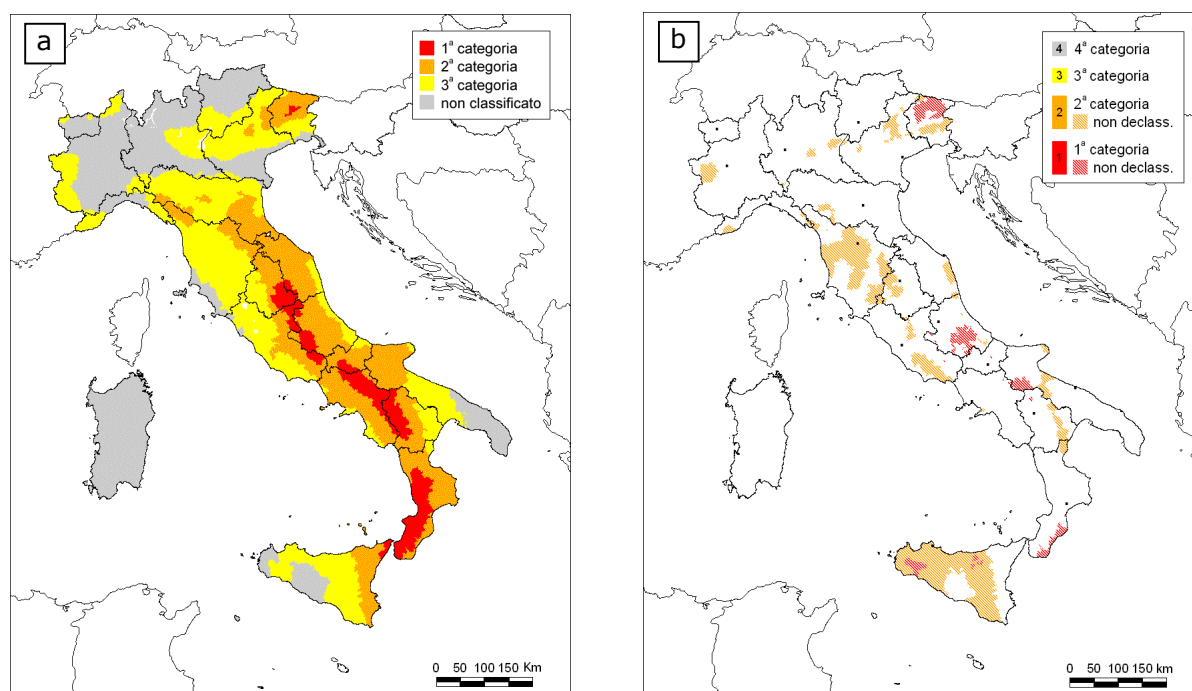


Figura 1. a) mappa di classificazione sismica proposta nel 1998 (Gruppo di Lavoro, 1999); b) zone non declassificate rispetto alla classificazione in vigore fino al 2003.

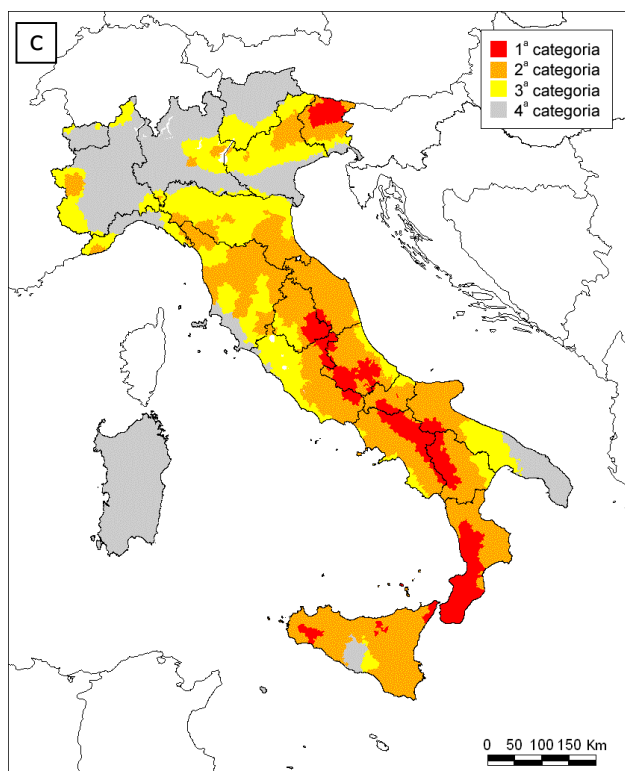


Figura 1c. Mappa delle zone sismiche allegata all'Ordinanza n.3274.

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 stretto 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).

Nel novembre 2003 è stato consegnato a DPC il Rapporto Finale (Gruppo di Coordinamento, 2003) contenente la mappa di pericolosità sismica e la descrizione delle procedure impiegate per la sua redazione. DPC ha sottomesso il documento ai componenti della CGR e a un gruppo di revisori di area europea; questi ultimi, dopo averne discusso con alcuni degli autori (1.12.2003), hanno formulato una serie di richieste di miglioramento. Nella stessa data la CGR ha espresso un giudizio sostanzialmente positivo dell'elaborato e ha condiviso le richieste dei revisori.

Si è quindi aperta una seconda fase della ricerca, che è stata svolta essenzialmente da un Gruppo di Lavoro ristretto (GdL), con la collaborazione di alcuni altri ricercatori. Questa fase ha visto uno scambio molto intenso di proposte da parte del GdL e di commenti da parte dei revisori, che ha consentito la verifica di tutti i passaggi della complessa operazione. Il GdL ha dapprima risposto alle richieste dei revisori, quindi ha prodotto alcune ipotesi e alcuni avanzamenti che sono stati discussi in un seminario tenutosi presso la Sezione INGV di Milano (22 e 23 gennaio 2004). A seguito del seminario i revisori hanno formulato nuovi indirizzi, cui il GdL ha risposto con un documento e con il successivo invio di stati di avanzamento su temi diversi. L'insieme dei documenti scambiati fra revisori e gruppo di lavoro è presentato in **App.A**.

Il presente rapporto presenta dunque la versione conclusiva delle ricerche svolte e dei risultati conseguiti. Si tratta di un prodotto di consenso realizzato attraverso numerosi confronti lungo un arco cronologico di circa 4+5 mesi, avvalendosi della tecnologia GIS per visualizzare le proposte di aggiornamento, incrociare i diversi insiemi di dati e verificare in tempi rapidi l'impatto delle diverse scelte sulle stime di pericolosità finali. E' opportuno sottolineare che, per la prima volta in Italia, un elaborato destinato a sostenere una mappa per l'applicazione della normativa sismica è stato sottoposto a verifica scientifica con i criteri di revisione (*peer review*) in uso presso la comunità scientifica internazionale e con una interazione costante con i revisori stessi.

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 adottare metodi consolidati, in gran parte analoghi a quelli utilizzati per la redazione della mappa del 1998 (Gruppo di Lavoro, 1999) scelta come base per la fase di prima applicazione, in modo da apportare al quadro in vigore le variazioni indotte prevalentemente dal notevole aggiornamento delle conoscenze sismologiche (sismicità; potenziale sismogenetico; modalità di propagazione dell'energia, ecc.), piuttosto che dall'adozione di metodologie di calcolo diverse.

Nel seguito vengono descritti gli aspetti principali che hanno caratterizzato la ricerca. Il testo principale presenta tutti gli aspetti in forma sintetica ma esaustiva. Aspetti di dettaglio sono invece trattati nelle Appendici.

Parametri del moto del suolo. I termini del problema sono fissati in modo chiaro dall'All.1 all'Ordinanza. In particolare, l'All.1,2b stabilisce che la mappa vada 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.Riuscetti); 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 elaborazioni (Slejko et al., 1998; Albarello et al., 2000) sono stati impiegati metodi 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).

E' stato previsto l'impiego di un albero logico finalizzato alla esplorazione di incertezze di tipo prevalentemente epistemico riferibili in particolare a:

- i) determinazione degli intervalli di completezza del catalogo;
- ii) determinazione dei tassi di sismicità;
- iii) tipi di relazione di attenuazione del moto del suolo e attribuzione areale delle relazioni a carattere regionale.

I risultati sono stati formulati in termini di mediana ponderata dei predetti rami e relativo 84 percentile.

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).

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.

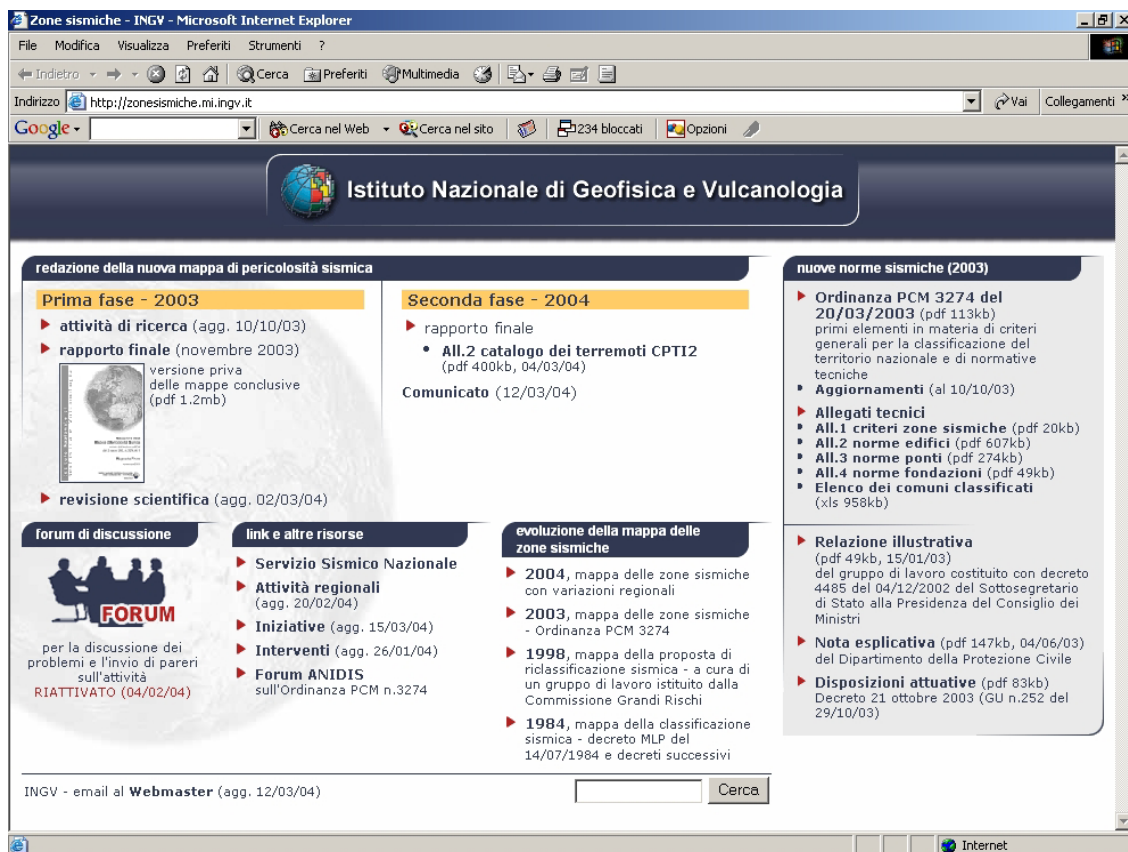


Figura 2. Home page del sito web <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

L'apertura del sito (21 luglio 2003) e l'inserimento degli aggiornamenti principali sono stati pubblicizzati via email ad una rosa di soggetti attentamente studiata; in essa si contano ricercatori e operatori del settore, Università, Centri di ricerca, il Dipartimento della Protezione Civile, i servizi regionali interessati al recepimento della normativa, oltre agli ordini professionali provinciali di ingegneri e architetti, per un totale di circa 1.000 indirizzi di posta elettronica. Alcune Regioni e ordini professionali hanno inserito nei loro siti il link a "zonesismiche.mi.ingv.it" e hanno segnalato al webmaster del sito convegni, workshop e delibere regionali riguardanti l'Ordinanza n.3274.

Il sito ha registrato in media 2500 richieste e 60 visitatori distinti al giorno, raggiungendo, alla metà di marzo 2004, 609.500 richieste e 12.170 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) e in misura maggiore nel periodo successivo alla pubblicazione dei risultati del processo di revisione scientifica (dall'inizio di febbraio 2004).

Le analisi degli accessi hanno messo in luce che il sito è stato consultato con costanza nel periodo luglio 2003 - marzo 2004 (fig.3) in tutte le sue sezioni, da parte sia di contributori sia di utenti dei prodotti finali. Tra i visitatori più assidui si riscontrano le tipologie di utenza destinatarie dell'attività: DPC, INGV e Università, Regioni, Province, Comuni, professionisti, società di consulenza, ecc. (fig.4).

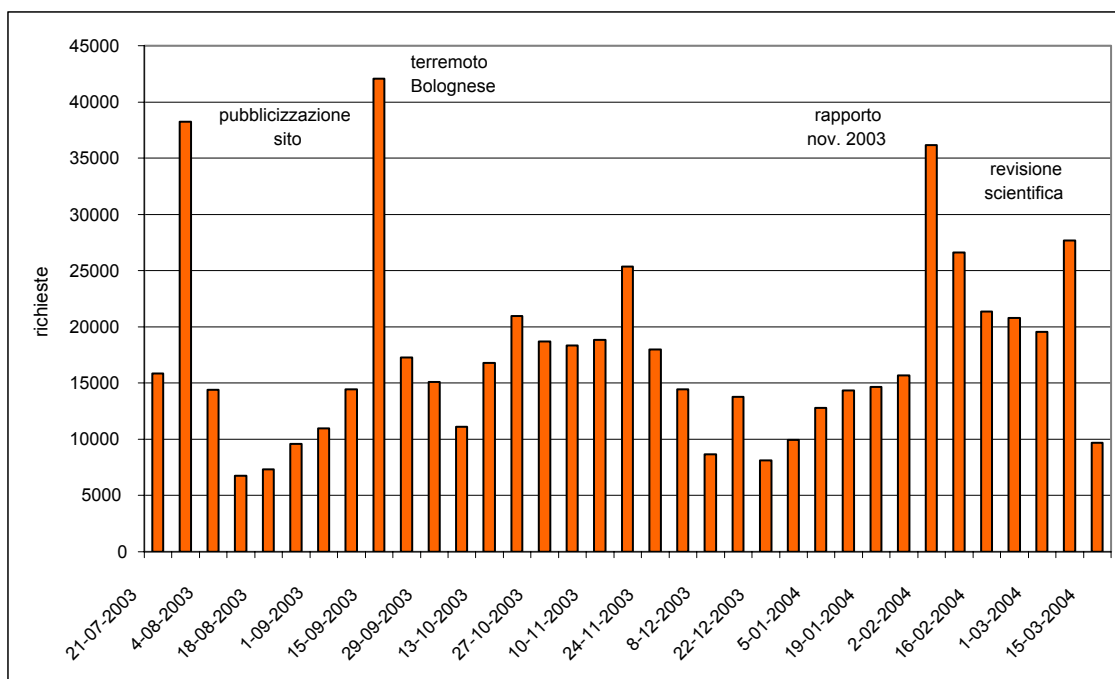


Figura 3. Andamento temporale degli accessi al sito: numero di richieste per settimana (luglio 2003-marzo 2004).

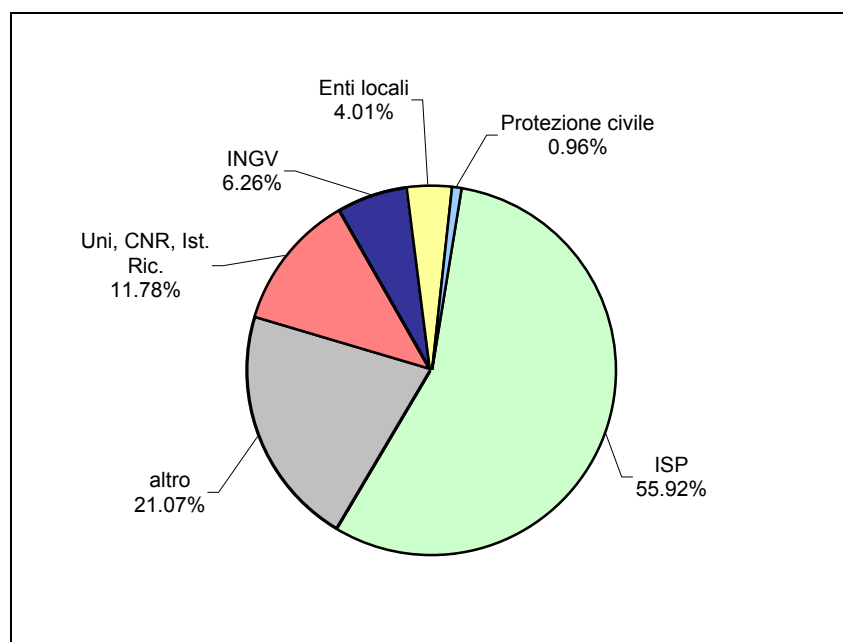


Figura 4. Distribuzione percentuale degli accessi per tipo di utenza (luglio 2003-marzo 2004).

Il forum, dedicato al dibattito esterno al GdC, che in una prima fase di attività non ha riscosso grosso successo di partecipazione, ha aumentato il numero degli accessi dopo la pubblicazione dei primi risultati e dopo la revisione della sua struttura e annessa mailing list, cui sono iscritti circa 100 soggetti con iscrizioni spontanee (ricercatori, ingegneri, regioni) e d'ufficio (board, reviewer, partecipanti al progetto, CGR e singoli).

3. Catalogo dei terremoti

Risultati. E' stata realizzata una versione del catalogo CPTI (Gdl CPTI, 1999), detta CPTI2, aggiornata al 2002, utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali resi disponibili a partire dal 1999. In particolare: i) è stata ricompilata integralmente la finestra 1981-1992; ii) è stata compilata ex-novo la finestra 1993-2002; iii) sono stati riquilibrati tutti i valori di magnitudo a partire dallo studio di Gasperini (**App.1**). In particolare, per tutti gli eventi sono stati determinati i valori di magnitudo omogenei utilizzabili in combinazione con le relazioni di attenuazione di cui al paragrafo 5, e sono stati rivisti i parametri dei terremoti della zona etnea.

Finestra pre-1980. Per ciascun terremoto, a partire dal valor medio di M_s (M_a) fornito da CPTI è stato determinato, utilizzando le relazioni descritte nel seguito e in **App.1**, il valore di M_w , da utilizzare unitamente alle relazioni di attenuazione regionali, e un valore di magnitudo denominato M_{sp} che viene assunto, in accordo con Sabetta e Pugliese (1987), coincidente con M_s per $M_s \geq 5.5$ e con M_L (ricavata invertendo la relazione empirica tra M_s e M_L descritta in **App.1**) al di sotto di tale valore. E' stato verificato che i valori di magnitudo M_{sp} così calcolati sono omogenei a quelli adottati a suo tempo da Sabetta e Pugliese (1987), in quanto la media delle differenze tra le due serie di stime, per i 17 terremoti utilizzati, risulta dell'ordine di 0.01 unità. Per la zona etnea sono state rivalutate le magnitudo macrosismiche ricavate da I_0 utilizzando le relazioni proposte da Azzaro e Barbano (1997).

Finestra 1981-2002. Per questa finestra, che in CPTI risultava parzialmente lacunosa e comunque limitata al 1992, è stata compilata una versione aggiornata - all'interno della finestra geografica definita per CPTI - sopra la soglia del danno ($I_0 \geq 5/6$, $M_s \geq 4.0$) che: i) recepisce i risultati degli studi sismologici, sia macrosismici sia 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 macrosismici consultati 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) lo studio monografico sulla sismicità di Catania (Boschi e Guidoboni, 2001); e) studi di terremoti realizzati dalla società SGA per INGV relativamente al Molise e all'Italia settentrionale; f) studi di terremoti e rilievi macrosismici di terremoti recenti realizzati da ricercatori INGV.

Per i dati strumentali si è fatto ricorso a diversi set di determinazioni 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 INGV (disponibile in rete dal 1983 fino al 2002), il catalogo CSTI 1981-1996 (Gruppo di Lavoro CSTI, 2001) 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 1997-2002 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.

La distribuzione degli eventi secondo l'origine dei dati di base è presentata in fig.5.

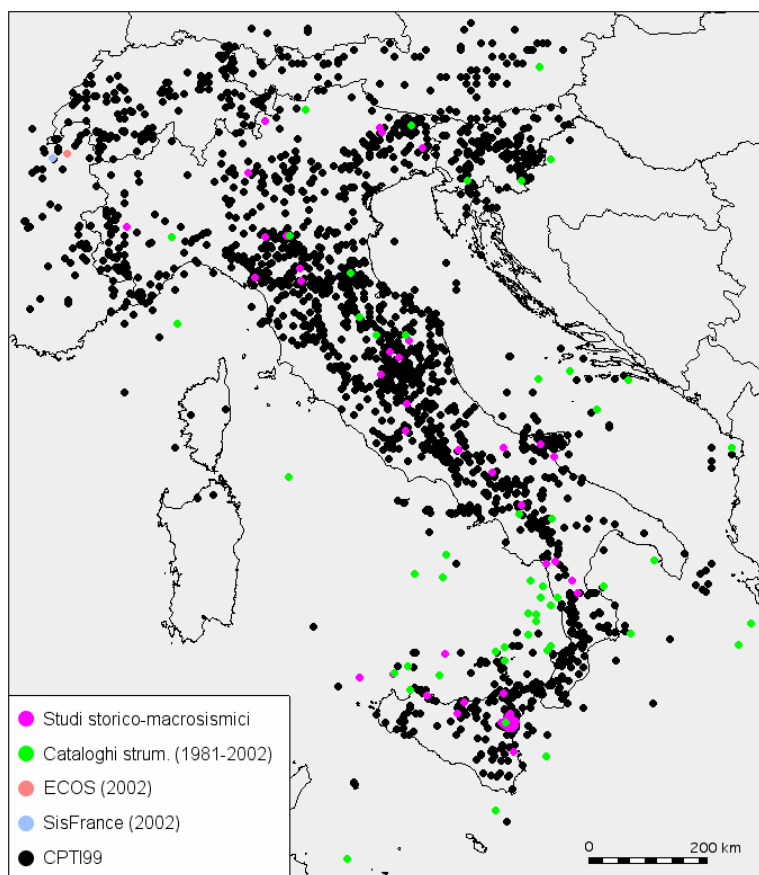


Figura 5. Distribuzione dei terremoti in CPTI2 secondo l'origine dei dati di base.

Determinazione delle magnitudo. 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 (figg.6 e 7) tra i vari tipi di magnitudo (M_w , M_s , m_b e M_L) 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 in seguito 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. Le magnitudo macrosismiche così ottenute sono poi state combinate, attraverso medie pesate con l'inverso dell'incertezza al quadrato, con le determinazioni strumentali per ottenere il valore finale di M_w ; da questa procedura sono state escluse le determinazioni di M_w ottenute dall'inversione del momento tensore, che sono state adottate direttamente.

Infine, per ogni terremoto è stato calcolato - a partire dalla M_s , come per l'intervallo temporale 1000-1980 - il valore di M_{sp} da utilizzare con la relazione di attenuazione di Sabetta e Pugliese (1987).

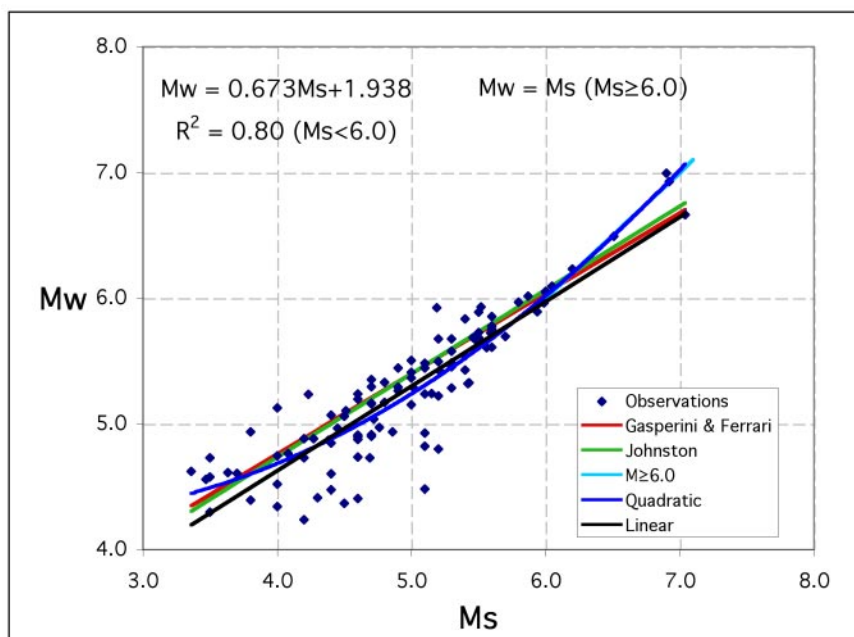


Figura 6. Regressione tra M_w e M_s . In nero la legge empirica utilizzata in CPTI2 per $M_s < 6$. Per confronto sono anche riportate: i) la regressione quadratica (blu); ii) le regressioni lineari ricavate da Johnston (1996) per le regioni continentali stabili (verde) e da Gasperini e Ferrari (2000) per l'Italia (rosso). Per $M_s \geq 6.0$ si è assunta la relazione standard $M_w = M_s$ (azzurro).

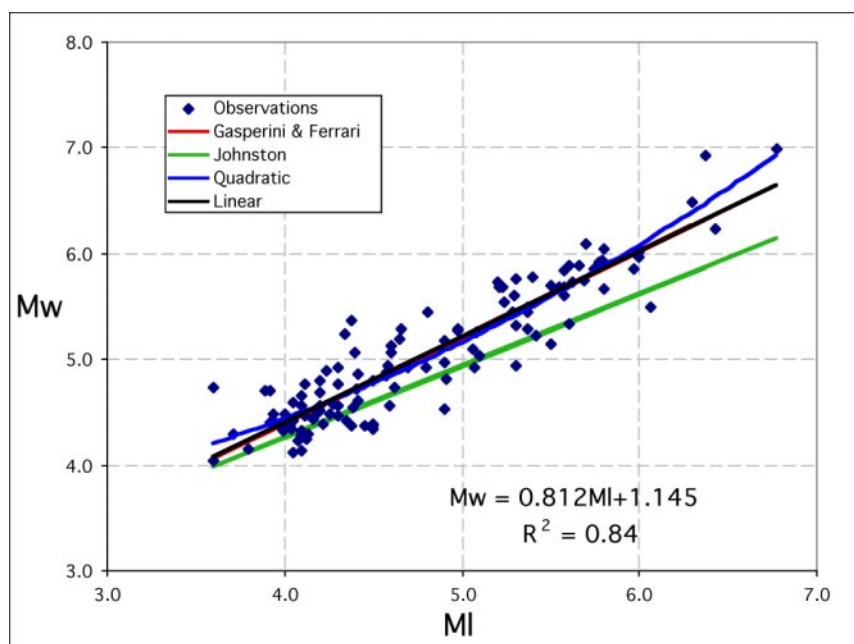


Figura 7. Regressione tra M_w e M_l . In nero la legge empirica utilizzata in CPTI2. Per confronto sono anche riportate: i) la regressione quadratica (blu); ii) le regressioni lineari ricavate da Johnston (1996) per le regioni continentali stabili (verde) e da Gasperini e Ferrari (2000) per l'Italia (rosso).

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.

4. Zonazione sismogenetica

Risultati. È stata sviluppata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9, 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. ZS9 è corredata, per ogni zona sismogenetica (ZS), da stima della profondità media dei terremoti determinata nella prospettiva di un suo utilizzo con relazioni di attenuazione regionalizzate, e di un meccanismo di fagliazione prevalente, determinato nella prospettiva di utilizzo delle relazioni di attenuazioni classiche modificate (si veda il paragrafo 5) secondo le procedure di Bommer et al. (2003).

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 che rappresentava la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000). Di ZS4, adottata anche dai citati progetti GSHAP e SESAME con i necessari adattamenti nelle aree di confine. Gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato alcune incoerenze; a queste si sono aggiunte la scarsa compatibilità di ZS4 con il catalogo CPTI e il 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), i suoi aggiornamenti realizzati nell'ambito del Progetto GNDT "Terremoti probabili...." (coord. A. Amato e G. Selvaggi) e il catalogo CPTI2 descritto al paragrafo precedente.

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. Riuscetti), 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 realmente alternative; per la versione di novembre si è quindi rilasciata una sola zonazione, definita ZS8.

Successivamente tale zonazione è stata modificata in ZS9 (fig.8); essa 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.

Approfondimenti sui dati disponibili e sulle scelte operative che hanno portato alla costruzione di ZS9 sono presentati nell'**App.2**.

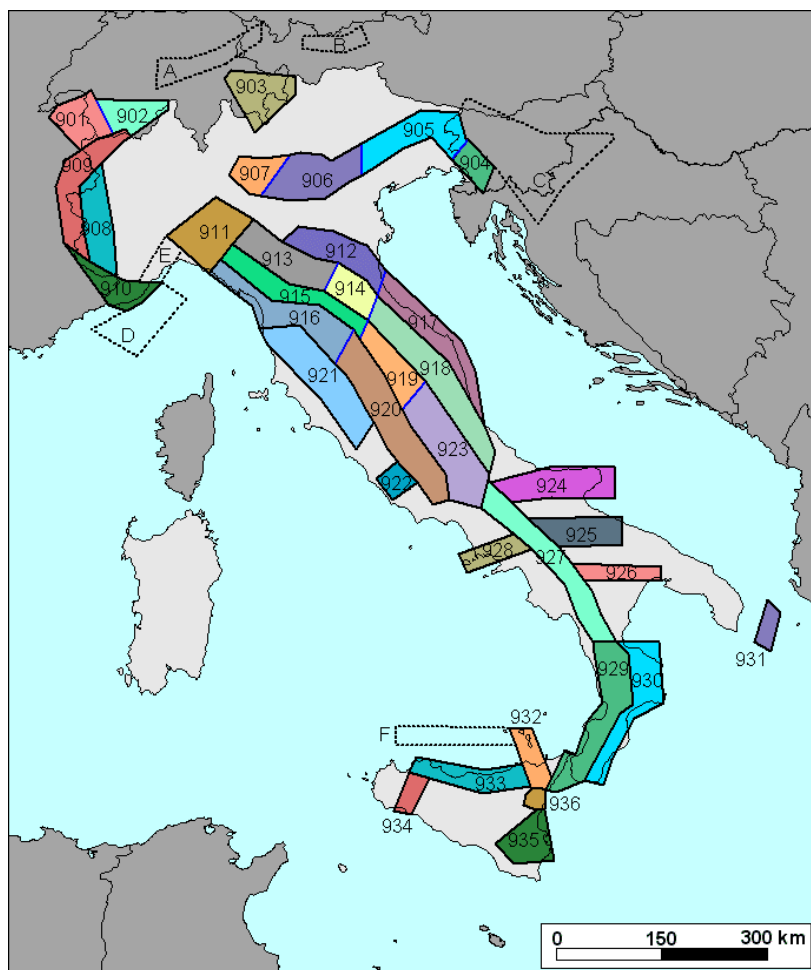


Figura 8. Zonazione sismogenetica ZS9. I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità. Le ZS con bordo a tratteggio, identificate da una lettera, non sono state utilizzate nella valutazione della pericolosità.

Requisiti principali. ZS9 è stata elaborata in modo da soddisfare i seguenti requisiti:

- essere coerente in linea di massima con il retroterra informativo di ZS4, che deriva dall'approccio cinematico alla elaborazione del modello sismotettonico;
- 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;
- 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;
- avviare a superamento il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti di ciascuna di esse;
- essere coerente con la base di dati utilizzata per compilare il catalogo CPTI2;
- fornire per ogni ZS una stima di profondità dei terremoti utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;
- fornire per ogni ZS un meccanismo di fagliazione prevalente utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate su tale meccanismo mediante i coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

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 fasci di lineamenti tettonici attivi dotati di cinematica prevalente trascorrente;
- iii) l'introduzione di una fascia di intensa deformazione nel Tirreno meridionale, 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) l'assunzione che in tutte le aree che non ricadono in ZS sia comunque possibile il verificarsi di eventi con $M_{wmax}=5.0$, derivante dalla constatazione che eventi di energia bassa e intermedia si sono verificati in diverse aree.

In fig.9 ZS9 è posta a confronto con il contenuto informativo di DISS 2.0, aggiornato con i risultati più recenti ottenuti nell'ambito di vari progetti tra cui il già citato progetto GNDT "Terremoti probabili..." (che verranno pubblicati entro la fine del 2004 nel DISS 3.0); in fig.10 con la zonazione del progetto SESAME (Jiménez et al., 2001).

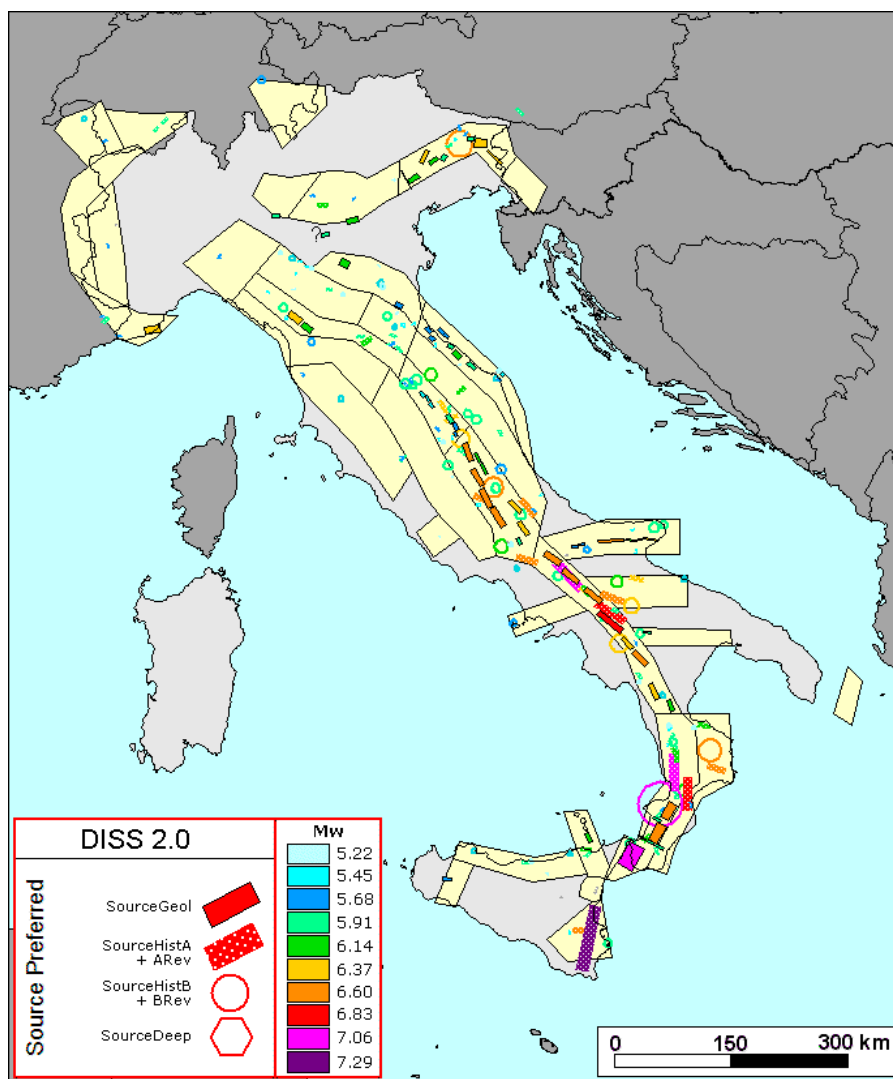


Figura 9. Zonazione sismogenetica ZS9 a confronto con le sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS 2.0 (Valensise e Pantosti, 2001) e relativi aggiornamenti fino al novembre 2003.

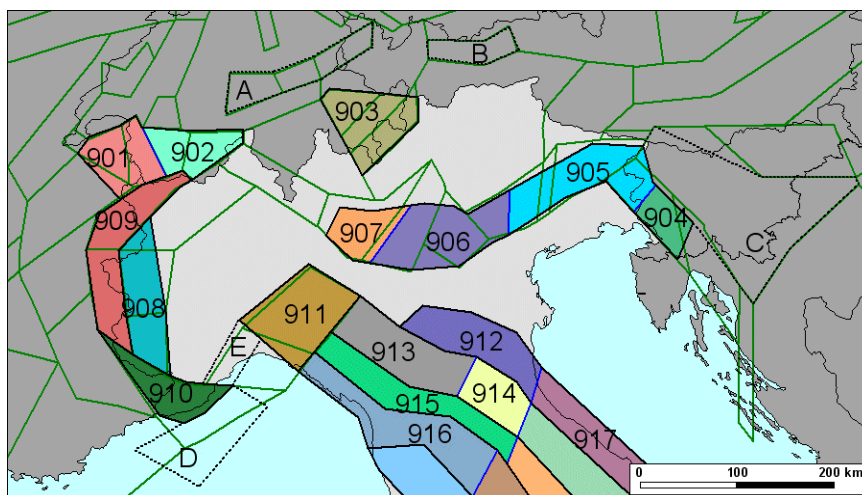


Figura 10. Zonazione sismogenetica ZS9 a confronto con la zonazione del progetto SESAME nell'area alpina (Jiménez et al., 2001; linee di colore verde).

Per quanto riguarda il *requisito d)*, occorre osservare che in ZS4 per ben 22 ZS su 80 il numero di terremoti che ricadevano in ciascuna ZS era pari o inferiore a 10 eventi; in seguito all'applicazione degli intervalli di completezza del catalogo adottati da Slejko et al. (1998), il numero di ZS con questa caratteristica saliva a 39. Per risolvere questo problema, per il disegno di ZS9 si è proceduto all'individuazione di fasce geografiche a comportamento cinematico omogeneo e sono state definite ZS abbastanza estese (fig.11), che in alcuni casi rappresentano semplicemente un accorpamento di zone contigue di ZS4.

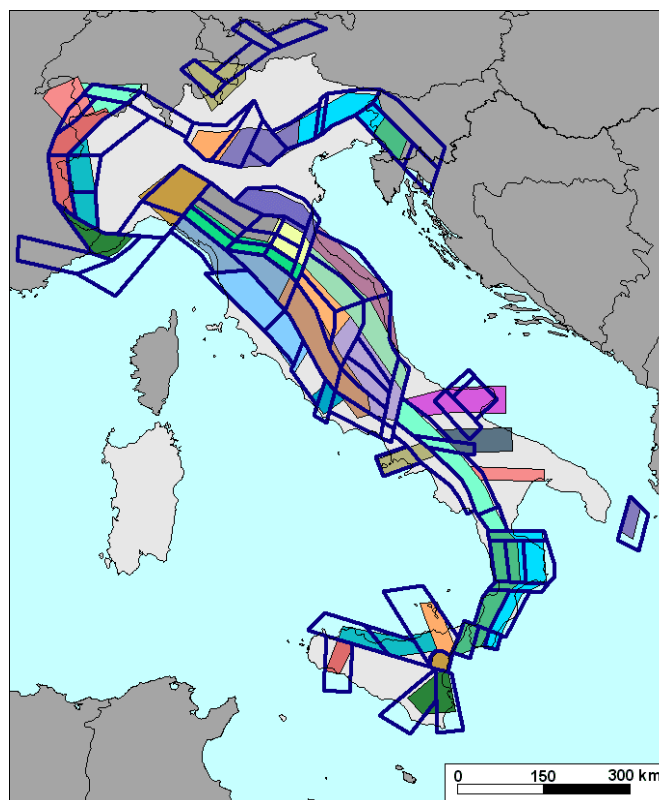


Figura 11. Zonazione sismogenetica ZS9 (linee sottili di colore nero) a confronto con ZS4 (linee di colore blu scuro).

In totale le zone sismogenetiche di ZS9 sono 36, cui vanno aggiunte 6 zone (fig.8) non utilizzate in quanto:

- a) quattro non contribuiscono in modo significativo alla pericolosità del territorio italiano: Svizzera centrale (A), Tirolo (B), Slovenia centrale (C), Mar Ligure (D);
- b) il numero di eventi che ricade all'interno di una di esse, Genova-Savona (E), è molto basso;
- c) per una di esse, denominata Ustica-Alicudi (F), è stata adottata quale alternativa conservativa la ZS 933, Sicilia Settentrionale.

Per la ZS 931, Canale d'Otranto, che rientrerebbe nel caso b), è stata fatta un'eccezione al fine di non sottovalutare la pericolosità sismica indotta nel Salento dai terremoti localizzati nel Canale stesso.

Per quanto riguarda la Sicilia settentrionale, per la quale i revisori hanno esplicitamente richiesto particolare attenzione, i dati recenti di sismicità strumentale hanno messo in evidenza una sismicità legata alla zona di deformazione che dalle Eolie (Ovest di Alicudi) si estende fino a Ustica, con orientamento E-W (fig.12). A questa zona è da ricondurre il recente terremoto del settembre 2002 che ha provocato danni a Palermo, e probabilmente alcuni forti terremoti storici (es.: 1726, 1823, 1940). Una trattazione dettagliata del problema è presentata in **App.2**; in particolare, se è vero che dall'esperienza del terremoto del 2002 (Mw5.9; Mw da dati macrosismici 5.1) si deduce che le magnitudo dei terremoti citati potrebbe essere fortemente sottostimata, è altrettanto vero che la loro localizzazione fornita da CPTI2 in terra compensa, in modo conservativo, tale possibile sottostima.

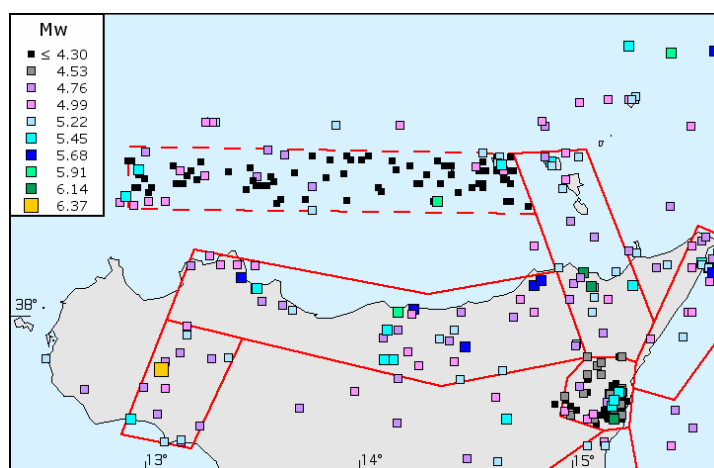


Figura 12. Sismicità recente nella zona Ustica-Alicudi e sismicità 1000-2002 in tutta l'area.

In definitiva si ritiene dunque che la ZS 933, che contiene di fatto tanto la sismicità realmente originatasi in terraferma (es. i terremoti delle Madonie del 1818-1819) che l'immagine della sismicità probabilmente generata *offshore*, sia da considerarsi la soluzione oggi più coerente con lo stato delle conoscenze e con la scarsa definizione del potenziale sismogenetico della zona di deformazione in mare.

In totale, la superficie coperta dalle zone sismogenetiche in ZS9 è di 191.000 kmq (226.000 kmq considerando anche le 6 zone non utilizzate), contro i 250.000 kmq di ZS4. La superficie media di ciascuna ZS è di 5.300 kmq circa (3.100 kmq in ZS4). Il numero medio di terremoti per ZS è 42; solo 2 ZS su 36 hanno meno di 10 eventi.

Profondità. Per quanto riguarda il *requisito f)*, in assenza di letteratura specifica e nella prospettiva di utilizzo già ricordata 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. Tale valore è stato determinato attraverso una stima statistica delle profondità a cui si sono verificati gli eventi sismici del recente passato, utilizzando il catalogo della sismicità strumentale (1983-2002) dell'INGV (disponibile in rete sul sito INGV: <ftp.ingv.it/bollet>).

Lo strato sismogenetico è stato definito come quell'intervallo di profondità che ha generato il 90% degli eventi che ricadono all'interno di ogni zona. I limiti superiore e inferiore dello strato sismogenetico sono stati quindi individuati alle profondità che includono un numero di eventi cumulato pari rispettivamente al 5% e al 95% del totale. La profondità efficace è stata identificata con la profondità corrispondente alla moda principale della distribuzione di frequenza degli eventi. Per ragioni operative è stato adottato un numero limitato di classi (fig.13). Ulteriori dettagli su come sono state ottenute le profondità sono forniti nell'**App.2**.

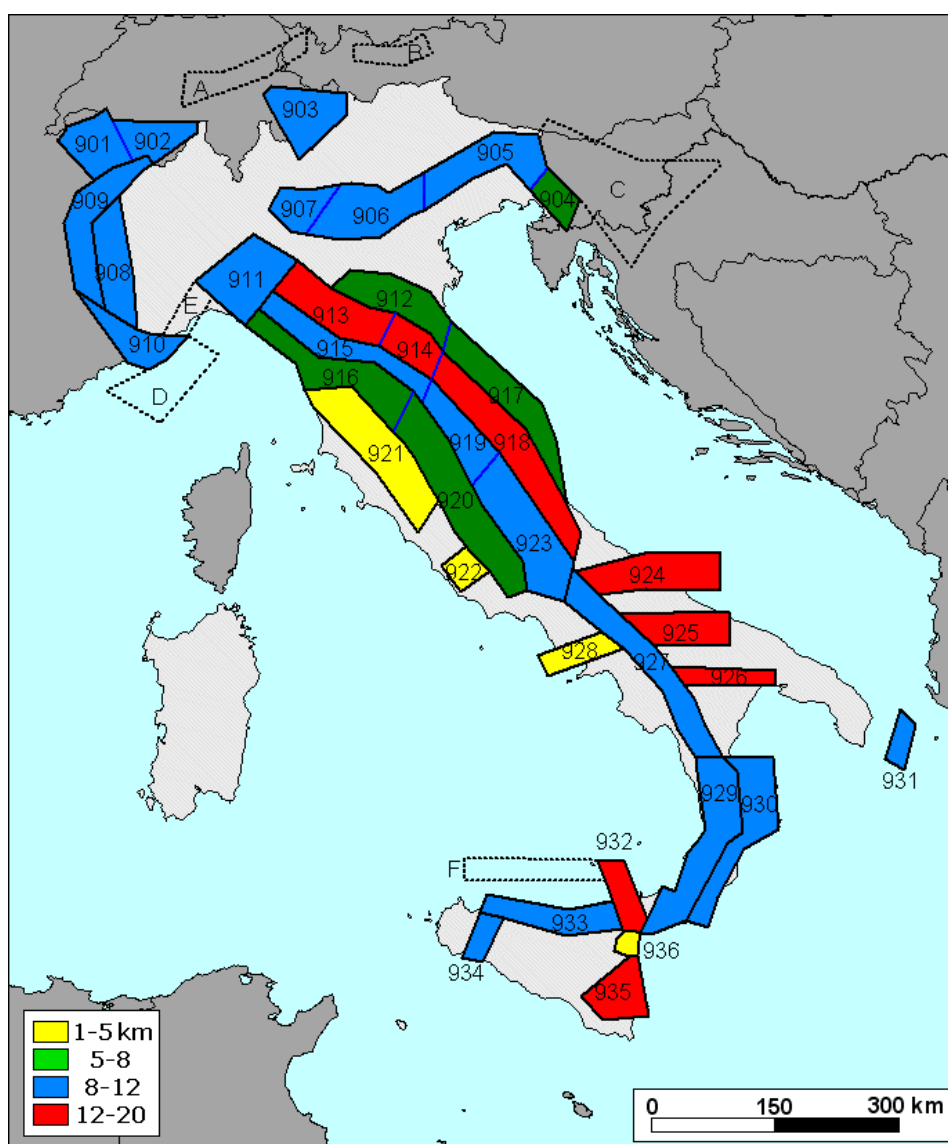


Figura 13. Attribuzione della classe di profondità alle ZS di ZS9.

Meccanismo di fagliazione prevalente. Per quanto riguarda il requisito *g*), al fine di utilizzare le modifiche alle relazioni di attenuazione proposte da Bommer et al. (2003) è stato determinato il meccanismo di fagliazione prevalente per ogni zona di ZS9. Per meccanismo prevalente si intende quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi. Concordemente alla classificazione utilizzata da Sadigh et al. (1997) tale meccanismo è stato espresso secondo tre tipologie: "normale", "inverso", "trascorrente (destro e sinistro)", a cui è stata aggiunta la tipologia "non determinato" per i casi in cui l'insieme dei dati non è risultato sufficiente per una determinazione univoca.

L'assegnazione della tipologia in funzione dell'angolo di *rake* è stata effettuata sulla base del seguente semplice criterio:

| Meccanismo prevalente | | Angolo di <i>rake</i> |
|-----------------------|----------|-------------------------|
| Normale | | >225 (-135), <315 (-45) |
| Inverso | | >45, <135 |
| Trascorrente | sinistro | <45, >315 (-45) |
| | destro | >135, <225 (-135) |

La fig.14 mostra il meccanismo di fagliazione prevalente stimato a partire da:

- 1) meccanismi focali di terremoti strumentali significativi, tratti da un ampio database nazionale recentemente pubblicato (Vannucci e Gasperini, 2003);
- 2) dati geologici a varie scale, incluse misure di *stress in situ* (Montone et al., 1999), dati di sottosuolo e stime sulla cinematica delle principali faglie attive (database DISS 2.0: Valensise e Pantosti, 2001).

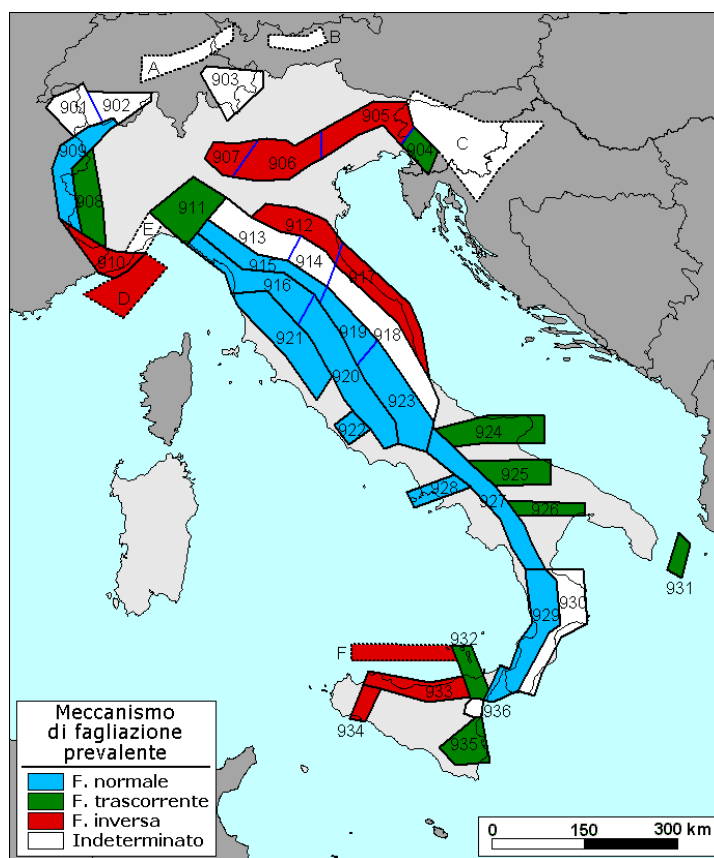


Figura 14 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse ZS.

Attendibilità delle geometrie delle ZS. Com'è ovvio, i confini geografici di molte ZS rappresentano il frutto di un compromesso tra numerosi parametri, compromesso necessariamente basato su decisioni di tipo esperto e affetto da un certo margine di incertezza. Nella prospettiva della valutazione della pericolosità sismica, le incertezze in ZS9 sono state gestite, con criteri conservativi, con riferimento a due aspetti:

- a) *associazione dei terremoti alle ZS (requisito e).* È interessante sottolineare che, nonostante sia disponibile dal 1999, il catalogo CPTI non è stato usato per valutazioni di pericolosità sismica basate su ZS4. Questa circostanza è probabilmente dovuta al fatto che CPTI derivava da una base di dati diversa e migliore rispetto a quella disponibile all'epoca della prima elaborazione di ZS4, ed era quindi incompatibile con questa zonazione. In questa ricerca si è provveduto a rendere CPTI2 utilizzabile in combinazione con ZS9, forzando in modo critico l'associazione di alcuni terremoti a una ZS oppure al background. Oltre ai terremoti localizzati nelle ZS, a esse sono stati associati - con criterio conservativo - 99 eventi localizzati nel background, dopo un esame delle incertezze delle rispettive localizzazioni. Con criteri analoghi altri 18 eventi sono stati associati a ZS diverse da quelle in cui ricade l'epicentro (fig.15a).
- b) *utilizzo di "bordi morbidi".* Per tener conto delle incertezze nella definizione dei limiti delle ZS si è fatto ricorso alla tecnica dei "soft boundaries", che consente di rendendo progressivo, ai fini della valutazione della pericolosità sismica, il passaggio da una ZS all'altra e da una ZS alle aree di background. In questa elaborazione sono stati utilizzati "bordi morbidi" di dimensioni variabili in quasi tutte le ZS, ad eccezione di quelle della catena appenninica che risultano ben vincolate dalle sorgenti sismogenetiche. Le dimensioni dei bordi morbidi (fig.15b) sono state determinate in relazione alle incertezze nei confini delle ZS cui si riferiscono; in parte sono proporzionali alle dimensioni minori delle stesse.

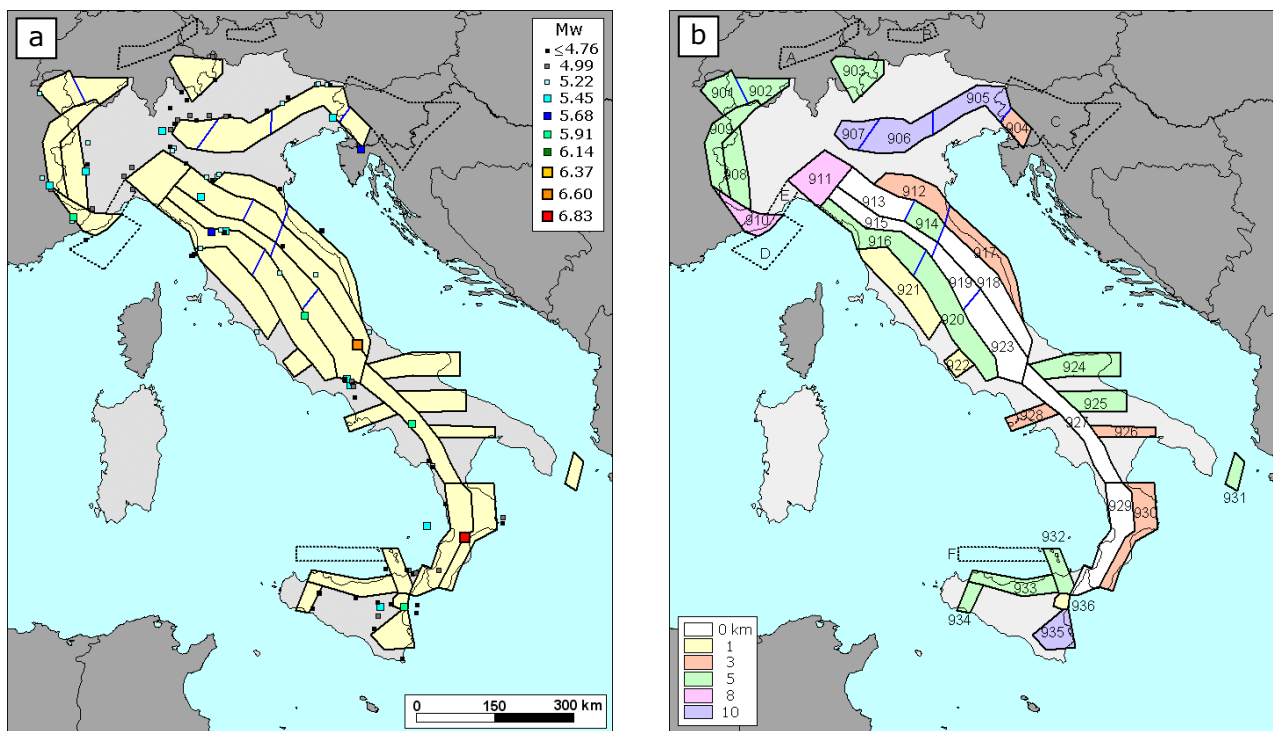


Figura 15. a) Eventi del catalogo assegnati ad una ZS diversa da quella di pertinenza geografica. b) Zone nelle quali sono stati utilizzati i bordi morbidi, e relative dimensioni.

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. La relazione di Ambraseys et al. (1996) è stata riconsiderata in modo da poter utilizzare correttamente distanze epicentrali. Per questa relazione e per quella di Sabetta e Pugliese (1996) sono stati utilizzati i fattori correttivi per il meccanismo focale prevalente, proposti da Bommer et al. (2003). Inoltre, a partire da leggi di scala ricavate da dati strong- e weak-motion, sono state calibrate relazioni di attenuazione regionali per tre macrozone. Con approccio simile sono state sviluppate relazioni per le zone vulcaniche.

Verifica e aggiornamento 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, 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), di qui in avanti ASB96, ricavata da alcune centinaia di registrazioni strong-motion europee di terremoti con M_s compresa tra 4.0 e 7.6.

La relazione ASB96 non usa una definizione univoca di distanza; infatti adotta la distanza dalla proiezione in superficie della faglia (secondo la definizione di Joyner-Boore, 1981) per eventi di $M_s \geq 6.0$, e la distanza epicentrale per i terremoti più deboli. Nell'uso corrente delle analisi probabilistiche di pericolosità la distanza viene calcolata suddividendo le aree sorgente in celle e considerando la distanza geometrica tra il baricentro di ciascuna cella, considerata sede di un terremoto, e i nodi di una griglia di punti/siti. Questa misura non corrisponde esattamente né alla distanza dalla faglia, né a quella epicentrale, anche se quest'ultima sembra fornire la migliore approssimazione. Nonostante ASB96 sia stata usata all'interno di tutti i principali progetti di calcolo della pericolosità (Slejko et al. 1998; Giardini, 1999; Slejko et al., 1999; Albarello et al., 2000; Jiménez et al., 2001), non risulta che il problema di utilizzare distanze coerenti con quelle che hanno concorso a definire la relazione sia mai stato affrontato in pratica. Data la necessità di operare in tempi rapidi, sono state valutate alcune possibilità di conversione basate sui dati disponibili, rinviando la verifica della qualità delle informazioni e l'esplorazione della possibilità di usare dati più aggiornati. Dal confronto dei risultati ottenuti da vari test, la scelta migliore è sembrata quella di introdurre una relazione di conversione tra distanza dalla faglia (R_{JB}) e distanza epicentrale (R_{EPI}) calcolata a partire dal database europeo pubblicato da Ambraseys e Bommer (1991), e cioè l'equazione (fig.16):

$$R_{JB} = -3.5525 + 0.8845 \cdot R_{EPI} \quad (R^2 = 0.95)$$

La correzione per la distanza è stata applicata alla relazione ASB96 esclusivamente per $M_s \geq 6.0$. In fig.17 sono mostrati i risultati: le curve nere a tratto continuo rappresentano le curve di attenuazione corrette, per M_s comprese tra 4.0 e 7.5; quelle blu tratteggiate sono le curve usate in precedenza (solo per $M_s \geq 6.0$).

La relazione di Sabetta e Pugliese (1996; di seguito SP96), basata su dati esclusivamente 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) e da Albarello et al. (2000) per produrre mappe di pericolosità nazionali.

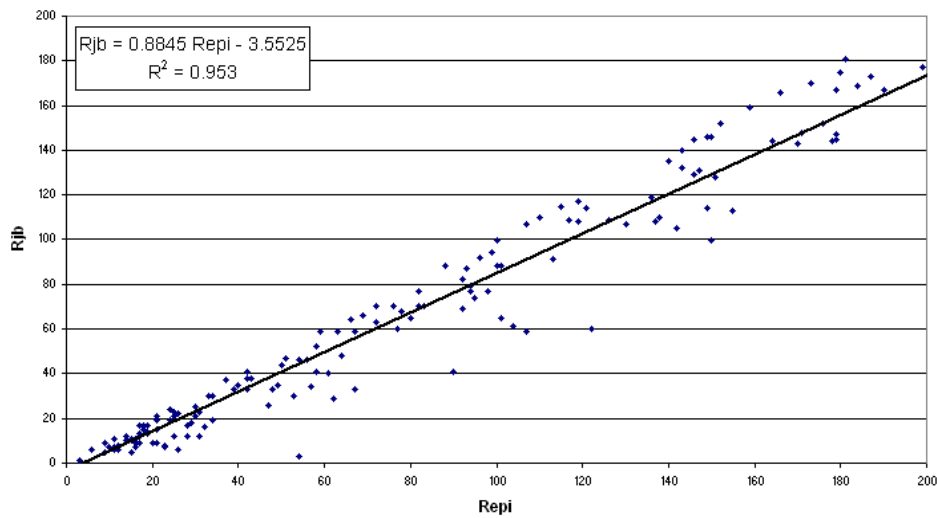


Figura 16. Interpolazione dei dati di Ambraseys and Bommer (1991).

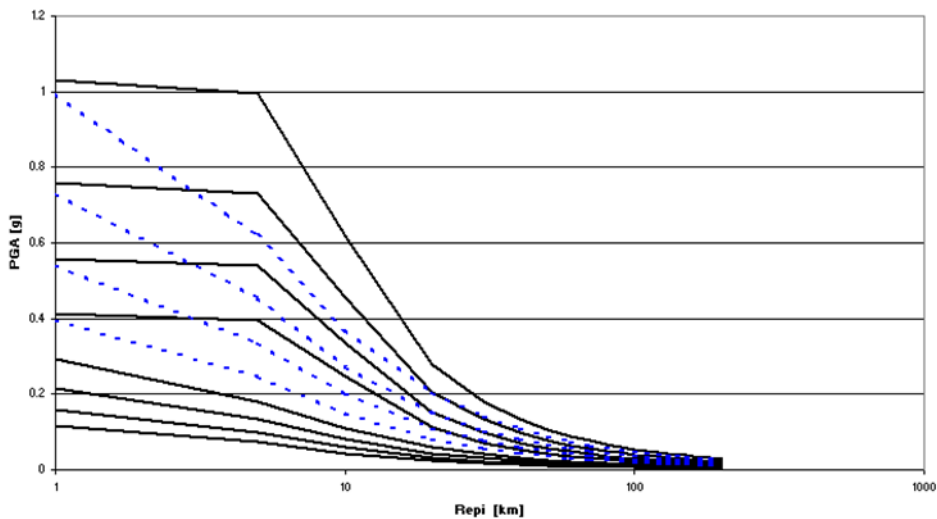


Figura 17. Curve di attenuazione ASB96 corrette per le distanze: in nero le curve corrette (M_s comprese tra 4.0 e 7.5), in blu a tratteggio le curve non modificate (solo per $M_s \geq 6.0$).

Pur derivando da insiemi di dati non omogenei dal punto di vista sismotettonico, le relazioni di attenuazione citate possono essere modulate per tenere conto del meccanismo di faglia seguendo la procedura proposta da Bommer et al. (2003). Il metodo si basa sull'utilizzo di fattori correttivi che esprimono il rapporto tra lo scuotimento dovuto a faglie inverse e faglie normali rispetto allo scuotimento dovuto a faglie trascorrenti (rispettivamente $F_{R:SS}$ e $F_{N:SS}$). Questi fattori, usati in combinazione con un criterio di classificazione dei meccanismi di faglia simile a quello proposto da Sadigh et al. (1997), consentono di sostituire tre distribuzioni lognormali specifiche per tipo di faglia - normale (N), inverso (R) o trascorrente (SS) - alla distribuzione lognormale che corrisponde alla relazione di attenuazione "media" (es. ASB96, SP96, etc.).

Il contributo delle tre distribuzioni rispetto a quella "media" è definito in base al numero di terremoti che, nel database usato per derivare le relazioni di attenuazione, risultano classificati all'interno delle tre categorie (Bommer et al., 2003). Lo scarto quadratico medio delle relazioni di attenuazione modulate può essere assunto, in modo cautelativo, uguale a quello della relazione media (Bommer et al., 2003). Il metodo di Bommer et al. (2003) è stato applicato alle relazioni ASB96 e SP96. Le figg.18 e 19 mostrano rispettivamente le curve di attenuazione ASB96 (con le distanze corrette come illustrato in precedenza) e SP96, modulate in funzione del meccanismo di faglia; i valori dei coefficienti correttivi sono riportati in tab.1.

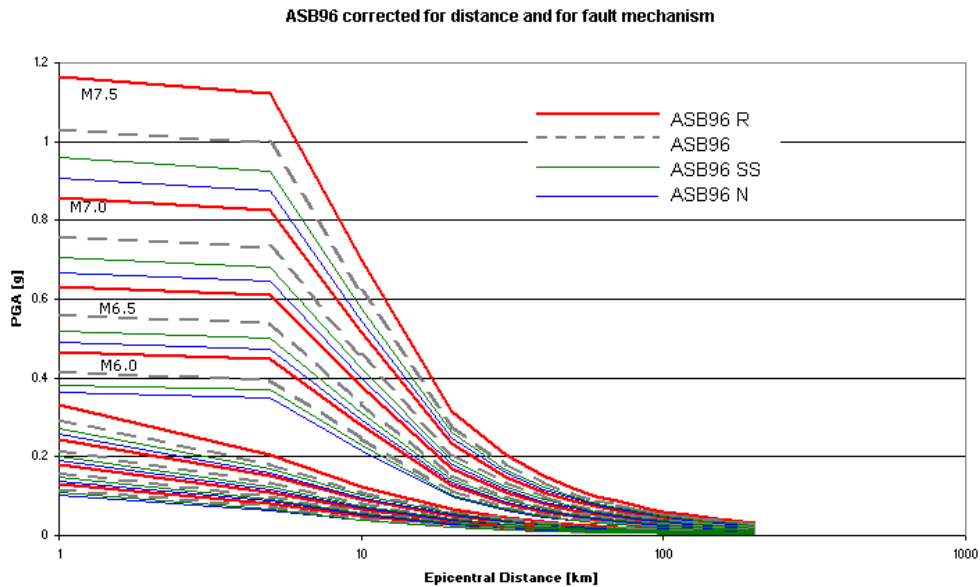


Figura 18. Curve di attenuazione ASB96 modulate in funzione del meccanismo di faglia. La curva a tratteggio è quella media; in rosso la correzione per faglie inverse, in verde per faglie trascorrenti, in blu per faglie normali.

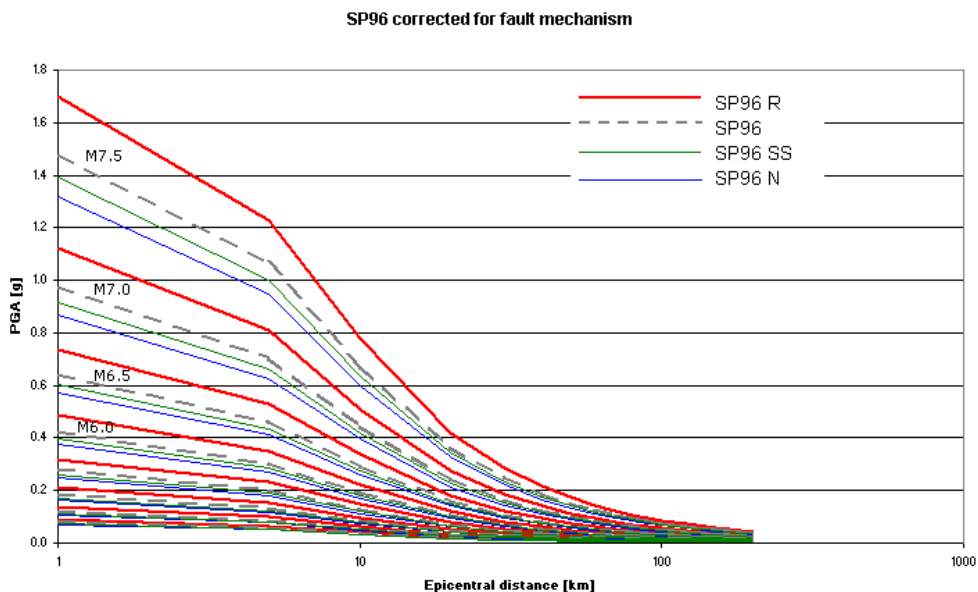


Figura 19. Curve di attenuazione SP96 modulate in funzione del meccanismo di faglia. La curva a tratteggio è quella media; in rosso la correzione per faglie inverse, in verde per faglie trascorrenti, in blu per faglie normali.

| Attenuazione | $F_{R:EQ}$ | $F_{N:EQ}$ | $F_{SS:EQ}$ |
|--------------|------------|------------|-------------|
| ASB96 | 1.13 | 0.88 | 0.93 |
| SP96 | 1.15 | 0.89 | 0.94 |

Tabella 1. Coefficienti correttivi per meccanismo di faglia da applicare alle relazioni di attenuazione ASB96 e SP96.

Allo scopo di verificare la capacità predittiva delle relazioni ASB96 (corretta per distanze epicentrali) e SP96, 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, Mw6.0, Ms6.0) e del terremoto del Molise del 31 ottobre 2002 (Mw5.8, Ms5.6), ottenendo un accordo accettabile (fig.20). Entrambe le relazioni sono presentate nella versione modulata per faglia normale nel caso di Colfiorito (fig.20a) e trascorrente per il terremoto del Molise (fig.20b).

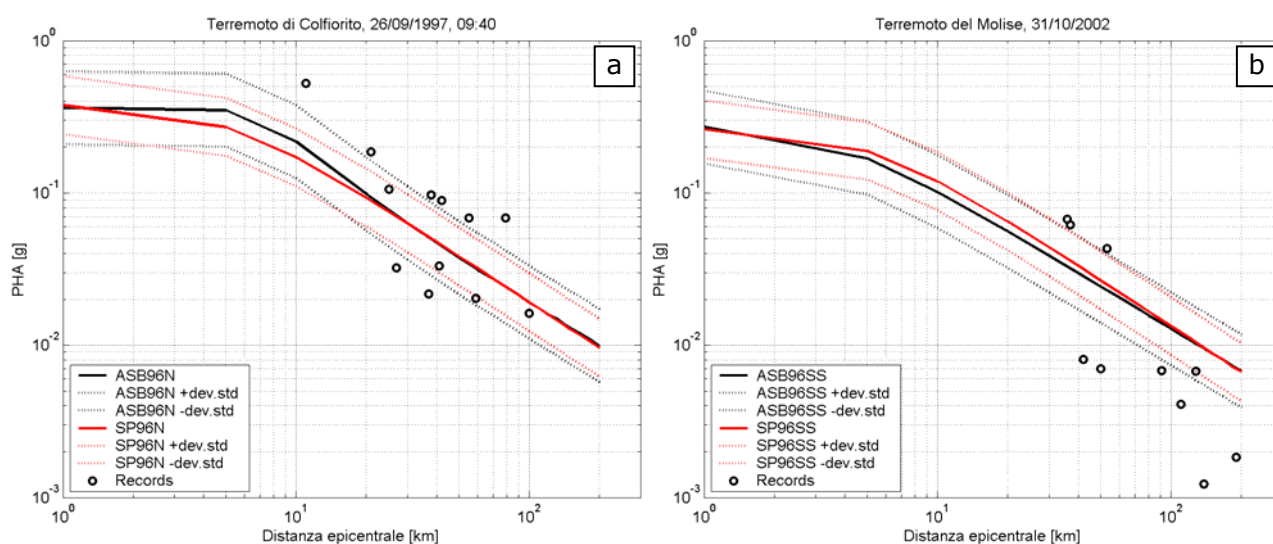


Figura 20. a) Confronto tra le curve ASB96 per faglie normali (ASB96N, in nero) e SP96 per faglie normali (SP96N, in rosso) per Ms6.0 con i dati del terremoto di Colfiorito (Ms6.0). b) confronto delle stesse relazioni modulate per faglie trascorrenti (ASB96SS, in nero, e SP96SS in rosso) per Ms5.6 con i dati del terremoto del Molise (Ms5.6).

Definizione di relazioni di attenuazione regionali. Uno dei limiti di cui soffrono le relazioni di attenuazione formulate in termini di a_{max} è dovuto al ristretto campione di dati in base al quale 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 notevole è costituito dalle zone vulcaniche.

Per superare questo limite si è verificata la possibilità di utilizzare leggi di scala 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: Italia occidentale/Alpi occidentali (zona 1); Italia orientale/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 la 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), modificata per la distanza ma non per i meccanismi focali. Alle relazioni di attenuazione così ottenute, definite in termini di M_w e rappresentate in fig.21a per $M_w 6.0$, sono stati assegnati valori dello scarto quadratico medio del logaritmo di a_{max} valutati tramite stime indirette, che per le tre macrozone risultano nell'intervallo 0.18-0.21. Per motivi pratici lo scarto quadratico medio è poi stato assunto uguale a 0.2 per tutte e tre le macrozone.

Per rappresentare l'attenuazione nelle ZS vulcaniche (vulcani tosco-laziali, Colli Albani, vulcani campani, Etna; 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 teoria delle vibrazioni aleatorie a partire dai parametri (attenuazione geometrica $1/r$ 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, sono stati utilizzati come riferimento valori differenziati di stress-drop: 50 bar per le ZS dei vulcani tosco-laziali e di Ischia-Vesuvio; 30 bar per l'Etna e i Colli Albani. Le curve di attenuazione così ottenute sono rappresentate in figura 21b.

Come per le attenuazioni regionali descritte in precedenza, anche per le zone vulcaniche lo scarto quadratico medio è stato assunto uguale a 0.2.

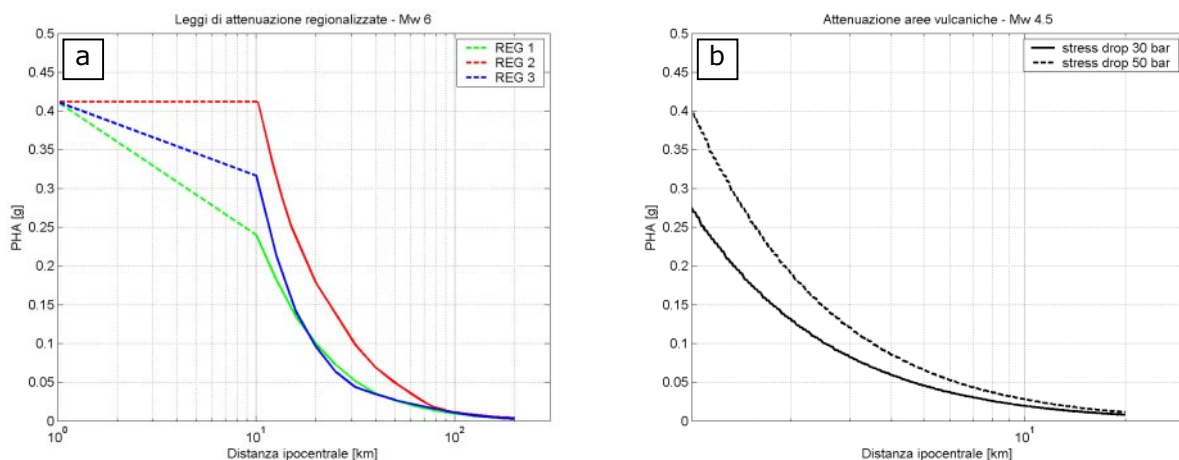


Figura 21. a) Confronto tra le curve di attenuazione valide nelle zone 1 (verde), 2 (rosso) e 3 (blu), per $M_w 6.0$; b) confronto tra le curve di attenuazione per le aree vulcaniche calcolate con diversi valori di stress drop, per $M_w 4.5$.

Regionalizzazione e profondità. Per quanto riguarda le porzioni di 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. Poiché questa estensione implica livelli diversi di affidabilità per le varie zone, si è deciso di introdurre alcune alternative, assieme ad alcune legate alla profondità, in due rami dell'albero logico.

Per quanto riguarda la regionalizzazione, nel ramo regionale A secondo il modello di Akinci et al. (2004) l'Appennino meridionale e l'Arco Calabro sono stati assimilati alle Alpi occidentali; la Sicilia Settentrionale è stata assimilata all'Appennino; la Piattaforma Apula e la Sicilia Orientale sono state assimilate alle Alpi Orientali (fig.22a). Per le zone vulcaniche sono state adottate le relazioni basate su di De Natale et al. (1988).

Come alternativa, nel ramo regionale B la Piattaforma Apula e l'Appennino meridionale sono stati assimilati all'Appennino centro-settentrionale (fig.22b).

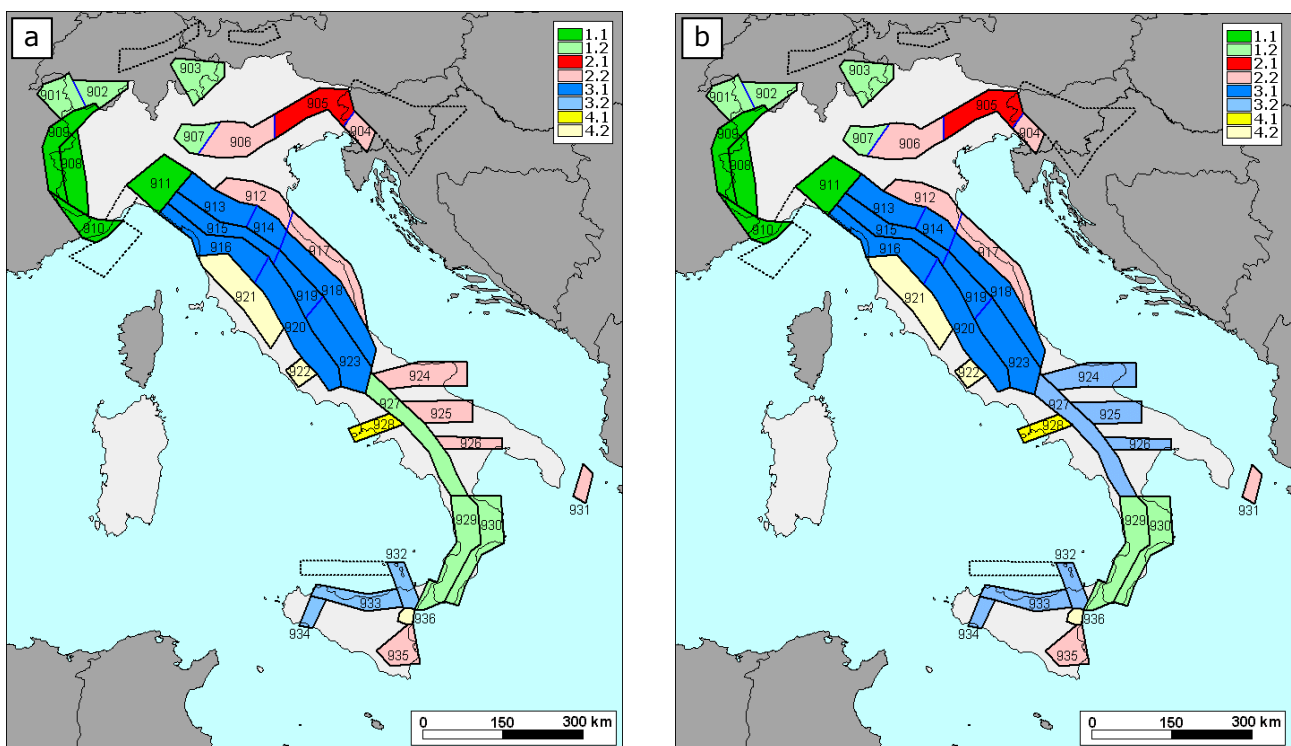


Figura 22. Attribuzione delle relazioni di attenuazione regionali alle ZS nei due rami dell'albero logico. a) ramo REG.A; b) ramo REG.B. In legenda: le classi 1.1, 2.1, 3.1 e 4.1 identificano ZS in cui sono localizzati gli eventi usati per la definizione delle leggi di scala; le classi 1.2, 2.2, 3.2 e 4.2 indicano ZS alle quali le relazioni di attenuazione sono state associate sulla base di analogie del comportamento propagativo.

Per quanto riguarda la profondità, nel ramo REG.A è stata adottato il valore di 10km per tutte le ZS, secondo il modello di Akinci et al. (2004), tranne che per le ZS vulcaniche per le quali è stato adottato il valore di 4 km (fig.23a).

Nel ramo REG.B sono stati utilizzati valori interni alle classi descritte al paragrafo 4, che vengono presentati in fig.23b.

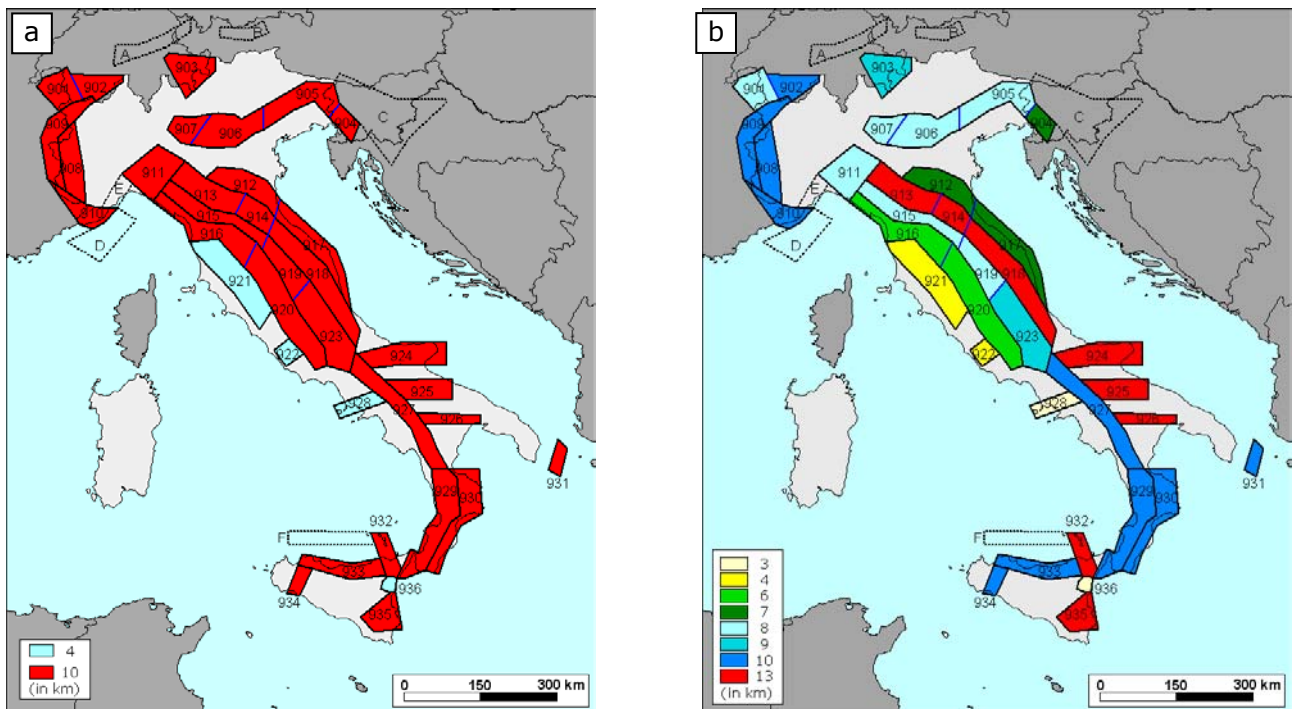


Figura 23. Confronto tra le profondità utilizzate nei due rami dell'albero logico. *a)* profondità utilizzate nel ramo REG.A; *b)* profondità utilizzate nel ramo REG.B.

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 utilizzata per definire le relazioni stesse: in particolare i terremoti di Colfiorito (26.09.1997, Mw6.0) e del Molise (31.10.2002, Mw5.8). I confronti mostrano un accordo accettabile tra valori osservati e valori previsti dalle curve di attenuazione (fig.24a e b) secondo i due modelli (ramo A e ramo B).

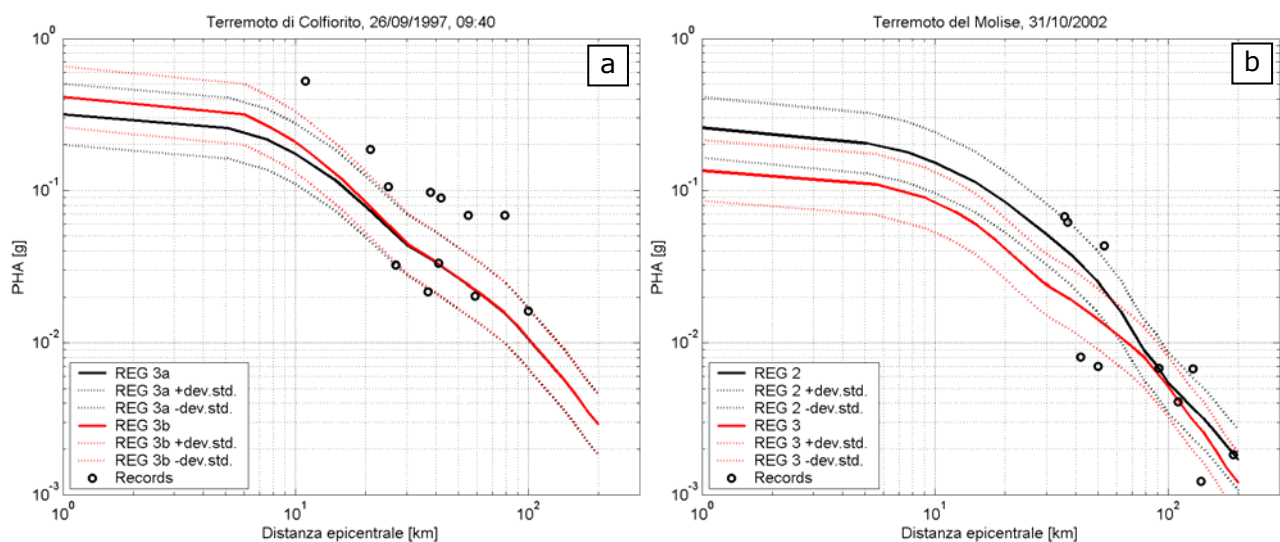


Figura 24. *a)* Confronto tra le curve per Mw6.0 derivate da Malagnini et al. (2000), valide per l'Appennino, con i dati del terremoto di Colfiorito, 1997 (Mw6.0) secondo le profondità del ramo REG.A dell'albero logico (nero) e del ramo REG.B (rosso). *b)* confronto tra le curve regionali per Mw6.0 con i dati del terremoto del Molise, 2002 (Mw5.8) secondo profondità e relazioni del ramo REG.A (nero) e REG.B (rosso).

6. Modalità di parametrizzazione della sismicità

In questo paragrafo vengono descritte le modalità con cui i dati di sismicità (par.3) sono stati gestiti, in associazione agli elementi descritti in precedenza (par.4 e 5), allo scopo di predisporre gli elementi di ingresso per il calcolo della pericolosità sismica con il codice prescelto.

Le procedure di gestione e le scelte che si effettuano nel corso della valutazione della pericolosità sismica sono molto critiche, e i risultati in termini di a_{max} possono essere influenzati in modo significativo da esse. Nella letteratura scientifica un numero notevole di passaggi non viene descritto con sufficiente dettaglio; quindi non sempre è possibile ricostruire l'intero percorso che porta dai dati di ingresso ai risultati.

Dato il carattere di questa ricerca e in sintonia con il dettato dell'Ordinanza (All.1, 2e), questo paragrafo è concepito per illustrare dati, procedure e scelte in modo tale da offrire a revisori e utenti la massima trasparenza possibile.

6.1. Definizione delle classi di magnitudo. Questo aspetto va trattato prioritariamente, in quanto condiziona tutti gli altri che seguono. In previsione dell'impiego di relazioni di attenuazione che usano tipi diversi di magnitudo (M_s , M_w e M_{sp}), considerato che le relazioni fra M_s , M_w e M_{sp} non sono completamente lineari, si rende necessario determinare in modo appropriato le classi di magnitudo per ciascuna M .

In particolare occorre tener presente che: i) il codice adottato non consente l'utilizzo di classi di M a dimensione variabile; ii) poiché i valori di M del catalogo si concentrano prevalentemente attorno a valori discreti di origine macrosismica, occorre evitare di sovraccaricare alcune classi (scaricandone altre), cumulando inavvertitamente in una stessa classe di M due "picchi" di terremoti.

Come magnitudo-guida è stata assunta M_w ; per essa, tenuto conto di quanto sopra è stata adottata una scansione in 12 classi di $0.23M_w$, con classe inferiore $M_w 4.76 \pm 0.115$; in questo modo il catalogo di partenza degli eventi afferenti alle ZS contiene 1525 eventi con $M_w \geq 4.65$ (tab.2).

Per ragioni di bilanciamento energetico, i calcoli relativi ai rami che adottano le altre magnitudo verranno eseguiti utilizzando lo stesso catalogo. Per determinare le classi di M_s e M_{sp} si è proceduto al confronto presentato in fig.25, che mostra come le dimensioni delle classi di M_s e M_{sp} derivate da M_w non siano costanti.

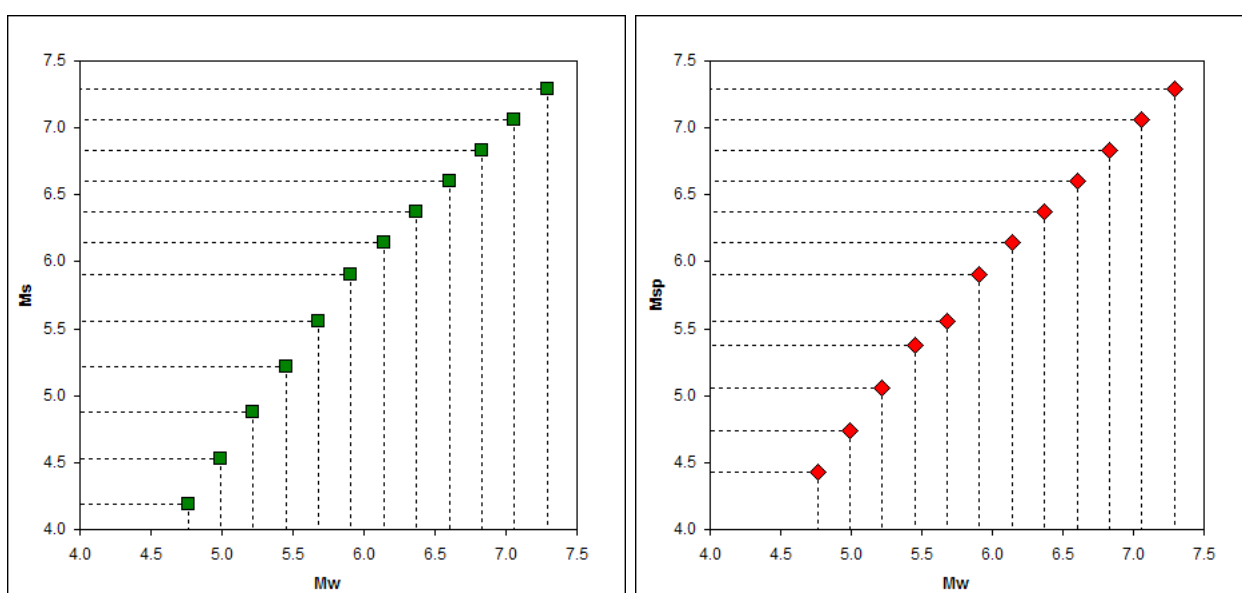


Figura 25. Confronto fra valori centrali e dimensioni delle classi di M_w , M_s e M_{sp} secondo le relazioni adottate fra queste magnitudo (par.3 e App.1).

| ZS | 4.76 | 4.99 | 5.22 | 5.45 | 5.68 | 5.91 | 6.14 | 6.37 | 6.6 | 6.83 | 7.06 | 7.29 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 901 | 6 | 1 | 6 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 902 | 12 | 3 | 6 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 903 | 24 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 904 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 905 | 39 | 16 | 18 | 8 | 5 | 3 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 906 | 14 | 11 | 6 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 907 | 9 | 10 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 908 | 19 | 5 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 909 | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 910 | 7 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 911 | 5 | 3 | 5 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 912 | 12 | 9 | 6 | 7 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 913 | 26 | 13 | 11 | 6 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 914 | 21 | 14 | 11 | 6 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 915 | 31 | 17 | 19 | 1 | 4 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 916 | 14 | 8 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 917 | 12 | 8 | 9 | 4 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 918 | 21 | 5 | 7 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 919 | 23 | 8 | 17 | 9 | 3 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 920 | 23 | 14 | 23 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 921 | 30 | 19 | 14 | 4 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 922 | 12 | 6 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 923 | 68 | 14 | 28 | 12 | 3 | 7 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 0 |
| 924 | 10 | 7 | 11 | 6 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 925 | 8 | 2 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 926 | 3 | 6 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 927 | 28 | 8 | 11 | 1 | 4 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 0 |
| 928 | 5 | 7 | 9 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 929 | 48 | 13 | 24 | 8 | 4 | 7 | 4 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 930 | 9 | 7 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 931 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 932 | 9 | 5 | 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 933 | 19 | 4 | 5 | 6 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 934 | 4 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 935 | 9 | 1 | 6 | 2 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| | 4.30 | 4.53 | 4.76 | 4.99 | 5.22 | 5.45 | 5.68 | 5.91 | 6.14 | 6.83 | 7.06 | 7.29 |
| 936 | 34 | 20 | 8 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabella 2. Distribuzione dei terremoti di CPTI2 nelle ZS e nelle classi di Mw.

Tuttavia, per ovviare ai problemi ricordati più sopra, si è ritenuto accettabile suddividere il catalogo CPTI2 in classi di dimensione costante per ciascun tipo di M. Ad esempio, in fig.26 alla distribuzione dei terremoti di CPTI2 in termini di Ms (istogramma) sono sovrapposti gli intervalli di Ms adottati per questa ricerca (barra inferiore) e quelli, di dimensione variabile, che si possono definire per Ms utilizzando le relazioni Mw/Ms. Si può vedere che la distribuzione adottata evita che nella seconda classe si cumulino due picchi di Ms; il disallineamento è maggiore per le alte magnitudo, ma il suo effetto sull'intero processo è trascurabile.

Il catalogo è stato pertanto suddiviso in 12 classi di Ms e Msp di dimensioni poco differenti (rispettivamente 0.3Ms e 0.28Msp), con valori centrali della classe inferiore rispettivamente uguali a Ms4.3±0.15; Msp4.49±0.14 (tab.3). I controlli eseguiti assicurano che il numero di terremoti per ciascuna classe di M e per ciascuna ZS è sufficientemente stabile per i tre tipi di M, e comunque tale da far ritenere accettabile la "linearizzazione" adottata per le classi di Ms e Msp (fig.27; se si adottassero le scansioni indotte dalle relazioni fra le M, le tre distribuzioni risulterebbero uguali).

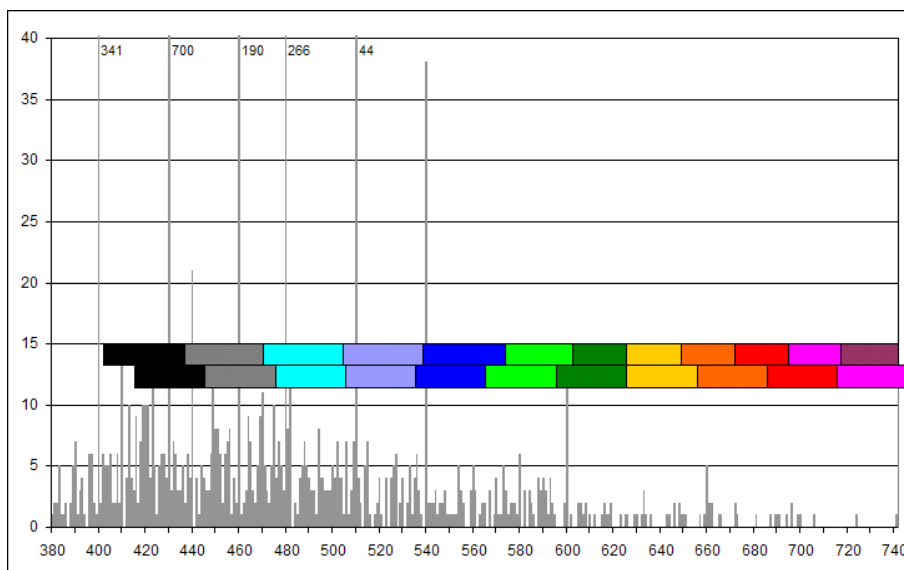


Figura 26. Istogramma del catalogo CPT12 in termini di Ms a confronto con le scansioni teorica (barra superiore) e adottata (barra inferiore).

| N | Mw | Ms | Msp | Io(MCS) |
|----|--------------|------------|-------------|---------|
| 1 | 4.76 ± 0.115 | 4.3 ± 0.15 | 4.49 ± 0.14 | 6 |
| 2 | 4.99 ± 0.115 | 4.6 ± 0.15 | 4.77 ± 0.14 | 6/7 |
| 3 | 5.22 ± 0.115 | 4.9 ± 0.15 | 5.05 ± 0.14 | 7 |
| 4 | 5.45 ± 0.115 | 5.2 ± 0.15 | 5.33 ± 0.14 | 7/8 |
| 5 | 5.68 ± 0.115 | 5.5 ± 0.15 | 5.61 ± 0.14 | 8 |
| 6 | 5.91 ± 0.115 | 5.8 ± 0.15 | 5.89 ± 0.14 | 8/9 |
| 7 | 6.14 ± 0.115 | 6.1 ± 0.15 | 6.17 ± 0.14 | 9 |
| 8 | 6.37 ± 0.115 | 6.4 ± 0.15 | 6.45 ± 0.14 | 9/10 |
| 9 | 6.60 ± 0.115 | 6.7 ± 0.15 | 6.73 ± 0.14 | 10 |
| 10 | 6.83 ± 0.115 | 7.0 ± 0.15 | 7.01 ± 0.14 | 10/11 |
| 11 | 7.06 ± 0.115 | 7.3 ± 0.15 | 7.29 ± 0.14 | 11 |
| 12 | 7.29 ± 0.115 | 7.6 ± 0.15 | 7.57 ± 0.14 | 11/12 |

Tabella 3. Confronto fra i valori centrali delle classi adottate di Mw, Ms e Msp (e di Io).
(Nota: alla classe 12 di Mw viene fatto afferire anche un terremoto con Mw7.41)

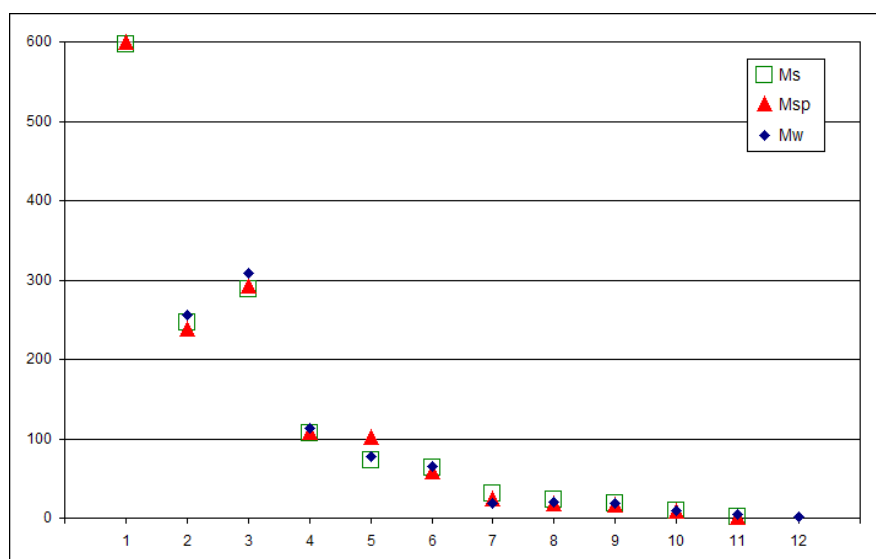


Figura 27. Confronto fra il numero di eventi in ciascuna delle 12 classi nei tre tipi di M.

6.2. *Determinazione degli intervalli di completezza dei dati del catalogo.* L'impatto sui tassi di sismicità degli intervalli di completezza per ciascuna classe di M, determinati con le procedure statistiche convenzionali, è stato discusso da Stucchi e Albinì (2000) con particolare riferimento ai cataloghi italiani.

In particolare, questa analisi ha mostrato che tali intervalli determinano: a) un divario notevole fra numero di terremoti contenuti in 1000 anni di catalogo e numero di terremoti (virtuali) stimato in 1000 anni a partire dai tassi di sismicità risultanti (fig.28); b) incrementi significativi nei valori di a_{max} attesi.

Tale divario, scontato per terremoti di energia medio-bassa il cui campione presente nei cataloghi è ovviamente molto incompleto, risulta particolarmente elevato anche nel caso di terremoti distruttivi ($I_0 \geq 8/9$; $M_s \geq 5.8$); nel caso di fig.28 (catalogo NT4.1 e numero di terremoti virtuali stimati a partire dai tassi di sismicità utilizzati da Slejko et al., 1998) il divario è di circa 200 eventi (331 virtuali - 134 in NT4.1, ossia una volta e mezza il numero di terremoti nel catalogo stesso!). Questo valore, che può segnalare sia una eccessiva cautela nella determinazione degli intervalli di completezza, sia un aumento reale della sismicità distruttiva negli ultimi 4 secoli (periodo tradizionalmente considerato "completo"), sembra comunque poco accettabile per un catalogo basato su una tradizione e una ricerca storico-sismologica considerata di prim'ordine.

Per ridurre questo divario, in questa ricerca gli intervalli di completezza sono stati determinati utilizzando approcci di tipo sia storico, sia statistico. In particolare sono stati definiti due insiemi di intervalli di completezza, definiti rispettivamente (prevalentemente) "storico" (CO-04.2) e (prevalentemente) "statistico" (CO-04.4).

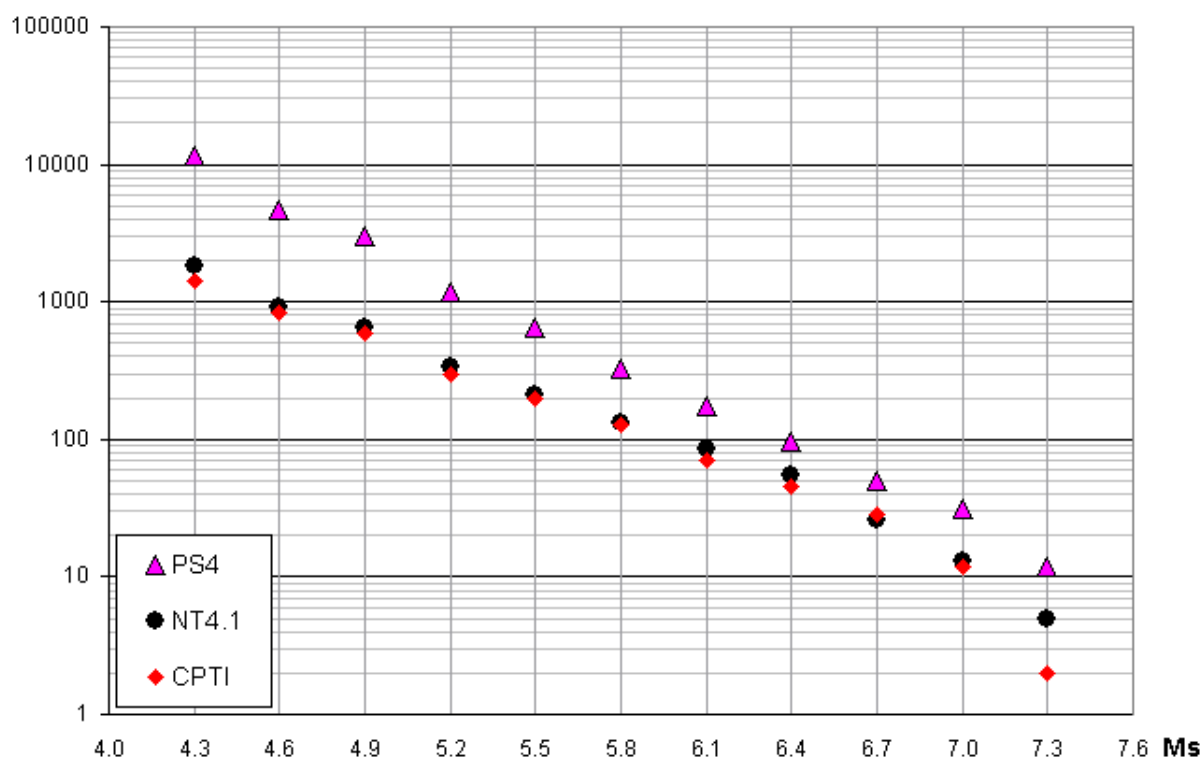


Figura 28. Catalogo NT4.1 (in forma cumulativa) a confronto con il catalogo virtuale "PS4" (ottenuto proiettando su 1000 anni i tassi di sismicità utilizzati per le valutazioni di pericolosità sismica di Slejko et al., 1998), e con il catalogo CPTI.

a) *Intervalli di completezza prevalentemente "storici" (CO-04.2).* Per determinare questo insieme di intervalli sono state utilizzate le stime di completezza dei dati storici di sito ($Isito \geq 9/10MCS$, $Isito \geq 8/9MCS$, $Isito \geq 7/8MCS$) ottenute, per 18 località (fig.29), con approcci di tipo storico da ricerche svolte per il SSN (Albini et al., 2001) e nel progetto GNDT "Scenari di danno..." (Albini et al., 2002).



Figura 29. *Stelle blu:* Località oggetto di indagine storica. *Punti rossi:* siti oggetto di analisi statistiche (si veda più avanti).

Queste stime (fig.30) 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 in questione riguardano dunque la completezza della informazione al sito, e sono espresse in termini di anno di decorrenza della completezza del relativo valore di I risentito al sito.

Esse sono interpretabili anche in termini di intensità epicentrale come riferite a eventi con $I_o = Isito$ e epicentro nella località; di conseguenza, sono interpretabili come riferite a eventi con M_w , M_s o M_{sp} , localizzati nella stessa località, utilizzando le corrispondenze proposte dalla tab.3.

Assunzioni e argomentazioni storiche e sismologiche alla base di questa procedura sono descritte in Stucchi et al. (2004), con un esempio di determinazione delle completezze per una località.

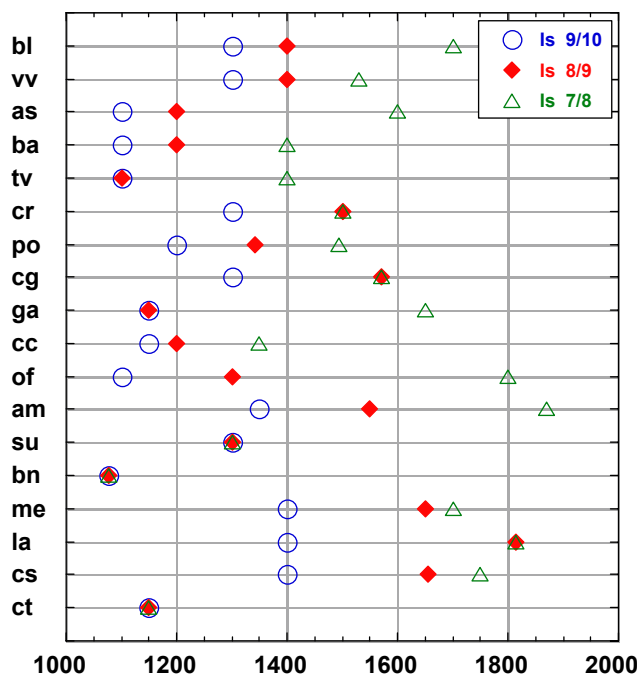


Figura 30. Anno di decorrenza della completezza per i tre valori di Isito nelle 18 località.

Nella presente ricerca gli intervalli di completezza per ciascuna ZS sono stati ottenuti, per le tre classi di Io citate e per le magnitudo corrispondenti, attribuendo a ciascuna ZS gli intervalli determinati per le località che vi ricadono, operando scelte di tipo esperto per le ZS in cui ricadono più località studiate.

I risultati ottenuti per le classi Mw6.37 (Io9/10MCS), Mw5.91 (Io8/9MCS) e Mw5.45 (Io7/8MCS) sono presentati rispettivamente in figg. 31, 32 e 33 (quadrati verdi, vuoti). L'estensione alle ZS per le quali non sono disponibili dati di sito è stata eseguita mediante considerazioni storiche di prima approssimazione, facendo riferimento a 5 macrozone (fig.34).

La legenda comune alle figg. 31, 32 e 33, che presentano anche risultati statistici spiegati nel seguito, è la seguente:

Rappresentazione spazio-temporale (ZS vs tempo), per una data Mw, dei seguenti parametri: i) terremoti di CPTI2 (*pallini grigi*); ii) decorrenze di completezza storica, per le 18 località indagate (*stelle blu*); iii) scelte finali di decorrenza di completezza storica per tutte le ZS (CO-04.2, *quadrati vuoti verdi*); iv) decorrenze di completezza statistica, con intervalli di confidenza, per i 30 siti analizzati (*triangoli pieni rossi e barre rosse*); v) scelte finali di decorrenza statistica per tutte le ZS (CO-04.4, *triangoli vuoti verdi*). I colori del numero delle ZS individuano le 5 macrozone di fig.34.

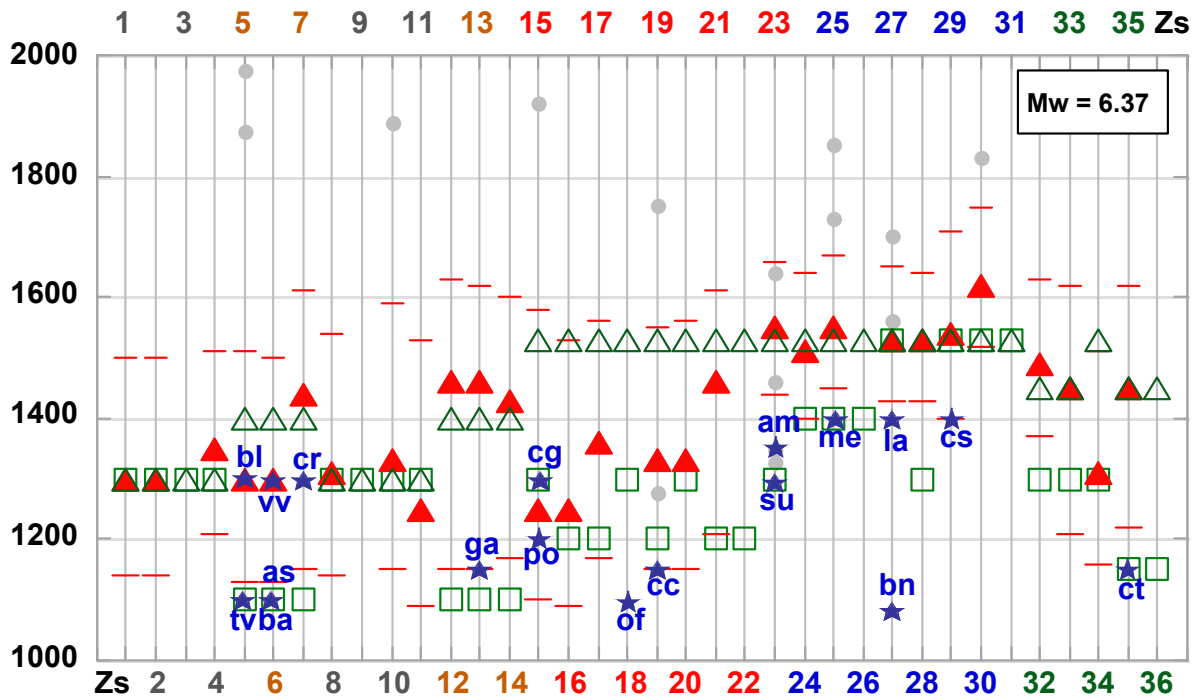


Figura 31. Risultati delle indagini e delle scelte relativi alla classe Mw6.37.

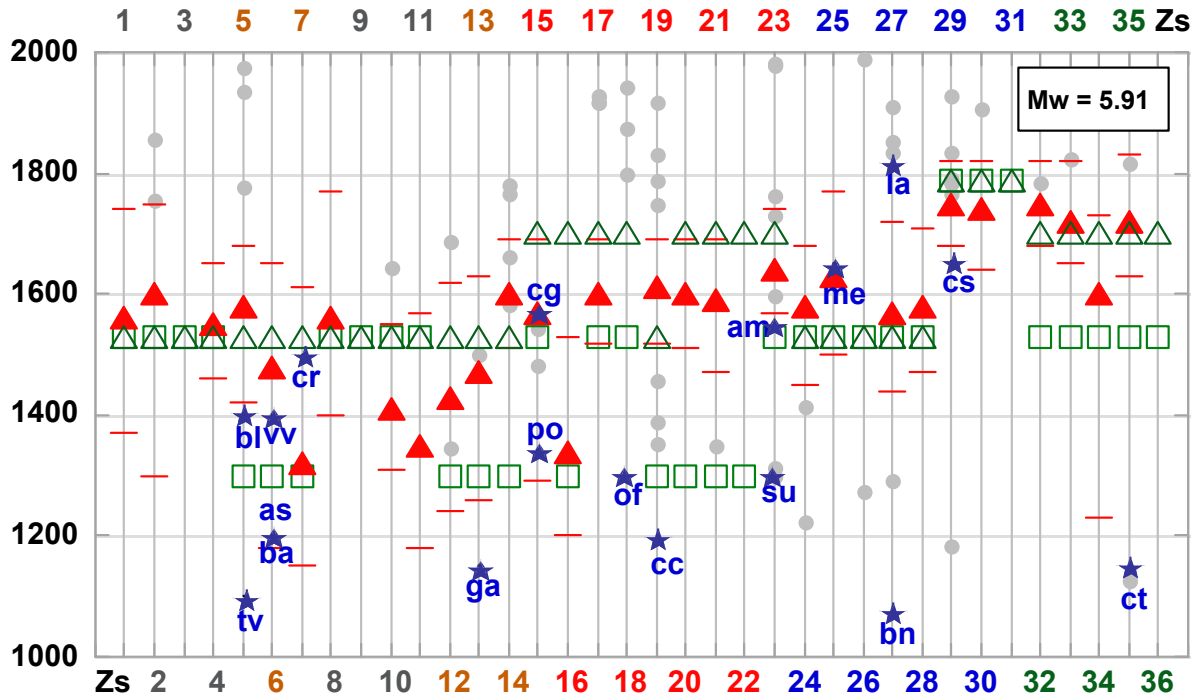


Figura 32. Risultati delle indagini e delle scelte relativi alla classe Mw5.91.

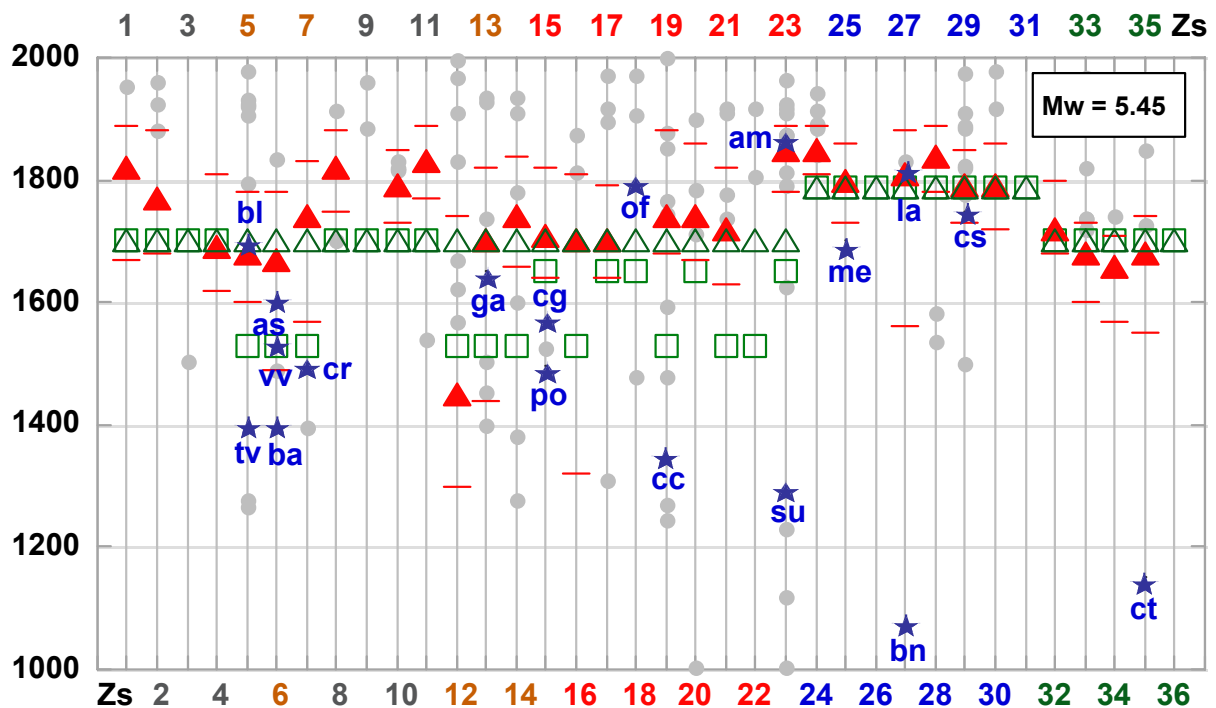


Figura 33. Risultati delle indagini e delle scelte relativi alla classe Mw5.45.

Poichè le considerazioni di tipo storico che stanno alla base del metodo non si applicano a terremoti con scarsa capacità distruttiva, gli intervalli di completezza determinati per le tre classi di Mw citate sono stati estesi in modo ragionato alle classi di Mw inferiori, avendo come riferimento le determinazioni di tipo statistico (da qui il titolo dell'insieme di intervalli) descritte nel seguito. E' stato inoltre adottato l'accorgimento di non introdurre variazioni temporali di eccessivo dettaglio (ovvero, si è inteso evitare un numero eccessivo di "scalini" nelle spezzate di fig.34); in pratica, agli intervalli di completezza sono state consentite variazioni cronologiche in riferimento ad almeno due classi di Mw, pari a circa 0.5Mw. Gli intervalli di completezza determinati in termini di Mw sono stati poi associati ai corrispondenti valori di Ms e Msp secondo la tab.3 già ricordata.

- b) *Intervalli di completezza prevalentemente "statistici" (CO-04.4).* Per determinare questo insieme di intervalli sono state considerate le stime di tipo statistico ottenute dall'applicazione della metodologia di Albarello et al. (2001) a una trentina di punti (fig.30); tali stime sono corredate da un intervallo temporale di confidenza (figg.31, 32, 33; triangoli pieni rossi e barre rosse). In analogia a quanto fatto per i valori storici, i valori statistici di sito sono stati attribuiti in modo ragionato alle ZS e estesi alle ZS prive di dati, utilizzando vincoli di coerenza areale con riferimento alle 5 macrozone e avendo cura che le scelte effettuate (figg.31, 32, 33; triangoli verdi vuoti) ricadessero all'interno del relativo intervallo di confidenza.

I due insiemi di intervalli, CO-04.2 e CO-04.4, sono riportati in tabb.4 e 5.

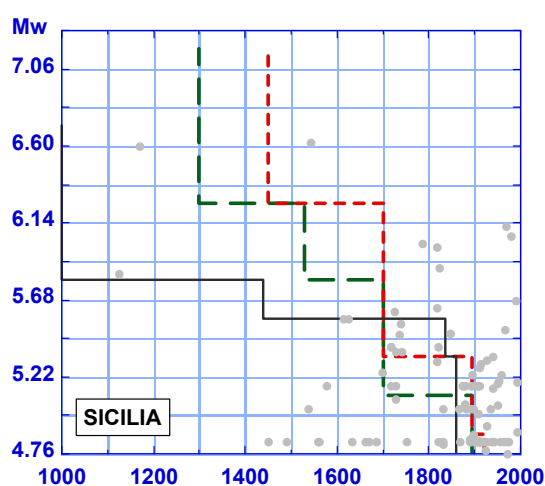
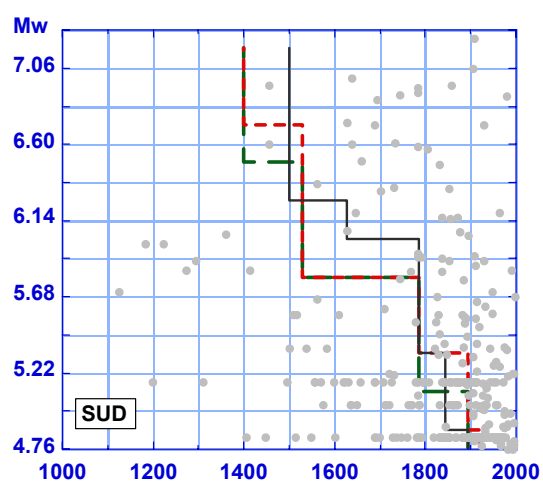
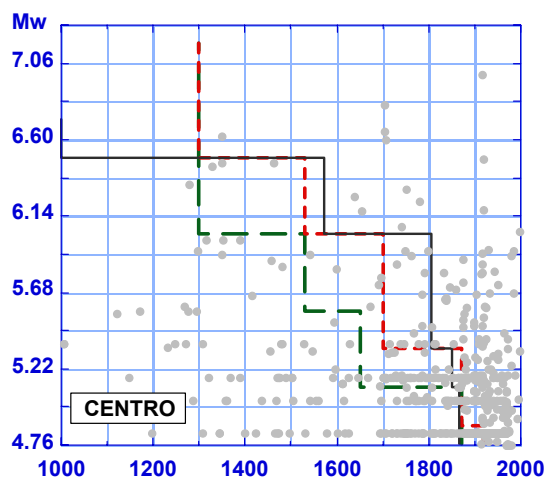
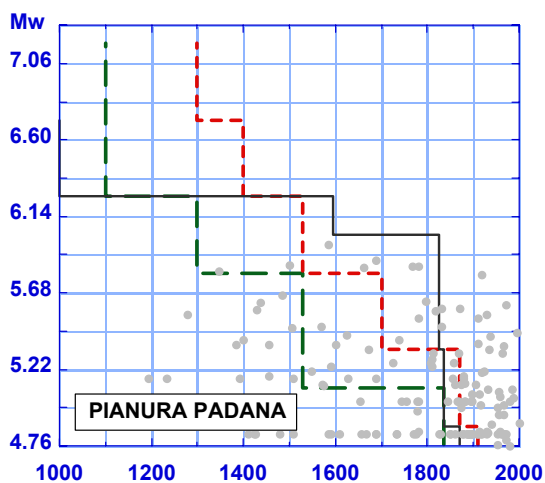
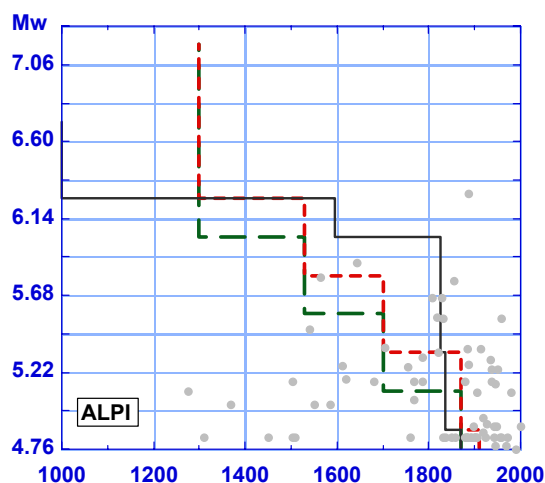
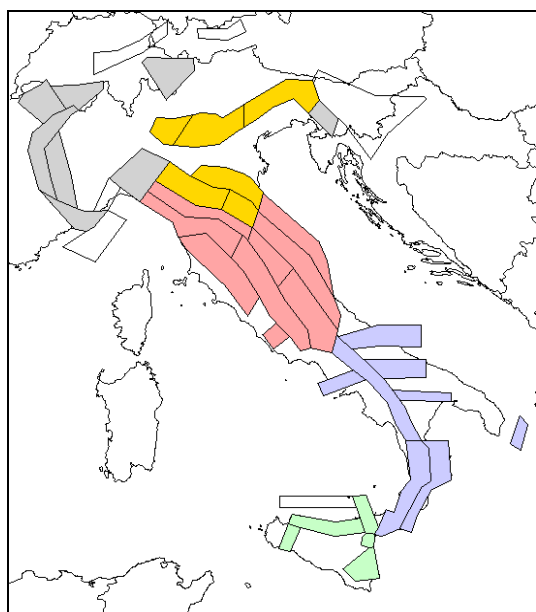


Figura 34. Macrozone di riferimento per l'estrapolazione degli intervalli di completezza e relativi andamenti medi per CO-04.2 (spezzate verdi) e CO-04.4 (spezzate rosse). Sono riportati (nero) anche gli andamenti per gli intervalli CO-96, utilizzati da Slejko et al. (1998), definiti allora in termini di M_s e qui ricalcolati in termini di M_w .

| nome ZS | ZS | Classi di Mw | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Savoia | 901 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Vallese | 902 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Grigioni-Valtellina | 903 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Trieste-Monte Nevoso | 904 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Piemonte | 908 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Alpi Occidentali | 909 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Nizza-Sanremo | 910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Savona-Valle Scrivia | 911 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Friuli-Veneto Orientale | 905 | 1836 | 1836 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| Garda - Veronese | 906 | 1836 | 1836 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| Bergamasco | 907 | 1836 | 1836 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| Dorsale Ferrarese | 912 | 1836 | 1836 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| App. Emiliano-Romagn. | 913 | 1836 | 1836 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| Forlivese | 914 | 1836 | 1836 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 | 1100 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Garfagnana-Mugello | 915 | 1871 | 1871 | 1650 | 1650 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Versilia-Chianti | 916 | 1871 | 1871 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| Rimini-Ancona | 917 | 1836 | 1836 | 1650 | 1650 | 1530 | 1530 | 1530 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| Medio-Marchigiana/Abruzz. | 918 | 1871 | 1871 | 1650 | 1650 | 1650 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Val Tiberina | 919 | 1871 | 1871 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| Trasimeno-Ceccano | 920 | 1871 | 1871 | 1650 | 1650 | 1650 | 1300 | 1300 | 1300 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| Etruria | 921 | 1871 | 1871 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| Colli Albani | 922 | 1871 | 1871 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |
| Appennino Abruzzese | 923 | 1871 | 1871 | 1650 | 1650 | 1650 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Molise-Gargano | 924 | 1871 | 1871 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Ofanto | 925 | 1871 | 1871 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Matera | 926 | 1871 | 1871 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Sannio-Irpinia-Basilicata | 927 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | 1871 | 1871 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Calabria tirrenica | 929 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Calabria ionica | 930 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Otranto | 931 | 1950 | 1950 | 1950 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Eolie-Patti | 932 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Sicilia settentrionale | 933 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Belice | 934 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Iblei | 935 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1530 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Etna | 936 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1530 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 | 1150 |

Tabella 4. Intervalli di completezza "storici" (CO-04.2) per ZS e classi di M.
I valori in grassetto si riferiscono a classi per le quali esistono terremoti in CPTI2.

| nome ZS | ZS | Classi di Mw | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Savoia | 901 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Vallese | 902 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Grigioni-Valtellina | 903 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Trieste-Monte Nevoso | 904 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Piemonte | 908 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Alpi Occidentali | 909 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Nizza-Sanremo | 910 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Savona-Valle Scrivia | 911 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Friuli-Veneto Orientale | 905 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Garda - Veronese | 906 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Bergamasco | 907 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Dorsale Ferrarese | 912 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1300 | 1300 | 1300 |
| App. Emiliano-Romagn. | 913 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Forlivese | 914 | 1910 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1300 | 1300 | 1300 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Garfagnana-Mugello | 915 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Versilia-Chianti | 916 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Rimini-Ancona | 917 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Medio-Marchigiana/Abruzz. | 918 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Val Tiberina | 919 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Trasimeno-Ceccano | 920 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Etruria | 921 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Colli Albani | 922 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Appennino Abruzzese | 923 | 1920 | 1871 | 1871 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Molise-Gargano | 924 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Ofanto | 925 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Matera | 926 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Sannio-Irpinia-Basilicata | 927 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Calabria tirrenica | 929 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Calabria ionica | 930 | 1920 | 1895 | 1895 | 1787 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Otranto | 931 | 1950 | 1950 | 1950 | 1787 | 1787 | 1787 | 1787 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 | 1530 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Eolie-Patti | 932 | 1920 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 |
| Sicilia settentrionale | 933 | 1920 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 |
| Belice | 934 | 1920 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1530 | 1530 | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Iblei | 935 | 1920 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 |
| Etna | 936 | 1920 | 1895 | 1895 | 1700 | 1700 | 1700 | 1700 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 | 1450 |

Tabella 5. Intervalli di completezza "statistici" (CO-04.4) per ZS e classi di M.
I valori in grassetto si riferiscono a classi per le quali esistono terremoti in CPTI2.

6.3 - *Adozione del valore di Mmax*. Il valore di Mmax rappresenta tradizionalmente un elemento di tipo cautelativo che viene adottato per garantire le determinazioni di amax dalla possibilità che si verifichino, sia pure con probabilità molto bassa, eventi di M superiore a quelle verificatisi nel corso del periodo di osservazione del catalogo.

Questa scelta riflette ovviamente la scarsa conoscenza del potenziale sismogenetico di una regione; non a caso, è oggetto di particolare attenzione nelle regioni a sismicità medio-bassa e/o in quelle poco investigate. Il valore di Mmax viene determinato con approcci diversi, di tipo prevalentemente statistico; spesso, per motivi cautelativi, in tali regioni la differenza fra Mmax adottato e il valore massimo proposto dal catalogo (MmaxCPTI2) risulta molto elevata.

In questa ricerca sono stati definiti due insiemi di valori di Mmax: a) uno calibrato, in modo cautelativo, sui dati sismologici e geologici, definito Mmax1; b) uno di tipo maggiormente cautelativo, definito Mmax2. Ciascun insieme è stato determinato inizialmente per Mw e quindi per gli altri due tipi di M utilizzati (Ms e Msp).

a) *Mmax1 ("osservata")*. Questo insieme di valori è stato determinato, per ciascuna ZS, dal confronto fra il valore Mwmax osservato in CPTI2 (MmaxCPTI2) e il valore di Mw proposto su base esclusivamente geologica da DISS2, assunto come vincolo indipendente. In particolare sono state adottate le seguenti convenzioni:

- i) se MmaxCPTI2 è maggiore del valore centrale della rispettiva classe di Mw per una quantità $\geq 0.8Mw$ (pari a 1/3 della dimensione della classe stessa), Mwmax è assunto uguale al valore della classe superiore;
- ii) se l'evento con MmaxCPTI2 ricade al di fuori del relativo intervallo di completezza (ossia se l'evento non entra nei calcoli di pericolosità sismica), si adotta comunque, a titolo cautelativo, Mwmax = MmaxCPTI2 (ZS 903, 920 per CO-04.2, cui si aggiungono le ZS 906, 913 e 921 per CO-04.4);
- iii) se $MmaxCPTI2 \leq MwmaxDISS2$, si adotta Mwmax = MwmaxDISS2 (ZS 907, 912, 917);
- iv) in tutti gli altri casi si adotta Mwmax = MmaxCPTI2.

Sono state fatte le seguenti eccezioni:

- a) per la ZS 916 (Versilia-Chianti), che non ricadeva nel caso i), è stato adottato un valore di Mwmax più alto di una classe allo scopo di non rendere troppo eccessivo il divario con il valore dell'insieme Mwmax2;
- b) per la ZS 922 (Colli Albani), che ricade nel caso i) per una quantità di 0.01Mw, non è stata adottata la classe superiore in quanto il terremoto che determina il valore Mwmax_oss è stato associato a questa ZS con considerazioni già cautelative;
- c) per la ZS 933 (Sicilia settentrionale) le considerazioni prodotte al par.4 hanno suggerito l'adozione di un valore di Mwmax più alto di una sola classe (Mw6.14) rispetto al valore MwmaxCPTI2 (Mw5.91). Resta inteso che tale valore ha un significato operativo all'interno di questo progetto e non rappresenta il potenziale sismogenetico della ZS F.

b) *Mmax2 ("cautelativa")*. Allo scopo di garantire ai risultati un maggior margine di sicurezza, su suggerimento dei revisori è stato determinato un secondo insieme di valori di Mwmax, maggiormente cautelativo rispetto al precedente, corrispondente al criterio di portare al valore Mwmax=6.14Mw tutte le ZS con MmaxCPTI2 inferiore a tale valore. Questo suggerimento è stato adottato con l'esclusione delle ZS vulcaniche dei Colli Albani (922), Ischia-Vesuvio (928) e Etna (936).

I valori considerati sono visualizzati in fig.35. e presentati in dettaglio in tab.6. In fig.36 viene presentata la distribuzione dei valori di Mwmax adottati per CO-04.2 secondo i due insiemi Mwmax1 e Mwmax2. I valori di Msmax e Mspmax sono stati determinati trasformando i valori di Mwmax mediante la tab.3.

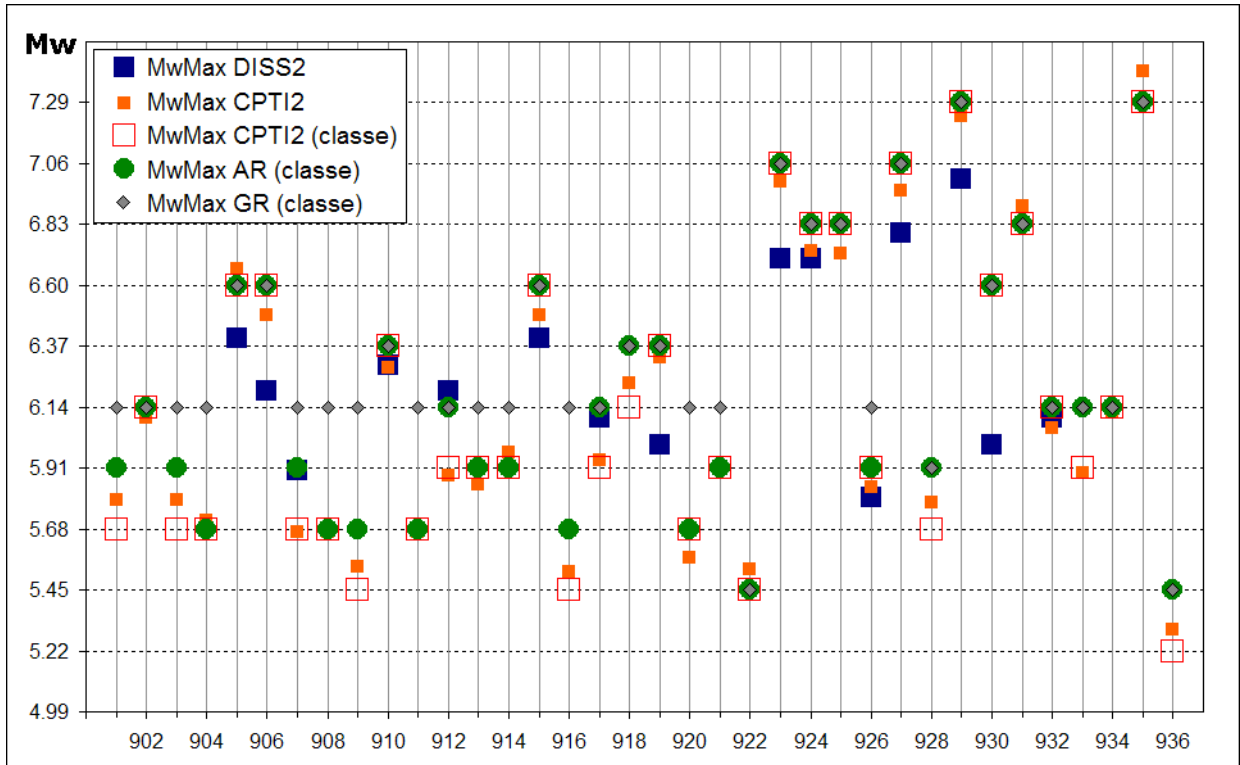


Figura 35. Valori di Mmax osservati (CPTI2 e DISS2) e adottati in questa ricerca.

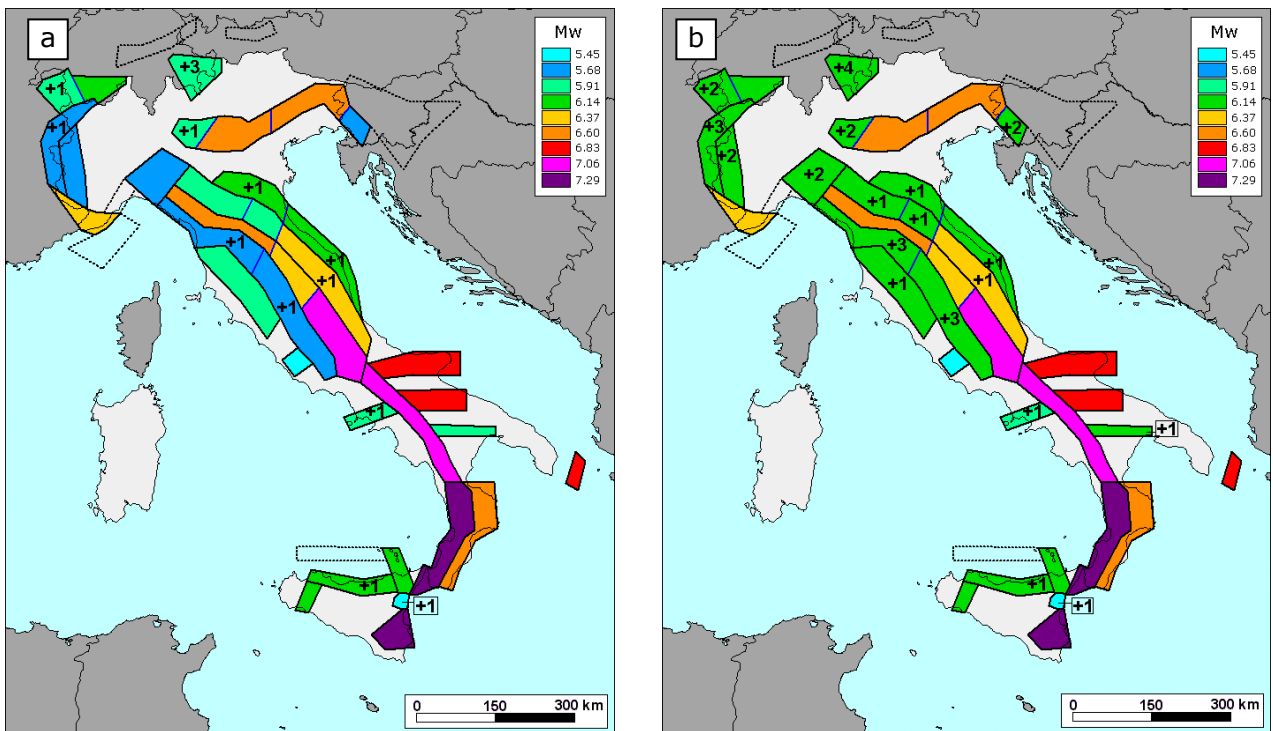


Figura 36. Valori di Mwmax corrispondenti ai due insiemi: a) "osservati" (Mwmax1); b) "cautelativi" (Mwmax2).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|------|----------------|----------------|----------------------------|---------------------------|-------|------------|-------|------------|
| nome ZS | N ZS | DISS2 MwMax | CPTI2 MwMax | CPTI2 MwMax (classe) | CPTI2 completo 04.2 | Az1 | Mw Max1 | Az2 | Mw Max2 |
| Savoia | 901 | | 5.79 | 5.68 | 5.68 | +1(a) | 5.91 | +2(d) | 6.14 |
| Vallese | 902 | | 6.10 | 6.14 | 6.14 | | 6.14 | | 6.14 |
| Grigioni-Valtellina | 903 | | 5.79 | 5.68 | 5.22 | +3(b) | 5.91 | +4(d) | 6.14 |
| Trieste -Monte Nevoso | 904 | | 5.71 | 5.68 | 5.68 | | 5.68 | +2(d) | 6.14 |
| Friuli -Veneto Orientale | 905 | 6.4 | 6.66 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Garda-Veronese | 906 | 6.2 | 6.49 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Bergamasco | 907 | 5.9 | 5.67 | 5.68 | 5.68 | G | 5.91 | +2(d) | 6.14 |
| Piemonte | 908 | | 5.67 | 5.68 | 5.68 | | 5.68 | +2(d) | 6.14 |
| Alpi Occidentali | 909 | | 5.54 | 5.45 | 5.45 | +1(a) | 5.68 | +3(d) | 6.14 |
| Nizza-Sanremo | 910 | 6.3 | 6.29 | 6.37 | 6.37 | | 6.37 | | 6.37 |
| Tortona-Bobbio | 911 | | 5.67 | 5.68 | 5.68 | | 5.68 | +2(d) | 6.14 |
| Dorsale Ferrarese | 912 | 6.2 | 5.88 | 5.91 | 5.91 | G | 6.14 | G | 6.14 |
| Appennino Emiliano-Romagn. | 913 | | 5.85 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Forlivese | 914 | | 5.97 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Garfagnana-Mugello | 915 | 6.4 | 6.49 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Versilia-Chianti | 916 | | 5.52 | 5.45 | 5.45 | +1(c) | 5.68 | +3(d) | 6.14 |
| Rimini-Ancona | 917 | 6.1 | 5.94 | 5.91 | 5.91 | G | 6.14 | G | 6.14 |
| Medio-Marchigiana/Abruzz. | 918 | | 6.23 | 6.14 | 6.14 | +1(a) | 6.37 | +1(a) | 6.37 |
| Appennino Umbro | 919 | 6.0 | 6.33 | 6.37 | 6.37 | | 6.37 | | 6.37 |
| Val di Chiana-Ciociaria | 920 | | 5.57 | 5.68 | 5.45 | +1(b) | 5.68 | +3(d) | 6.14 |
| Etruria | 921 | | 5.91 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Colli Albani | 922 | | 5.53 | 5.45 | 5.45 | | 5.45 | | 5.45 |
| Appennino Abruzzese | 923 | 6.7 | 6.99 | 7.06 | 7.06 | | 7.06 | | 7.06 |
| Molise-Gargano | 924 | 6.7 | 6.73 | 6.83 | 6.83 | | 6.83 | | 6.83 |
| Ofanto | 925 | | 6.72 | 6.83 | 6.83 | | 6.83 | | 6.83 |
| Basento | 926 | 5.8 | 5.84 | 5.91 | 5.91 | | 5.91 | +1(d) | 6.14 |
| Sannio-Irpinia -Basilicata | 927 | 6.8 | 6.96 | 7.06 | 7.06 | | 7.06 | | 7.06 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | | 5.78 | 5.68 | 5.68 | +1(a) | 5.91 | +1(a) | 5.91 |
| Calabria Tirrenica | 929 | 7.0 | 7.24 | 7.29 | 7.29 | | 7.29 | | 7.29 |
| Calabria Ionica | 930 | 6.0 | 6.60 | 6.60 | 6.60 | | 6.60 | | 6.60 |
| Canale d'Otranto | 931 | | 6.90 | 6.83 | 6.83 | | 6.83 | | 6.83 |
| Eolie-Patti | 932 | 6.1 | 6.06 | 6.14 | 6.14 | | 6.14 | | 6.14 |
| Sicilia settentrionale | 933 | | 5.89 | 5.91 | 5.91 | +1(c) | 6.14 | +1(c) | 6.14 |
| Belice | 934 | | 6.12 | 6.14 | 6.14 | | 6.14 | | 6.14 |
| Iblei | 935 | | 7.41 | 7.29 | 7.29 | | 7.29 | | 7.29 |
| Etna | 936 | | 5.30 | 5.22 | 5.22 | +1(a) | 5.45 | +1(a) | 5.45 |

Tabella 6. Valori di Mwmax da DISS2 e CPTI2 (col.3, 4, 5); valori di Mwmax dopo l'applicazione degli intervalli di completezza CO-04.2 (col.6); azioni e valore finale di Mwmax1 (col.7, 8); azioni e valori finali di Mwmax2 (col.9, 10). Le azioni indicano l'aumento (in numero di classi) rispetto ai valori della colonna 6 determinato da:

- a = aumento di 1 classe per convenzione (i) (arrotondamento alla classe superiore);
- b = aumento per convenzione (ii) (adozione dell'evento massimo osservato anche se al di fuori del periodo di completezza);
- c = aumento per motivazioni particolari descritte nel testo;
- d = aumento fino alla classe 6.14 per ragioni di maggiore cautela (vedi testo);
- G = aumento per adeguamento al dato geologico di DISS2.

6.4. *Determinazione dei tassi di sismicità.* In aggiunta alla modalità di calcolo adottata per la versione di novembre 2003 (tassi individuali ovvero *activity rates*, AR), secondo le indicazioni dei revisori i tassi di sismicità sono stati determinati anche mediante relazioni tipo Gutenberg-Richter troncate (*GR rates*). Gli insiemi Mmax1 e Mmax2 sono stati usati in combinazione con i tassi rispettivamente AR e GR.

a) *Tassi individuali (Activity rates, AR).* I tassi sono stati calcolati, per ciascuna classe di M e per ciascuna ZS, utilizzando le colonne Mw, Ms e Msp di CPTI2, dividendo il numero di terremoti presenti nella ZS, nella classe e nella finestra temporale ritenuta completa, per la lunghezza della finestra stessa. Il numero totale di terremoti afferenti alle ZS è 1525; con l'adozione degli intervalli di completezza diventa 1137 (CO-04.2) e 768 (CO-04.4). I tassi relativi ai valori di Mwmax (e ai corrispondenti valori di Msmax e Mspmax) sono stati determinati come segue:

- i) nei casi in cui Mwmax=MmaxCPTI2, dagli intervalli di completezza;
- ii) nel caso di valori di Mwmax corrispondenti a eventi collocati al di fuori dal relativo intervallo di completezza, utilizzando l'intervallo temporale trascorso dall'evento al 2002 (termine del catalogo);
- iii) nel caso di valori da DISS2, dai valori di ricorrenza minimi ivi proposti.

b) *Tassi da relazioni G-R. (GR rates).* I parametri delle relazioni G-R sono stati determinati in termini di Mw, per tutte le ZS e per ciascuno degli insiemi di intervalli di completezza, con le seguenti procedure:

- i) il valore del parametro \underline{b} è stato ottenuto interpolando, con il metodo dei minimi quadrati, il logaritmo dei tassi AR cumulativi. Fanno eccezione alcune ZS per le quali lo scarso numero di tassi su cui eseguire l'interpolazione non garantisce la stabilità dei risultati. Per questi casi sono stati adottati i valori di \underline{b} come segue: alla ZS 903 (Grigioni-Valtellina) è stato attribuito il valore di \underline{b} della ZS 902 (Vallese); alla ZS 920 (Val di Chiana-Ciociaria) quello della ZS 916 (Versilia-Chianti); alla ZS 922 (Colli Albani), quello della ZS 921 (Etruria);
- ii) i valori di Mmax non "osservati", ovvero non compresi nel campione utilizzato per ricavare i tassi AR, non sono stati usati per calcolare il parametro \underline{b} ;
- iii) il valore del parametro \underline{a} è stato assunto sempre uguale al tasso relativo a Mwmin, per garantire il bilanciamento energetico fra i campioni utilizzati per determinare i tassi AR e GR. Per la sola ZS 927 (CO-04.2), è stata fatta una eccezione, adottando il valore di Mwmin calcolato dalla G-R, in quanto per questa ZS il divario con la G-R bilanciata era molto rilevante (fig.39);
- iv) i tassi GR sono quindi stati calcolati "decumulando" la distribuzione logaritmica fornita dalla relazione G-R;
- v) i tassi relativi ai valori di Mwmax sono stati determinati scegliendo il valore inferiore tra il tasso calcolato da G-R e tasso calcolato dagli intervalli di completezza, allo scopo di garantire che il periodo di ritorno associato a Mwmax sia superiore all'intervallo di completezza della classe.

Le figg.38 e 39 (con la tab.7), 40 e 41 (legenda parziale qui sotto) propongono l'intera casistica.

| AR | GR | GR |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ■ da CPTI2 | ⊕ da CPTI2 | ○ da CPTI2 |
| ■ da CPTI2 + 1 classe | ⊕ da CPTI2 + 1 classe | ○ da CPTI2 + 1 classe |
| ■ da DISS2.0 | ⊕ da DISS2.0 | ○ da DISS2.0 |

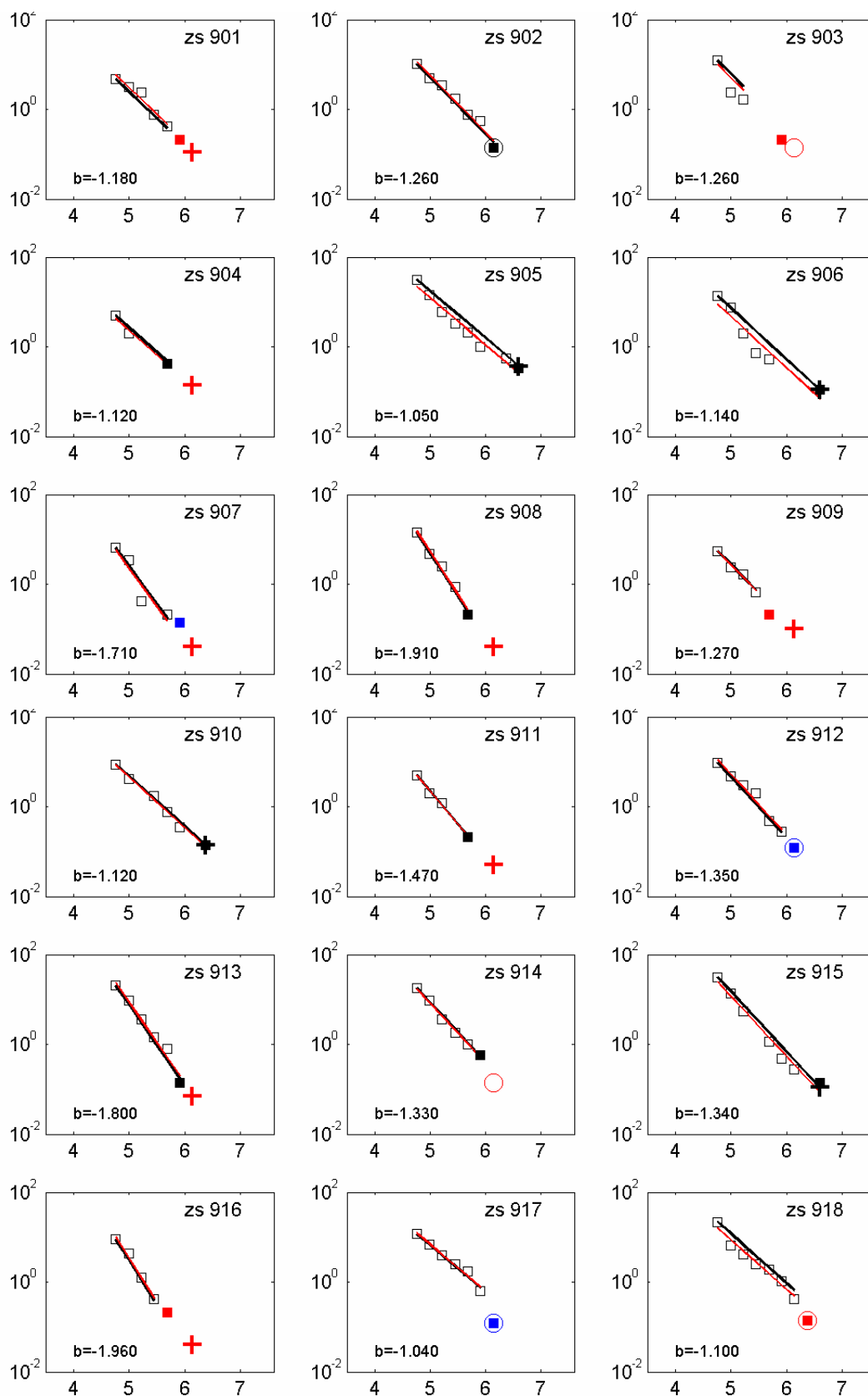


Figura 38. Confronto tra tassi individuali AR (quadrati vuoti), valori di b , G-R interpolate dai tassi (linee rosse) e loro versione bilanciata (linee nere), valori di M_{max} e relativi tassi, per le ZS da 901 a 918 e per intervalli di completezza "storici" CO-04.2.

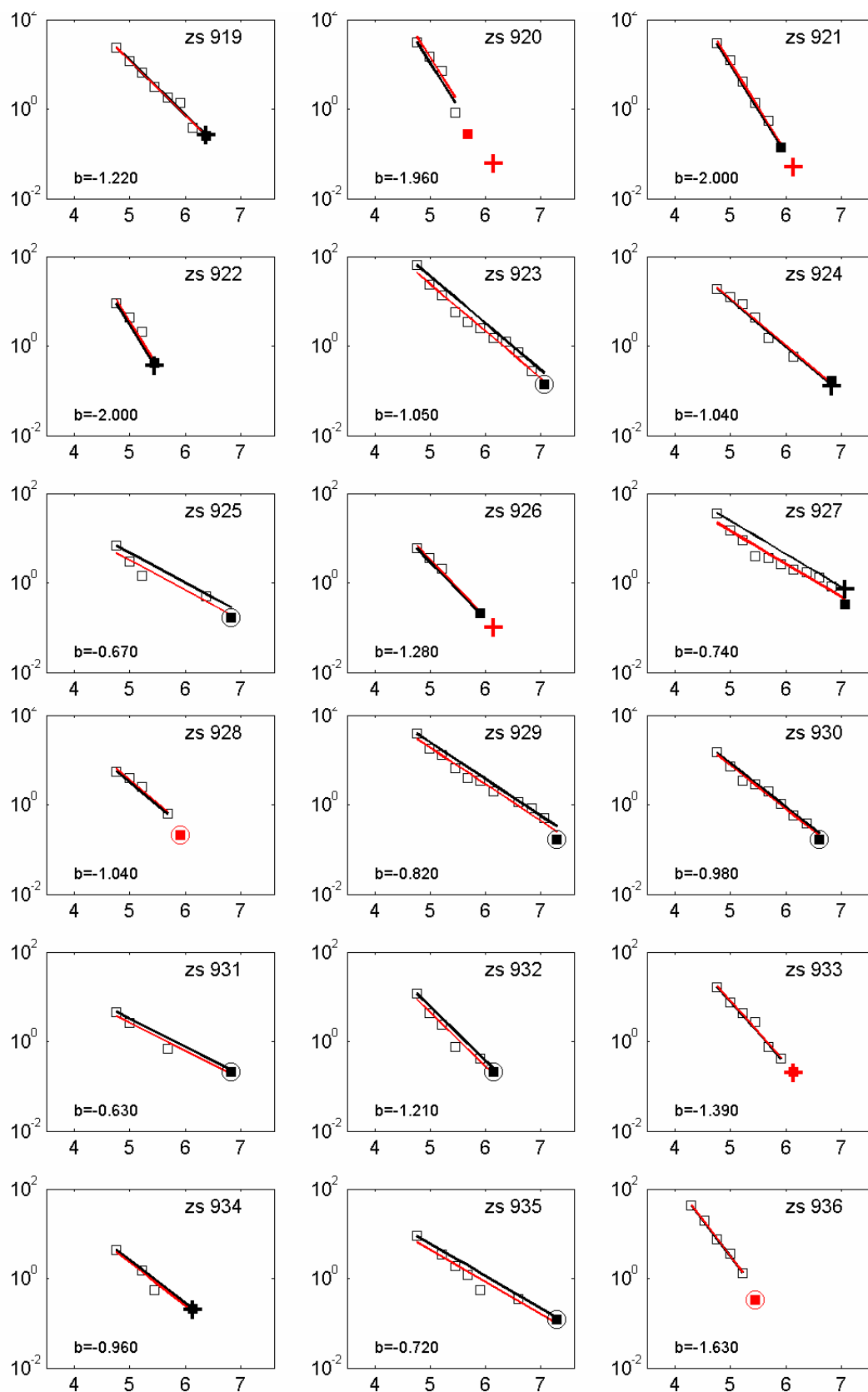


Figura 39. Confronto tra tassi individuali AR (quadrati vuoti), valori di b , G-R interpolate dai tassi (linee rosse) e loro versione bilanciata (linee nere), valori di M_{max} e relativi tassi, per le ZS da 919 a 936 e per intervalli di completezza "storici" CO-04.2.

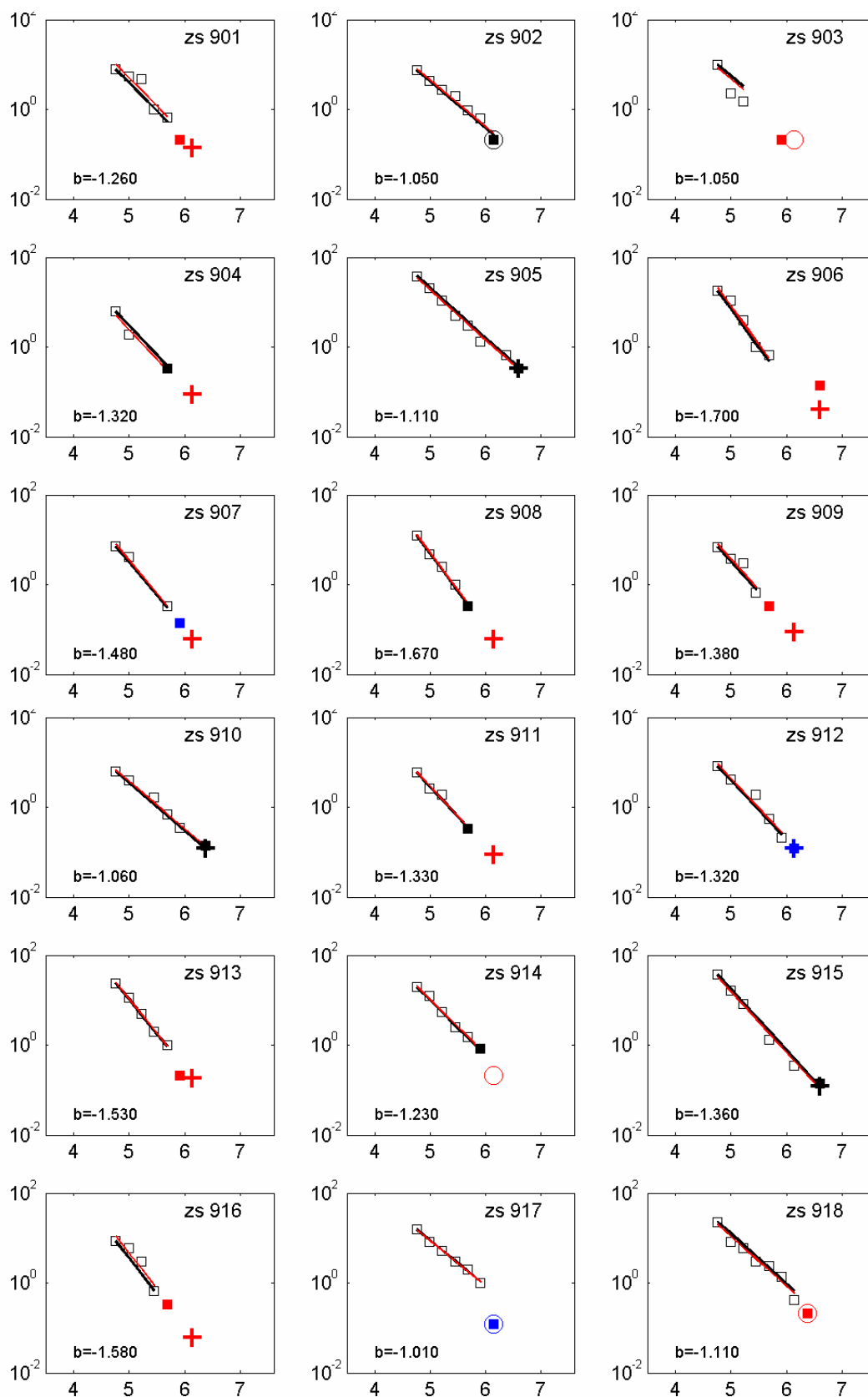


Figura 40. Confronto tra tassi individuali AR (quadrati vuoti), valori di b , G-R interpolate dai tassi (linee rosse) e loro versione bilanciata (linee nere), valori di M_{max} e relativi tassi, per le ZS da 901 a 918 e per intervalli di completezza "statistici" CO-04.4.

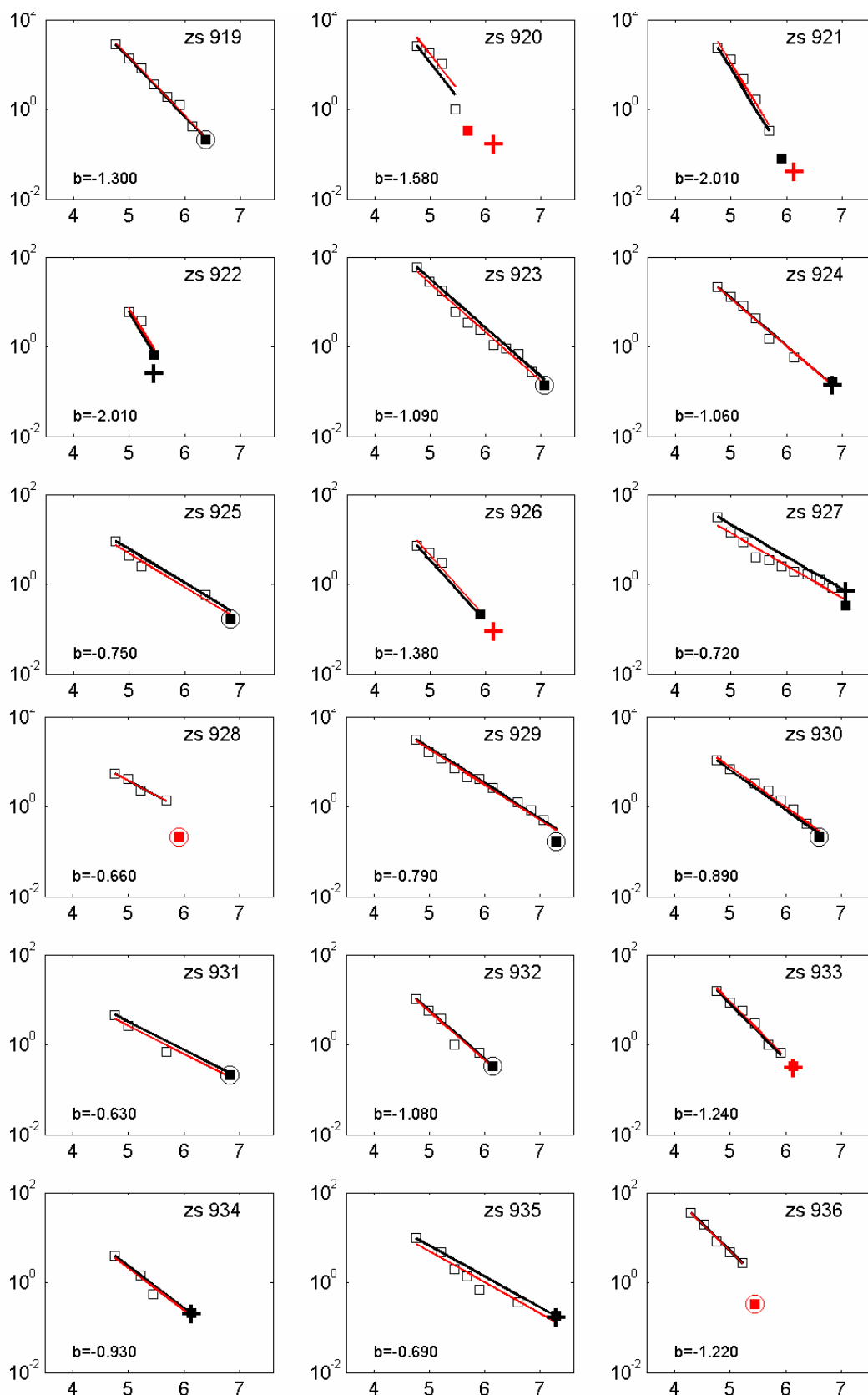


Figura 41. Confronto tra tassi individuali AR (quadrati vuoti), valori di b , G-R interpolate dai tassi (linee rosse) e loro versione bilanciata (linee nere), valori di M_{max} e relativi tassi, per le ZS da 919 a 936 e per intervalli di completezza "statistici" CO-04.2.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|------|--------|----------|--------|-----------------|------------------|-------------|--------|-------------------|
| nome ZS | N ZS | MwMax1 | Tassi AR | MwMax2 | \underline{b} | Tassi da CO-04.2 | Tassi da GR | Azione | Tassi GR adottati |
| Savoia | 901 | 5.91 | 0.21 | 6.14 | -1.18 | 0.14 | 0.11 | A | 0.11 |
| Vallese | 902 | 6.14 | 0.14 | 6.14 | -1.26 | 0.14 | 0.19 | A | 0.14 |
| Grigioni-Valtellina | 903 | 5.91 | 0.21 | 6.14 | -1.26 | 0.14 | 0.23 | A | 0.14 |
| Trieste -Monte Nevoso | 904 | 5.68 | 0.42 | 6.14 | -1.12 | 0.14 | 0.14 | A | 0.14 |
| Friuli -Veneto Orientale | 905 | 6.60 | 0.33 | 6.60 | -1.05 | 0.11 | 0.37 | B | 0.37 |
| Garda-Veronese | 906 | 6.60 | 0.11 | 6.60 | -1.14 | 0.11 | 0.11 | A | 0.11 |
| Bergamasco | 907 | 5.91 | 0.14 | 6.14 | -1.71 | 0.14 | 0.03 | C | 0.04 |
| Piemonte | 908 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.91 | 0.14 | 0.03 | C | 0.04 |
| Alpi Occidentali | 909 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.27 | 0.14 | 0.10 | A | 0.10 |
| Nizza-Sanremo | 910 | 6.37 | 0.14 | 6.37 | -1.12 | 0.14 | 0.14 | A | 0.14 |
| Tortona-Bobbio | 911 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.47 | 0.14 | 0.05 | A | 0.05 |
| Dorsale Ferrarese | 912 | 6.14 | 0.12 | 6.14 | -1.35 | 0.12 | 0.13 | A | 0.12 |
| Appennino Emiliano-Romagn. | 913 | 5.91 | 0.14 | 6.14 | -1.80 | 0.14 | 0.07 | A | 0.07 |
| Forlivese | 914 | 5.91 | 0.57 | 6.14 | -1.33 | 0.14 | 0.26 | A | 0.14 |
| Garfagnana-Mugello | 915 | 6.60 | 0.14 | 6.60 | -1.34 | 0.14 | 0.11 | A | 0.11 |
| Versilia-Chianti | 916 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.96 | 0.14 | 0.02 | C | 0.04 |
| Rimini-Ancona | 917 | 6.14 | 0.12 | 6.14 | -1.04 | 0.12 | 0.43 | A | 0.12 |
| Medio-Marchigiana/Abruzz. | 918 | 6.37 | 0.14 | 6.37 | -1.10 | 0.14 | 0.37 | A | 0.14 |
| Appennino Umbro | 919 | 6.37 | 0.25 | 6.37 | -1.22 | 0.12 | 0.26 | B | 0.26 |
| Val di Chiana-Ciociaria | 920 | 5.68 | 0.28 | 6.14 | -1.96 | 0.14 | 0.06 | A | 0.06 |
| Etruria | 921 | 5.91 | 0.14 | 6.14 | -2.00 | 0.14 | 0.05 | A | 0.05 |
| Colli Albani | 922 | 5.45 | 0.42 | 5.45 | -2.00 | 0.21 | 0.37 | B | 0.37 |
| Appennino Abruzzese | 923 | 7.06 | 0.14 | 7.06 | -1.05 | 0.14 | 0.25 | A | 0.14 |
| Molise-Gargano | 924 | 6.83 | 0.17 | 6.83 | -1.04 | 0.17 | 0.13 | A | 0.13 |
| Ofanto | 925 | 6.83 | 0.17 | 6.83 | -0.67 | 0.17 | 0.28 | A | 0.17 |
| Basento | 926 | 5.91 | 0.21 | 6.14 | -1.28 | 0.21 | 0.10 | A | 0.10 |
| Sannio-Irpinia -Basilicata | 927 | 7.06 | 0.33 | 7.06 | -0.74 | 0.17 | 0.43 | B | 0.43 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | 5.91 | 0.21 | 5.91 | -1.04 | 0.21 | 0.35 | A | 0.21 |
| Calabria Tirrenica | 929 | 7.29 | 0.17 | 7.29 | -0.82 | 0.17 | 0.33 | A | 0.17 |
| Calabria Ionica | 930 | 6.60 | 0.17 | 6.60 | -0.98 | 0.17 | 0.23 | A | 0.17 |
| Canale d'Otranto | 931 | 6.83 | 0.21 | 6.83 | -0.63 | 0.21 | 0.22 | A | 0.21 |
| Eolie-Patti | 932 | 6.14 | 0.21 | 6.14 | -1.21 | 0.21 | 0.25 | A | 0.21 |
| Sicilia settentrionale | 933 | 6.14 | 0.21 | 6.14 | -1.39 | 0.21 | 0.20 | A | 0.20 |
| Belice | 934 | 6.14 | 0.21 | 6.14 | -0.96 | 0.21 | 0.20 | A | 0.20 |
| Iblei | 935 | 7.29 | 0.12 | 7.29 | -0.72 | 0.12 | 0.13 | A | 0.12 |
| Etna | 936 | 5.45 | 0.33 | 5.45 | -1.63 | 0.33 | 0.57 | A | 0.33 |

Tabella 7. Tassi riferiti all'insieme Mmax1 nel caso AR (col.4); valori di b adottati (col.6); tassi riferiti a Mmax2 ottenuti da CO-04.2 (col.7) e da GR (col.8); decisioni (col.9) e tassi adottati (col.10).

- A: il tasso scelto è il valore minore tra quello calcolato da completezza (2002 - anno di completezza/100) e quello calcolato da GR;
- B: il tasso scelto è il valore fornito dalla GR perché, a parità di MwMax, il tasso calcolato da completezza è minore del tasso AR;
- C: il tasso è imposto pari a 0.04 per garantire al terremoto di MwMax un periodo di ricorrenza non superiore a 2500 anni.

c) *valutazioni*. Utilizzando i tassi determinati come descritto più sopra si possono ottenere le distribuzioni analoghe a quelle di fig.28. Le figg.42 e 43, riferite agli insiemi di intervalli di completezza CO-04.2 e CO-04.4, mettono a confronto in forma cumulativa CPTI2 con le distribuzioni di eventi virtuali in 1000 anni stimate dai tassi di sismicità AR (con Mmax1), GR1 e GR2 (con Mmax2).

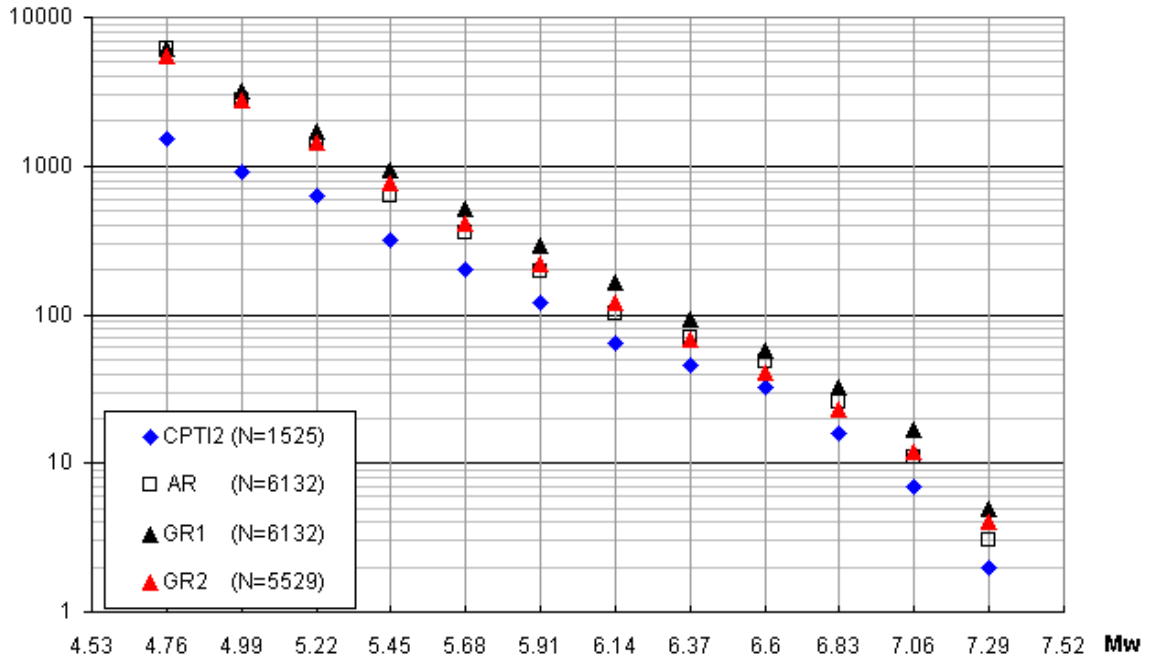


Figura 42. Numero cumulativo di eventi in CPTI2 a confronto con il numero cumulativo dei eventi virtuali, stimato dai tassi di sismicità ottenuti dagli intervalli di completezza CO-04.2 ("storici").

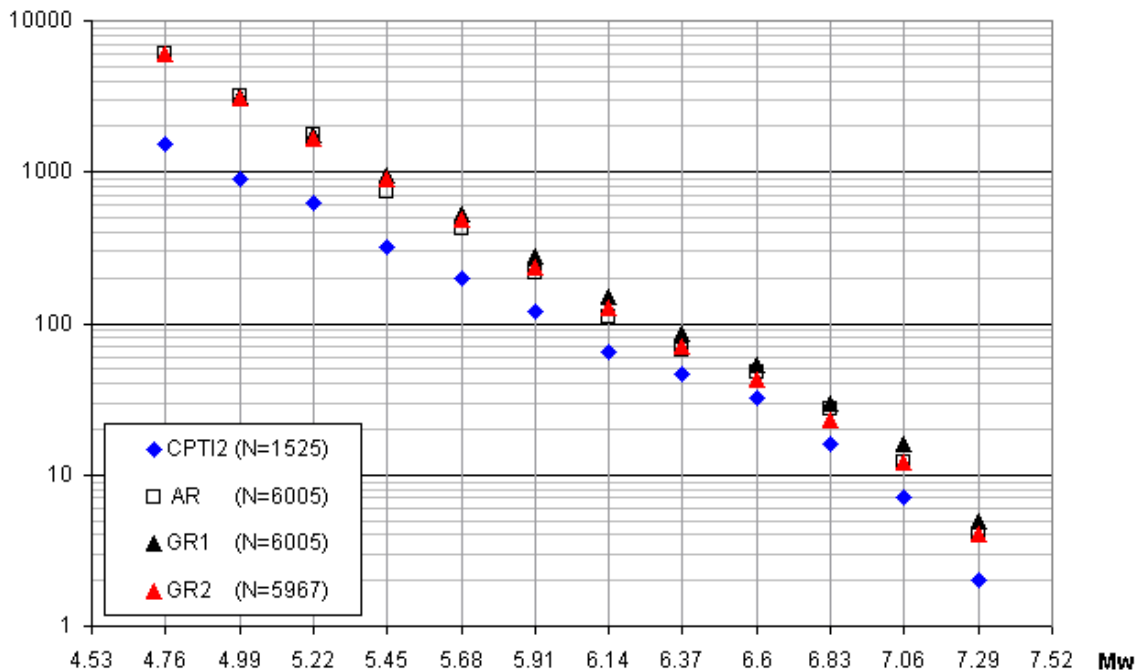


Figura 43. Numero cumulativo di eventi in CPTI2 a confronto con il numero cumulativo dei eventi virtuali, stimato dai tassi di sismicità ottenuti dagli intervalli di completezza CO-04.4 ("statistico").

Le differenze fra numero totale di terremoti in CPTI2 e numero totale di terremoti virtuali stimato a partire dai tassi di sismicità sono riassunte nelle 4 colonne di destra:

| | CPTI2 (ZS) | CO- 04.2 | CO- 04.4 | CO- 04.2 | CO- 04.4 |
|-----------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | AR | AR | GR | GR |
| Mw ≥ 5.91 | 121 | 74 | 95 | 149 | 154 |
| Mw ≥ 6.14 | 64 | 38 | 47 | 85 | 88 |

Va sottolineato che in alcuni casi tali differenze eccedono addirittura il numero di terremoti di CPTI2 nella relativa classe di Mw.

Poiché ai valori di Mw considerati corrispondono eventi distruttivi, capaci cioè di determinare un impatto notevole e di lasciare tracce persistenti sul territorio e nella relativa memoria storica, le differenze esposte appaiono elevate, anche se inferiori a quelli riscontrati per le citate, precedenti valutazioni di pericolosità. Si deve ritenere pertanto che gli insiemi di intervalli di completezza utilizzati si collochino entrambi sul versante cautelativo dei dati di ingresso.

Le distribuzioni nelle ZS di tali differenze sono presentate in figg.44, 45, 46, 47. Data la somiglianza degli andamenti nelle quattro distribuzioni presentate, si ritiene di poter concludere che per le ZS 905 (Friuli-Veneto or.), 923 (Appennino abruzzese), 927 (Sannio-Irpinia-Basilicata), 929 (Calabria Tirrenica) e 935 (Iblei) le assunzioni adottate vanno considerate particolarmente cautelative.

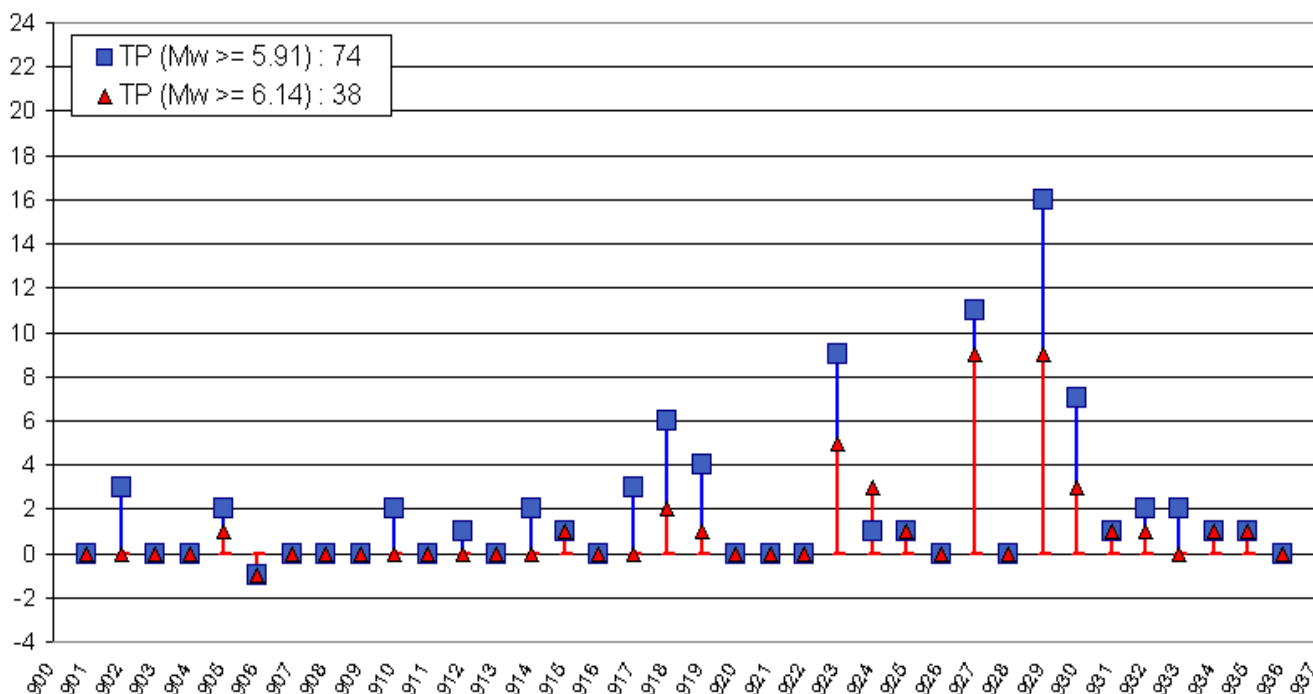


Figura 44. Distribuzione nelle ZS, per due classi di Mw, delle differenze fra numero di eventi in CPTI2 e numero di eventi virtuali stimato dai tassi (CO-04.2; tassi AR).

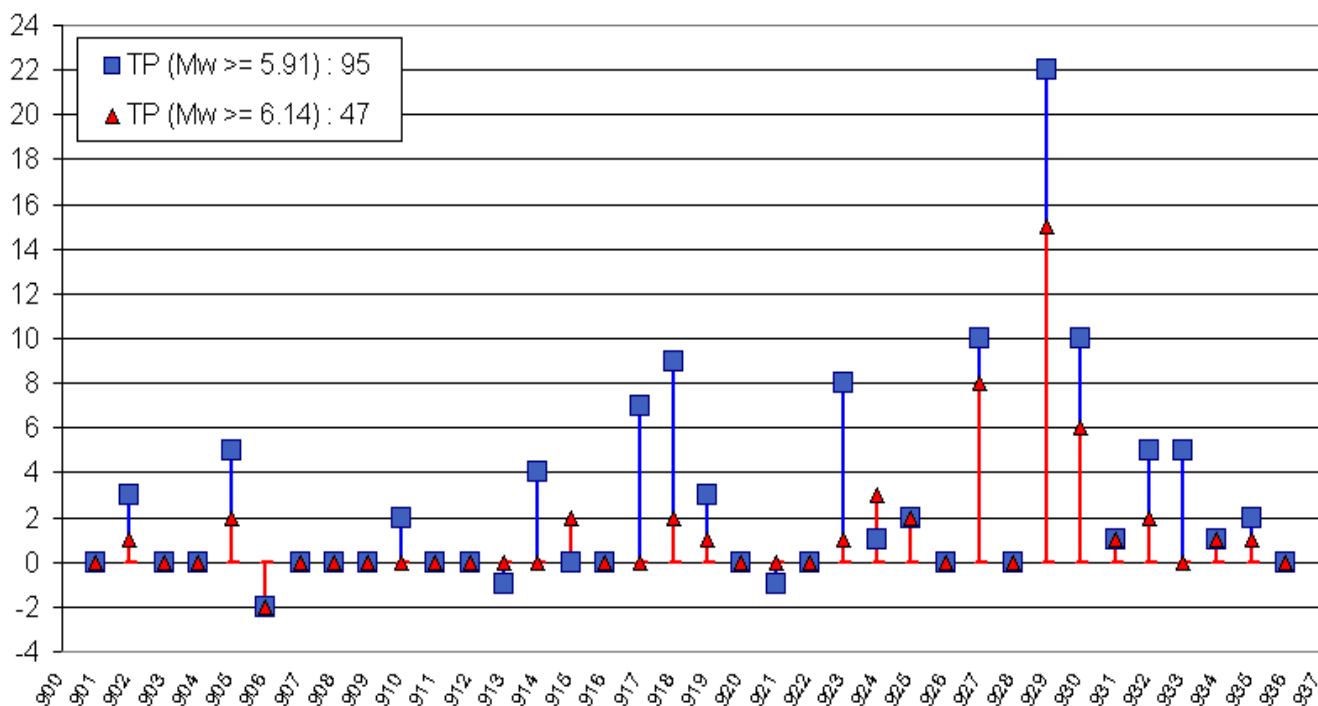


Figura 45. Distribuzione nelle ZS, per due classi di Mw, delle differenze fra numero di eventi in CPTI2 e numero di eventi virtuali stimato dai tassi (CO-04.4; tassi AR).

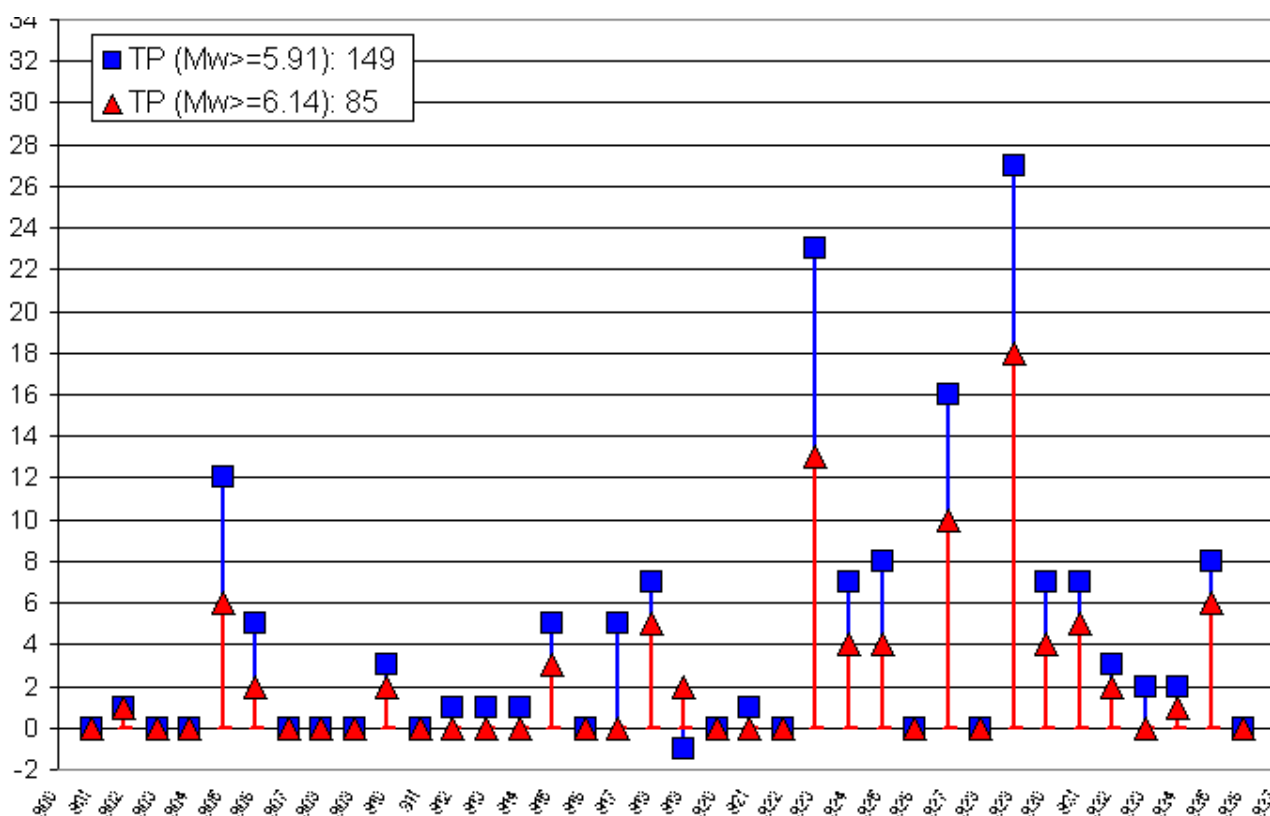


Figura 46. Distribuzione nelle ZS, per due classi di Mw, delle differenze fra numero di eventi in CPTI2 e numero di eventi virtuali stimato dai tassi (CO-04.2; tassi GR).

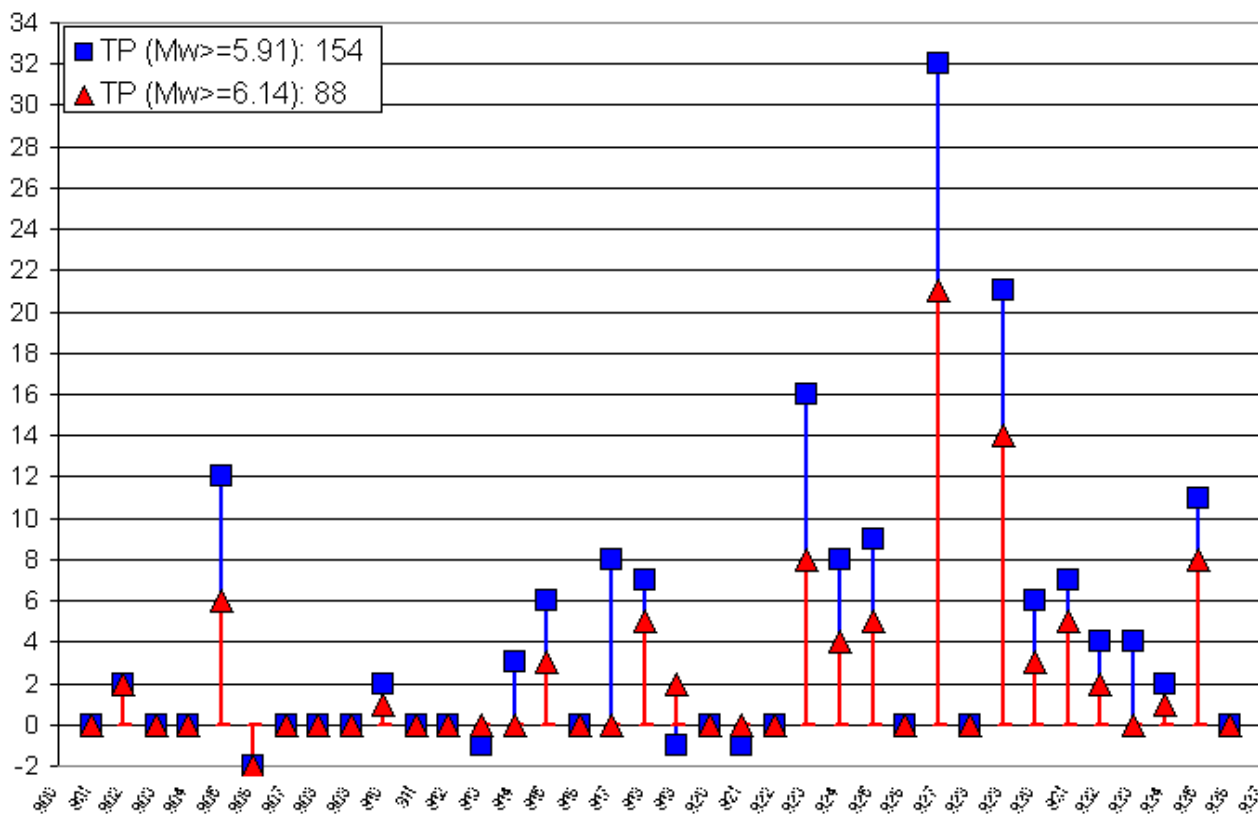


Figura 47. Distribuzione nelle ZS, per due classi di M_w , delle differenze fra numero di eventi in CPT12 e numero di eventi virtuali stimato dai tassi (CO-04.4; tassi GR).

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

Le distribuzioni di amax con probabilità di superamento del 10% in 50 anni sono state valutate con il codice SEISRISK III, utilizzando con i dati di ingresso, le procedure e le scelte illustrate nei paragrafi precedenti.

Come concordato con i revisori, alcune alternative di carattere prevalentemente epistemico sono state esplorate con un approccio ad albero logico. In particolare sono state esplorate alternative relative a:

- intervalli di completezza del catalogo;
- modalità di determinazione di Mmax;
- modalità di calcolo dei tassi di sismicità;
- relazioni di attenuazione del moto del suolo.

I rami dell'albero logico e i pesi adottati sono presentati in fig.48. I pesi sono stati applicati a ciascun ramo nel suo insieme; non sono state adottate pesature regionalizzate.

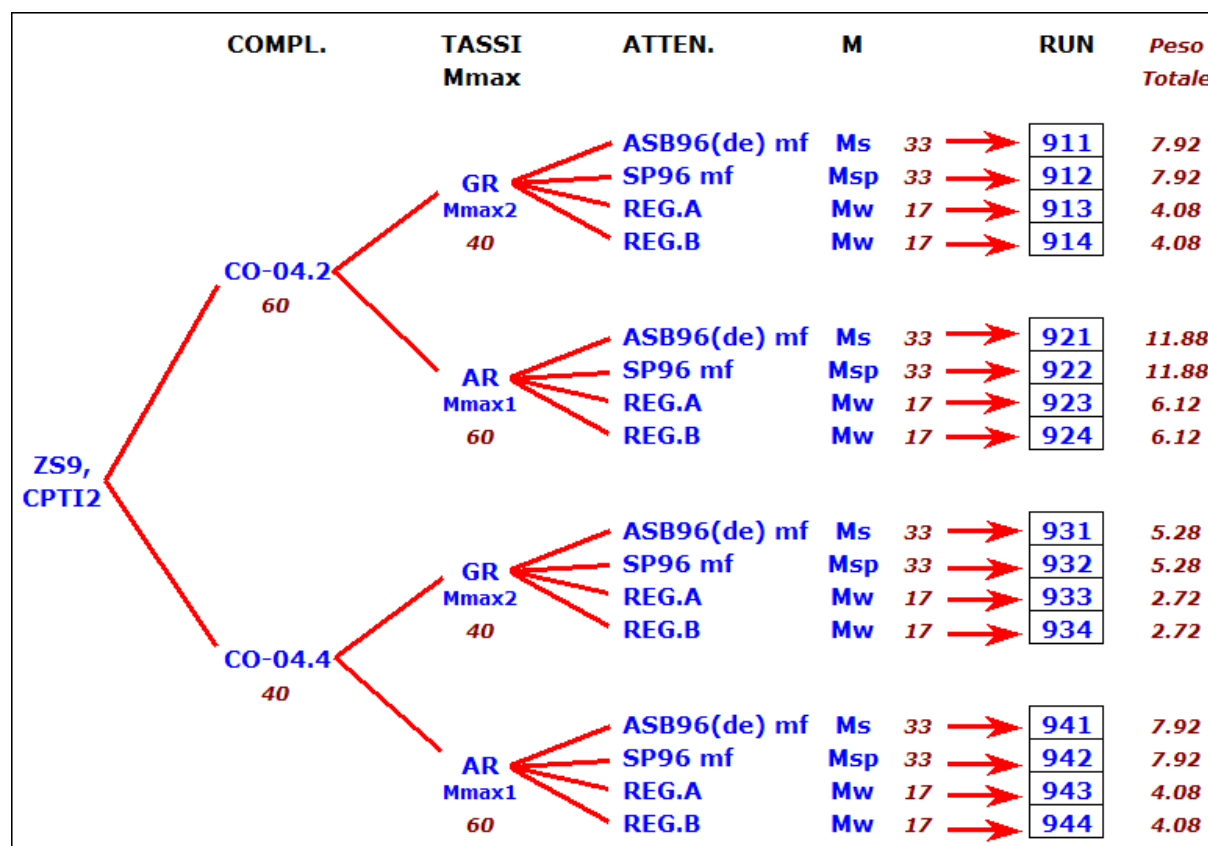


Figura 48. Albero logico e relativi pesi utilizzati per la valutazione di amax.

In particolare, in relazione a quanto illustrato nel paragrafo precedente è stato ritenuto di:

- attribuire un peso leggermente superiore agli intervalli di completezza "storici" CO-04.1, in considerazione del fatto che entrambi gli insiemi di intervalli possono essere considerati cautelativi;

- ii) utilizzare in alternativa i due insiemi di M_{max} (M_{max1} e M_{max2}), anch'essi entrambi cautelativi;
- iii) attribuire un peso leggermente superiore ai tassi AR e agli insiemi M_{max1} ;
- iv) utilizzare per le relazioni di attenuazione la distribuzione di pesi concordata con i revisori.

In aggiunta è stato convenuto, dopo aver consultato i revisori, di utilizzare i coefficienti di Bommer et al. (2003) per modulare le relazioni di attenuazione ASB96 e SP96 solo per eventi con $M \geq 6.0$. Questa decisione segue dal fatto che, essendo molte ZS abbastanza estese, il meccanismo di fagliazione prevalente assegnato alle ZS (paragrafo 4) è ritenuto riferibile con sicurezza solo agli eventi maggiori.

Come previsto dall'Ordinanza (All.1, 2d) le valutazioni di a_{max} 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 $0.025g$. Con riferimento ai rami dall'albero logico sono state eseguite 16 valutazioni indipendenti; di queste mappe sono stati in seguito calcolati - utilizzando i pesi previsti: i) la distribuzione della mediana (fig.50), che rappresenta pertanto la mappa conclusiva; ii) la distribuzione dell'84mo percentile (fig.51). Per valutare adeguatamente le incertezze legate alla valutazione vengono presentate anche la mappa della differenza tra 84mo percentile e mediana (fig.52) e la stessa differenza rapportata al valore della mediana (fig.53).

I valori di a_{max} variano nella mappa mediana da un minimo di $0.03g$ a un massimo di circa $0.3g$, mentre raggiungono il valore di 0.337 nella distribuzione dell'84mo percentile.

La differenza fra i valori dell'84mo percentile e della mediana raggiunge in alcune aree $0.063g$. Le aree in cui le differenze sono più rilevanti sono Friuli, Etna, Canale d'Otranto e area iblea (valori intorno a $0.06g$), seguite da Gargano e Ofanto ($0.045g$), Garfagnana, Costa Adriatica e Colli Albani ($0.035g$); in tutte le altre aree la differenza non supera una classe di a_{max} ($0.025g$).

Per quanto riguarda le aree non comprese nelle ZS, anche se in tali aree è possibile che si verificano eventi con $M_w 5.0$, sia pure con probabilità molto bassa, si ritiene che i valori di a_{max} ottenuti dal contributo delle ZS contigue siano in prima approssimazione sufficientemente rappresentativi della pericolosità sismica. Si deve peraltro osservare che il generale rialzo dei valori di a_{max} rispetto alla versione di novembre 2003 ha fatto sì che la classe minima di a_{max} (<0.025) sia ora vuota.

A titolo sperimentale si è provato a calcolare l'impatto sulla mappa conclusiva di un terremoto di $M_w 5.0$ con un periodo di ricorrenza di 500 anni localizzato fuori dalle ZS (es. l'evento di Merano del 2002), associandolo ad una sorgente di 5×2 km (dimensioni compatibili con la predetta magnitudo). La sorgente è stata posta in corrispondenza dell'epicentro del terremoto di Merano, in un'area che nella mappa finale (fig.50) raggiunge valori intorno a $0.04g$. Il contributo di questa sorgente è risultato trascurabile, in quanto influisce sul risultato finale per meno di $0.001g$.

Fanno eccezione a quanto sopra le isole Pelagie, Eolie, Ponziane, Pantelleria, Ustica e Sardegna, per le quali occorrerà procedere eseguire valutazioni di a_{max} con un approccio ad hoc.

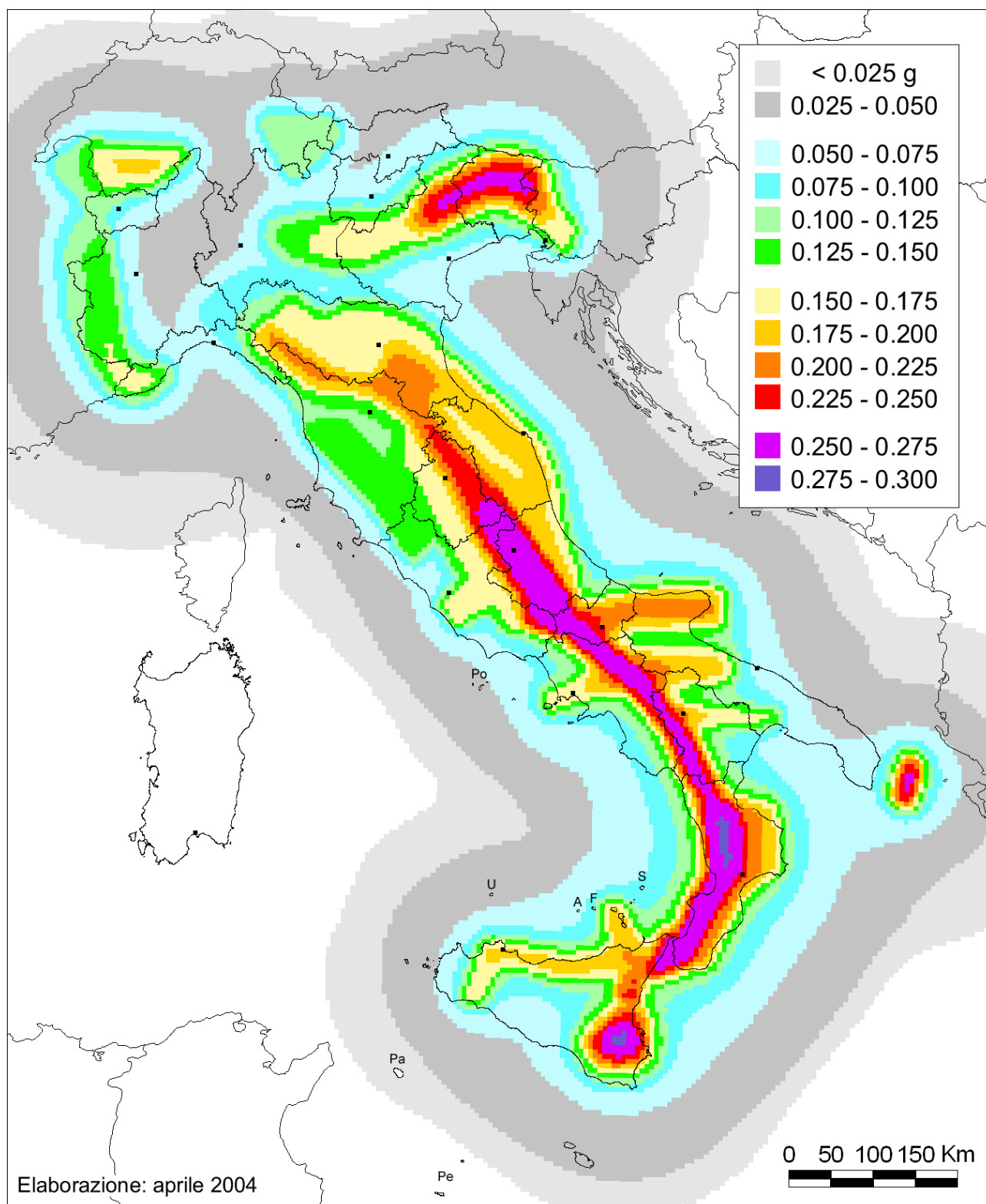


Figura 50. Mappa conclusiva di pericolosità sismica (a_{max} con probabilità di superamento del 10% in 50 anni), ottenuta come mediana delle 16 mappe corrispondenti ai 16 rami dell'albero logico, con i pesi specificati in fig.48 (le lettere individuano le piccole isole per le quali, come per la Sardegna, è necessaria una valutazione specifica).

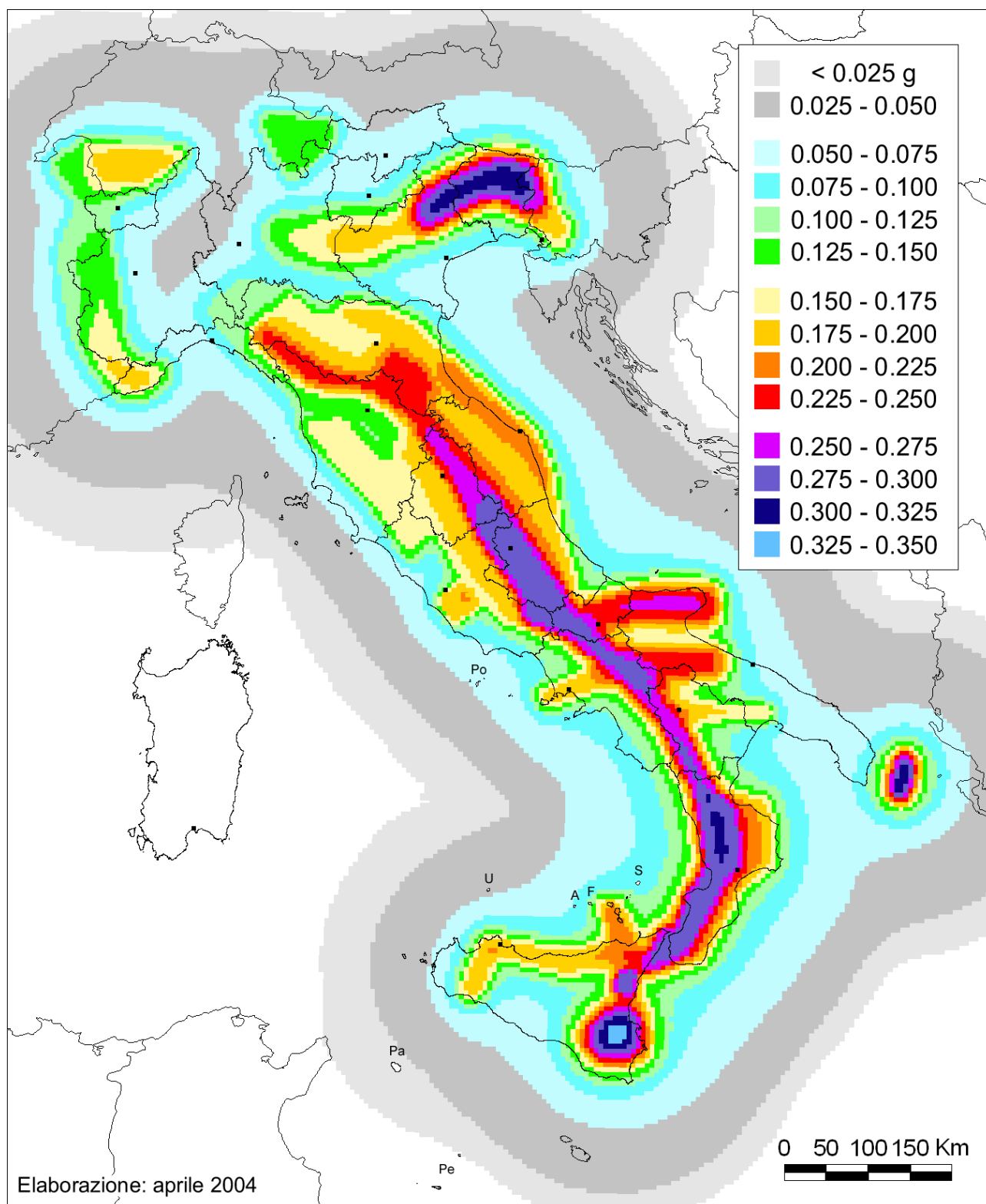


Figura 51. Mappa dell'84mo percentile (amax con probabilità di superamento del 10% in 50 anni), ottenuta dalle 16 mappe corrispondenti ai 16 rami dell'albero logico, con i pesi specificati in fig.48 (le lettere individuano le piccole isole per le quali, come per la Sardegna, è necessaria una valutazione specifica).

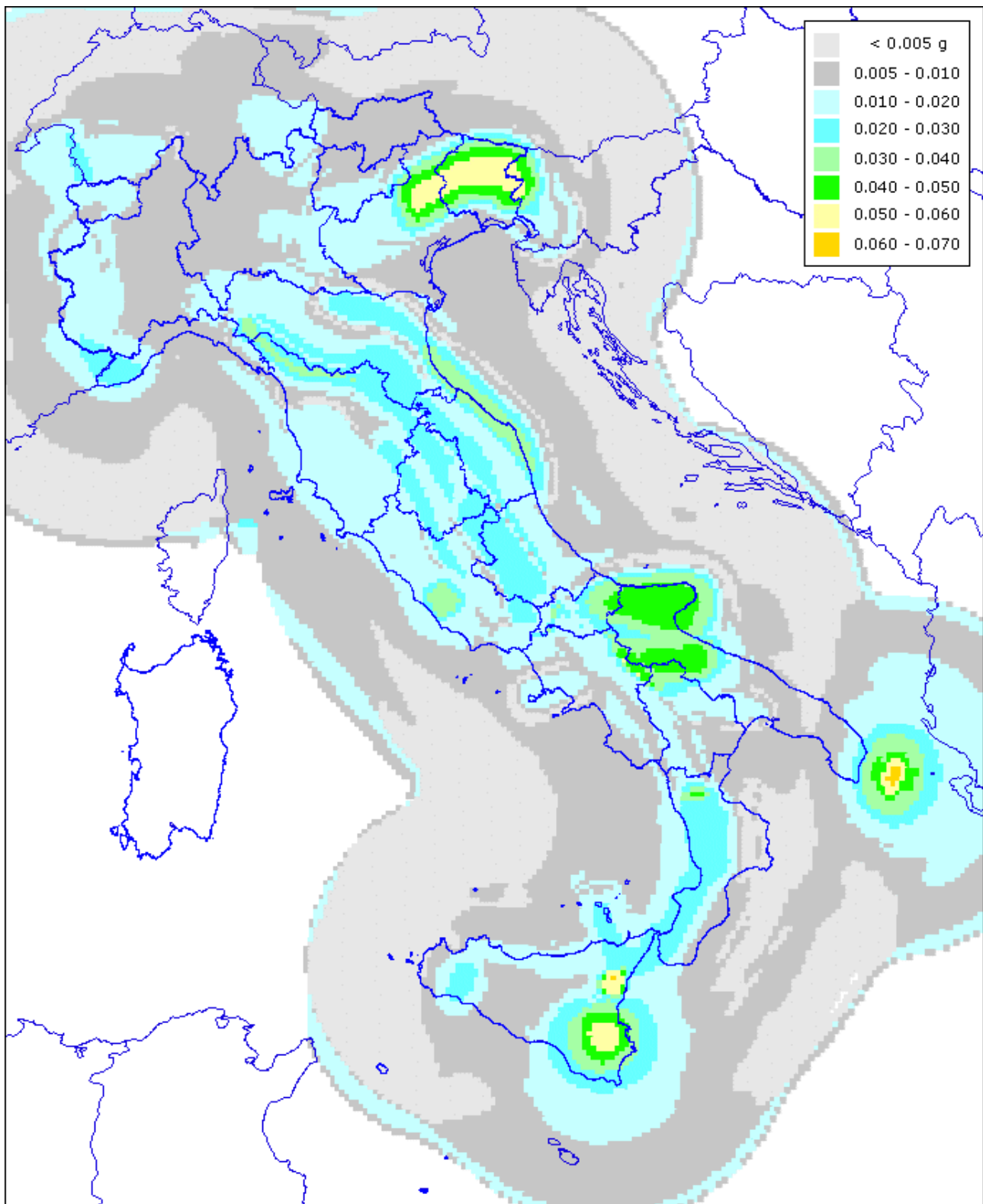


Figura 52. Distribuzione delle differenze tra la mappa dell'84mo percentile (fig.51) e la mappa della mediana (fig. 50).

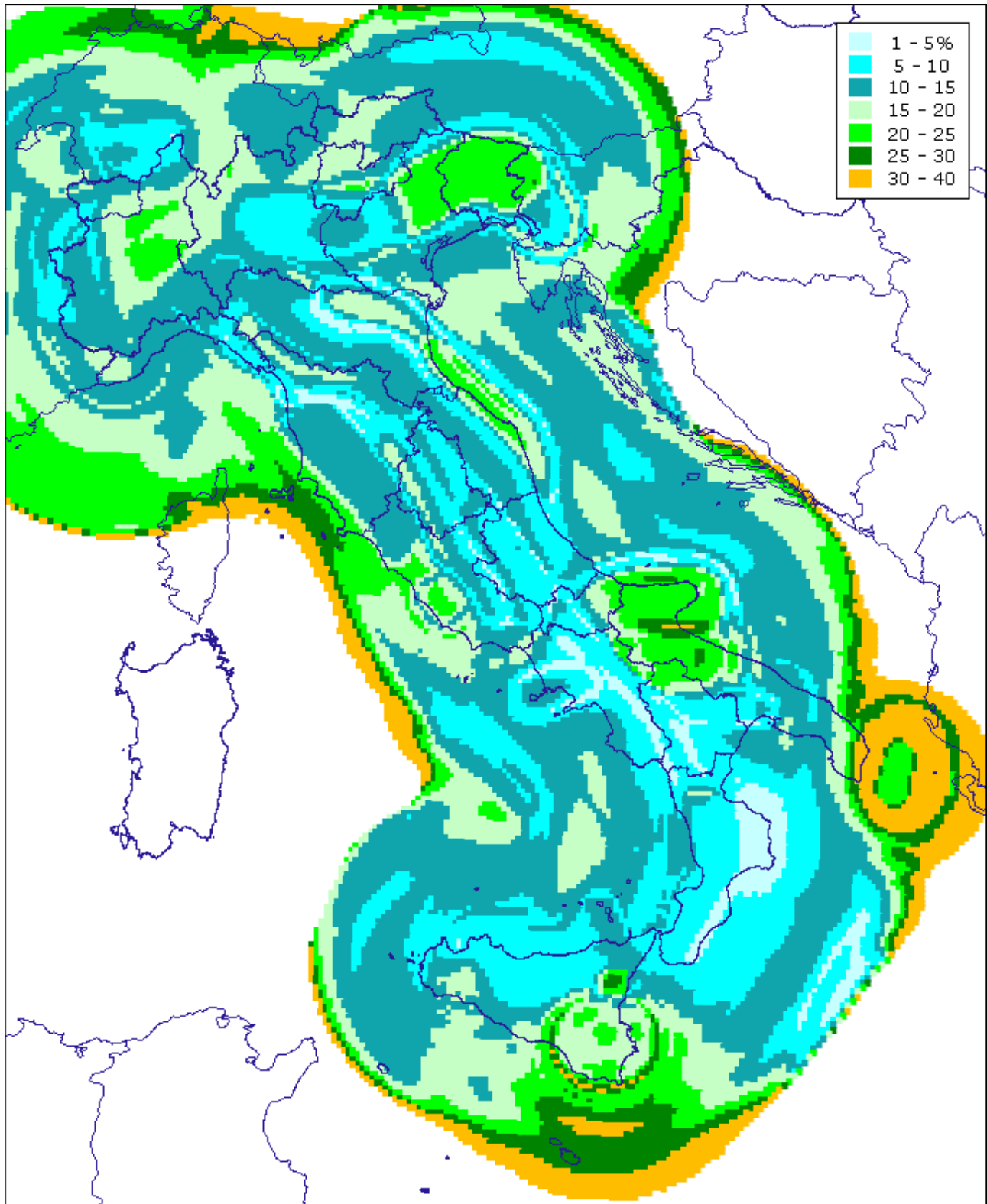


Figura 53. Distribuzione delle differenze tra la mappa dell'84mo percentile (fig.51) e la mappa della mediana (fig.50), rapportate in percentuale al valore della mediana.

Allo scopo di analizzare i contributi dei vari rami dell'albero logico alla mappa finale, vengono di seguito proposte (figg.54, 55 e 56) alcune mappe derivanti da varie combinazioni di rami, per ognuna delle quali sono stati rispettati i pesi relativi ai singoli rami presi in considerazione.

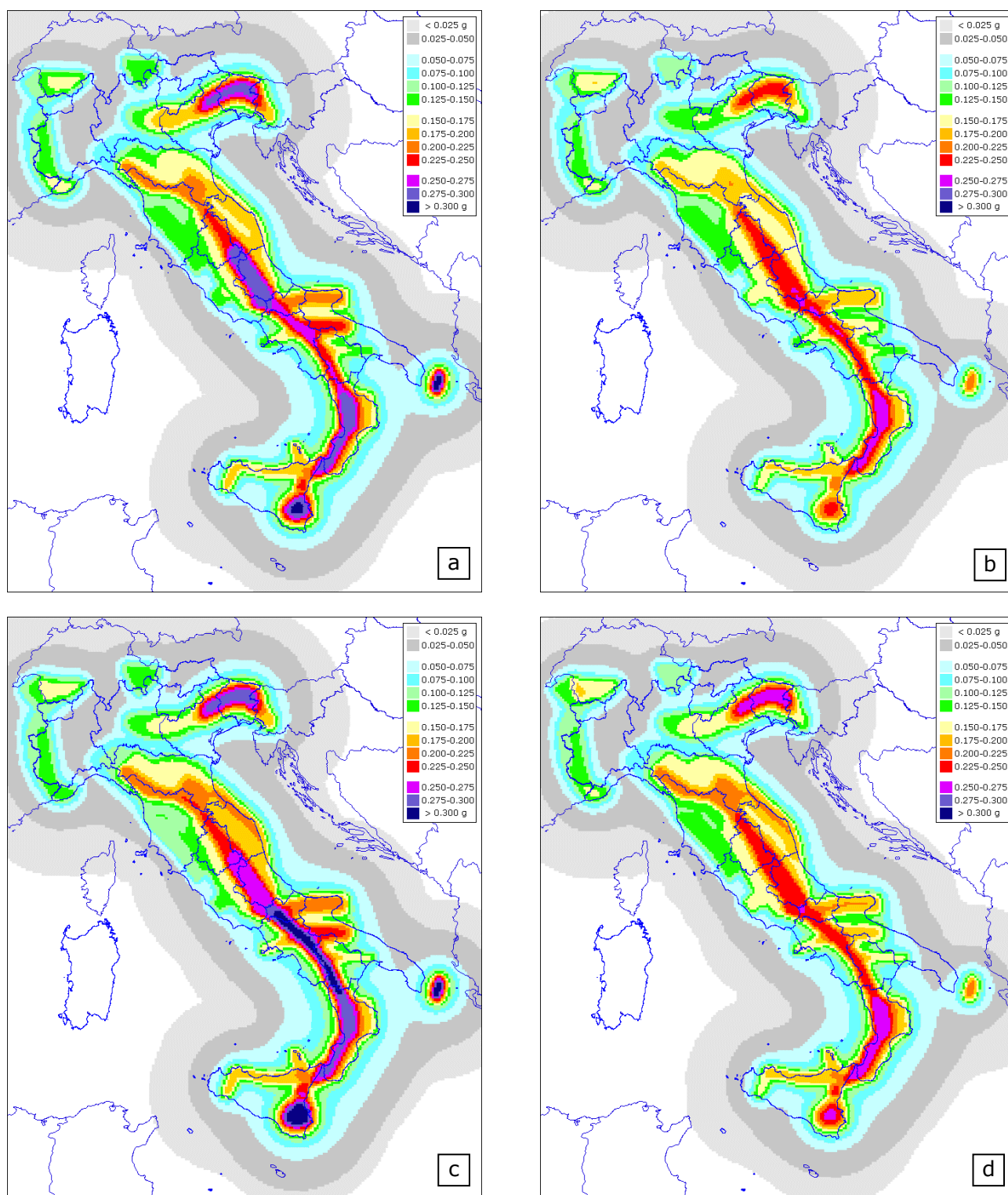


Figura 54. a) mappa basata sui soli 4 rami con completezza "storica" e tassi GR; b) mappa basata sui soli 4 rami con completezza "storica" e tassi AR; c) mappa basata sui soli 4 rami con completezza "statistica" e tassi GR; d) mappa basata sui soli 4 rami con completezza "statistica" e tassi AR.

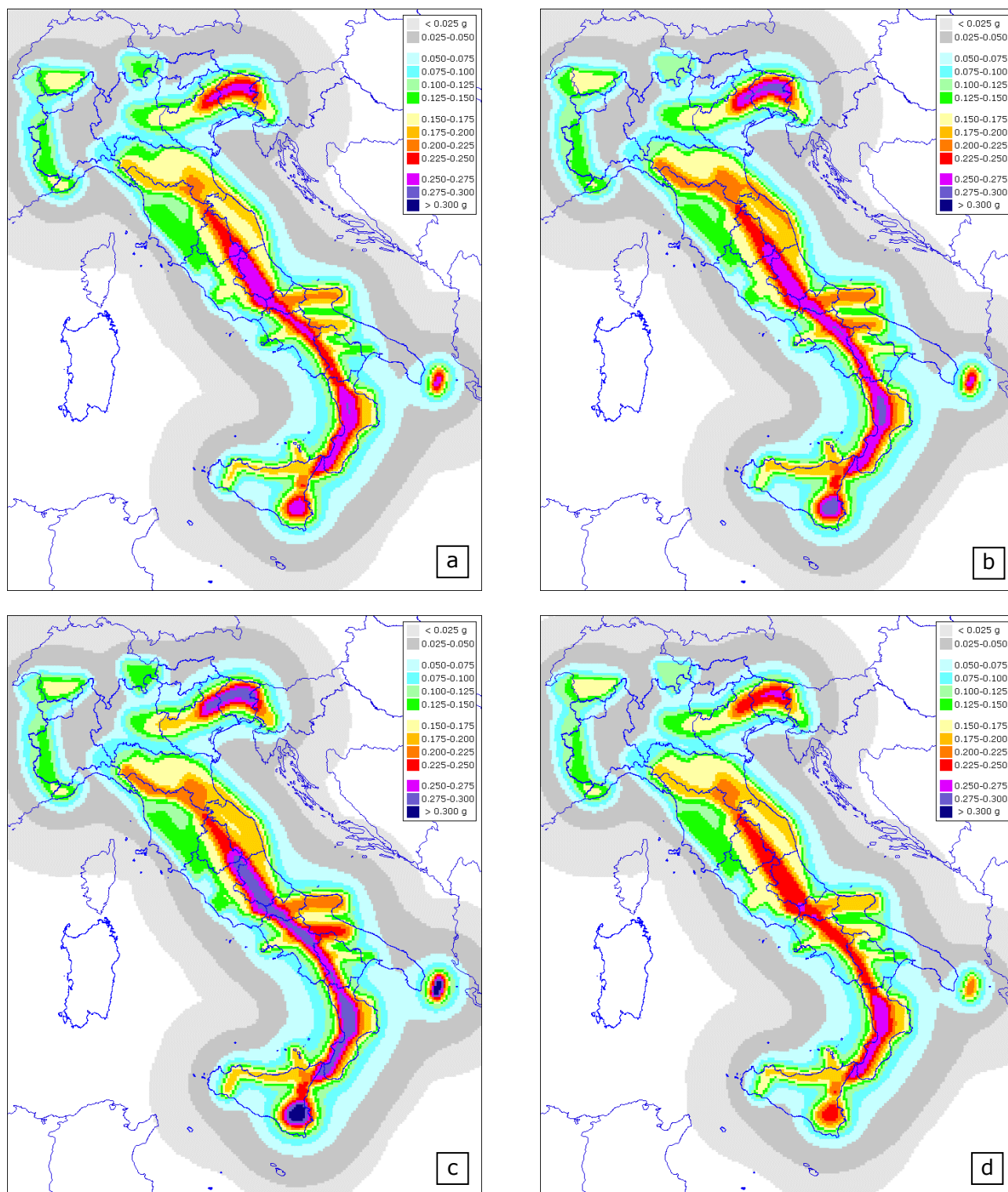


Figura 55. a) mappa basata sui soli 8 rami con completezza "storica"; b) mappa basata sui soli 8 rami con completezza "statistica"; c) mappa basata sui soli 8 rami con tassi GR; d) mappa basata sui soli 8 rami con tassi AR.

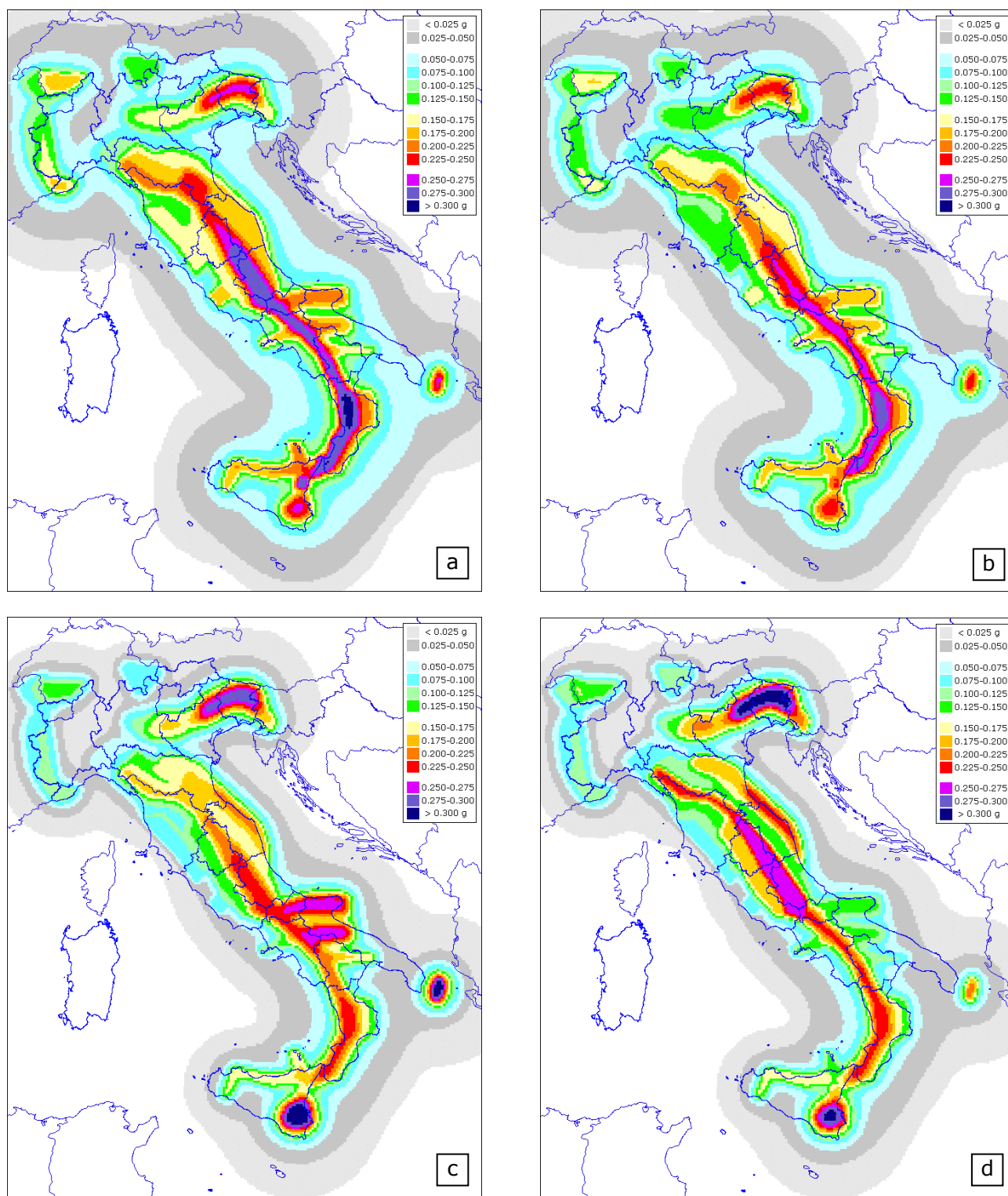


Figura 56. a) mappa basata sui soli 4 rami con attenuazione ASB96; b) mappa basata sui soli 4 rami con attenuazione SP96; c) mappa basata sui soli 4 rami con attenuazione Reg.A; d) mappa basata sui soli 4 rami con attenuazione Reg.B.

Quale ulteriore elemento di valutazione si propone la seguente tabella, nella quale per ogni ramo (la cui numerazione è riportata nella figura 48 associata agli elementi di ingresso che lo contraddistinguono) è stata eseguita la somma dei valori di a_{max} calcolati su tutti i nodi della griglia regolare che ricadono all'interno delle 36 ZS. Lo stesso procedimento è stato poi applicato alla mappa conclusiva di fig. 50.

Questo parametro rappresenta un'indicazione molto grossolana del livello complessivo di pericolosità che ciascun ramo propone. E' possibile così valutare in prima approssimazione, considerando i pesi adottati, quali sono i rami che contribuiscono maggiormente al risultato finale e quindi interpretare la mappa stessa.

| ramo | Σa_{max} (g) |
|---------------------|----------------------|
| 911 | 1199.25 |
| 912 | 1102.64 |
| 913 | 1050.29 |
| 914 | 1043.65 |
| 921 | 1123.35 |
| 922 | 1018.95 |
| 923 | 967.00 |
| 924 | 978.22 |
| 931 | 1227.92 |
| 932 | 1132.68 |
| 933 | 1073.88 |
| 934 | 1069.83 |
| 941 | 1171.59 |
| 942 | 1074.11 |
| 943 | 1020.22 |
| 944 | 1031.25 |
| Mappa concl. | 1096.42 |

Tabella 8. Somma dei valori di a_{max} per tutti i nodi che rientrano all'interno delle ZS, per ciascuno dei 16 rami e per la mappa conclusiva.

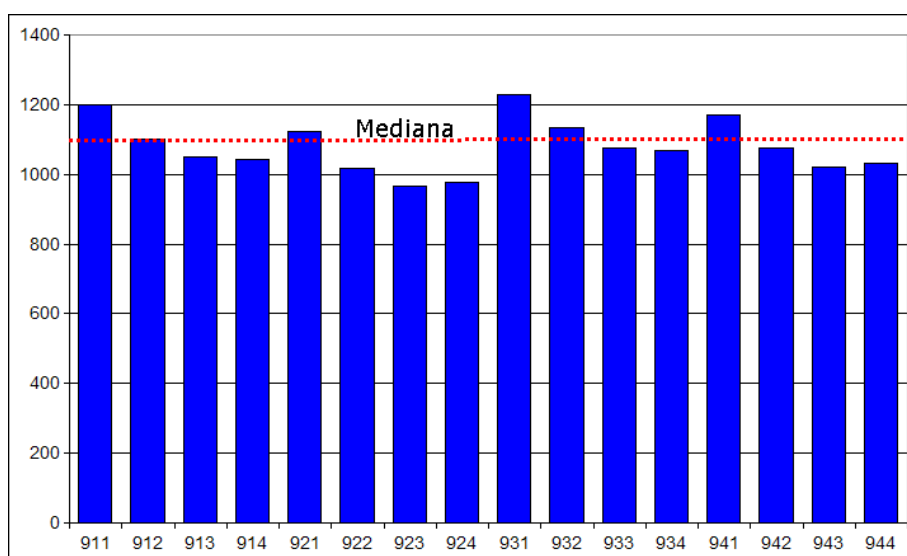


Figura 57. Rappresentazione dei valori di tabella 8 confrontati con la somma dei valori di a_{max} per la mappa conclusiva (mediana).

8. Confronto con altri elaborati

Allo scopo di verificare le caratteristiche della mappa conclusiva sono stati effettuati alcuni confronti.

- a) *elaborati che hanno utilizzato metodi analoghi a quelli adottati in questa ricerca.* Sono stati considerati i lavori di Slejko et al. (1998), Slejko et al. (1999), Albarello et al. (2000), Romeo e Pugliese (2000), Romeo et al. (2000). I confronti suggeriscono le seguenti considerazioni:

Livelli massimi di amax. Le mappe in questione propongono in generale livelli massimi di amax compresi fra 0.32-0.40g, quindi più elevati rispetto a quelli proposti dalla mappa conclusiva di questa ricerca, che superano di poco 0.275g. I valori proposti da Slejko et al. (1998), tuttavia, sono stati ottenuti con la relazione di attenuazione di Ambraseys (1995) riferita, come ricordato, a un suolo generico; pertanto, ai fini di questa analisi si ritengono più significativi i valori di Slejko et al. (1999), i cui dati di ingresso sono stati in gran parte utilizzati anche da Jiménez et al., 2001. Nelle tre mappe il valore di 0.32g viene superato in porzioni di territorio molto ridotte (Arco calabro per le tre mappe; Appennino campano in due e Friuli in una), in analogia a quanto avviene per la mappa conclusiva, dove il valore di 0.27g viene superato solo nell'Arco calabro, negli Iblei e in limitate porzioni dell'Appennino meridionale.

La differenza principale fra i livelli massimi va ricercata principalmente in tre fattori, esposti in ordine di importanza: i) impiego di determinazioni di completezza tendenzialmente meno cautelative di quelle usate in precedenza; ii) impiego del catalogo CPTI, i cui valori di M_s sono sistematicamente inferiori di circa 0.2 a quelli del catalogo NT4.1 (Camassi e Stucchi, 1997) utilizzato dalle predette elaborazioni; iii) adozione di ZS estese, con tendenziale eliminazione di ZS a superficie molto ridotta nelle aree a sismicità più elevata.

Livelli medi e minimi di amax. Le maggiori differenze fra la mappa conclusiva (fig.50) e quelle citate si riscontrano nelle distribuzioni dei livelli medi (0.075-0.250g per la mappa finale, 0.10-0.30 per le altre). Al di là dello scarto dei valori dovuto alle ragioni esposte in precedenza, in questi livelli appare evidente l'impatto della nuova zonazione ZS9, che utilizza ZS più estese, e delle relazioni di attenuazione regionali. Nella mappa conclusiva (fig.50) sono da segnalare in particolare: l'assenza di picchi di amax in aree ristrette; i valori elevati proposti per la Sicilia orientale e la continuità sostanziale proposta per la fascia appenninica.

Per quanto riguarda i livelli minimi non si rilevano differenze sistematiche.

- b) *Metodi a sismicità diffusa.* Una valutazione della pericolosità sismica con l'approccio a "sismicità diffusa" (smoothed seismicity) di Frankel (1995) è stata realizzata nell'ambito di questa iniziativa con lo scopo di offrire un elemento di confronto prodotto con una metodologia indipendente. Questo approccio usa direttamente la sismicità come sorgente puntiforme, senza definire zone sismogenetiche. In particolare calcola il numero di terremoti con $M_w \geq 4.8$ nella cella spaziale i -esima di una griglia regolare di spaziatura 0.1 gradi in latitudine e longitudine. Per ogni cella è stato operato un filtraggio (smoothing) spaziale gaussiano con distanza di correlazione di 25 km (Console e Murru, 2001).

Allo scopo di garantire che il confronto avvenisse soltanto fra gli approcci, si è avuto cura di utilizzare il più possibile dati di ingresso coerenti (catalogo, intervalli di completezza, leggi di attenuazione, ecc.).

Per semplicità, il confronto è stato limitato alle elaborazioni che utilizzano l'insieme "REG.A" (paragrafo 5; relazioni di attenuazione regionali con distribuzione di profondità uniforme e regionalizzazione di Akinci et al., 2004).

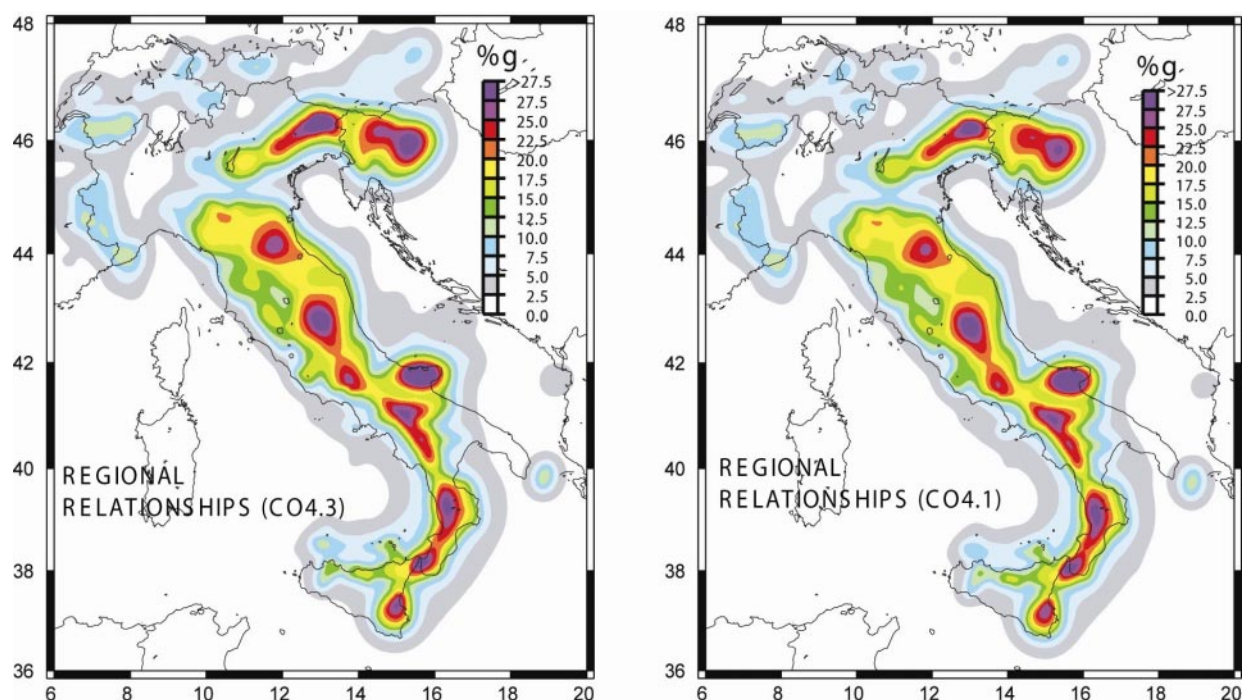


Figura 58. Mappe di amax prodotte con il metodo di Frankel et al. (1995), utilizzando due insiemi di intervalli di completezza simili a quelli descritti al par.6, il catalogo CPT12 e l'insieme di relazioni di attenuazione, profondità e regionalizzazione REG.A (par.5).

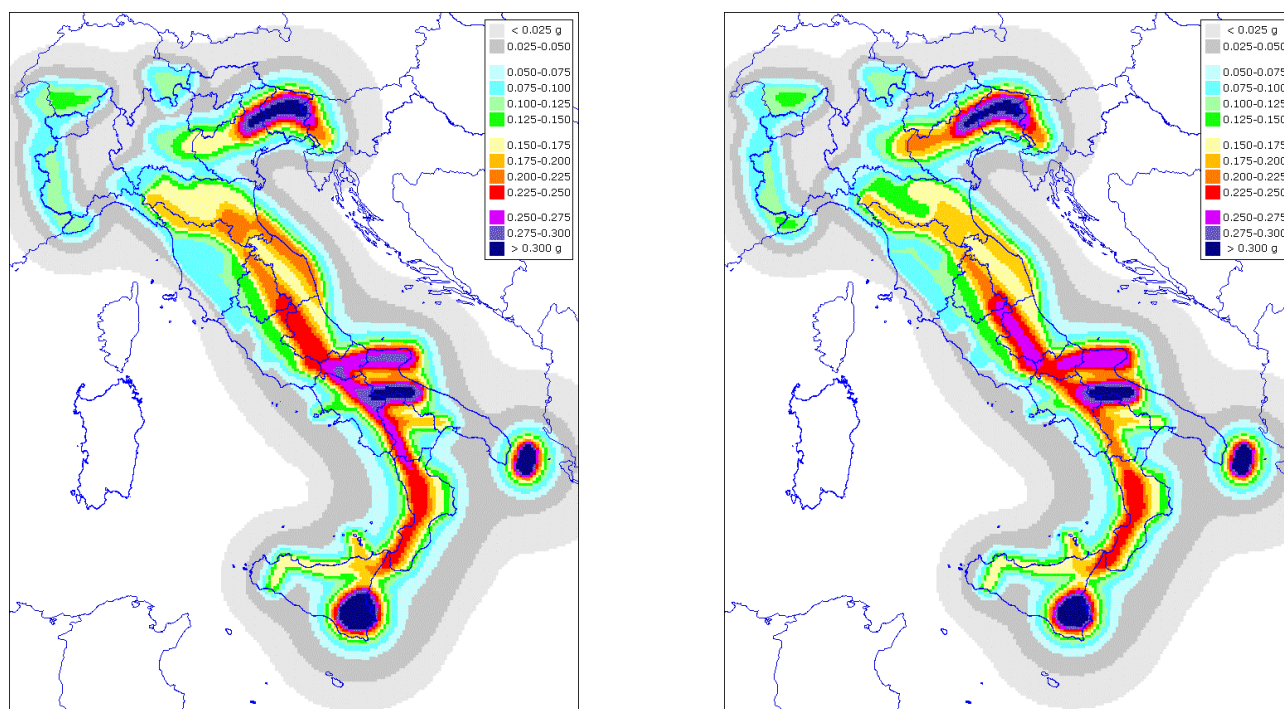


Figura 59. Mappe di amax corrispondenti ai rami 933 e 913 (tassi GR, insiemi "storico" e "statistico" di intervalli di completezza, relazioni di attenuazione, profondità e regionalizzazione REG.A).

I livelli di a_{max} ottenuti con questo approccio presentano i valori più alti di a_{max} ($a_{max} > 0.25g$) in Friuli, nel Forlivese, in Abruzzo, nel Gargano, nell'Appennino Campano, nell'Arco Calabro e negli Iblei, con differenze moderate tra le mappe ottenute con i due insiemi di intervalli di completezza.

Rispetto alle mappe che utilizzano ZS9 vi sono differenze significative in diverse aree della catena appenninica e, più in generale, nelle aree dove l'elemento predittivo più importante è costituito dalle ipotesi geologiche che hanno guidato il disegno delle ZS. Discordanze minori sembrano emergere nelle aree caratterizzate da pericolosità moderata o bassa ($a_{max} \leq 0.15g$).

- c) *Valori osservati di a_{max}* . A titolo sperimentale è stata avviata la redazione di una mappa di valori osservati di a_{max} su suolo "roccia", corrispondente al dettato dell'Ordinanza. Poichè una tale mappa non è disponibile e la raccolta dei dati è tutt'altro che semplice, nell'ambito di questa ricerca è stato possibile produrre soltanto una mappa preliminare (fig.60) e avviare alcuni approfondimenti relativi ai pochi casi in cui il valore osservato risulta superiore a quello della mappa conclusiva. E' opportuno sottolineare che tale confronto ha comunque un valore relativo, in quanto la mappa conclusiva non è da intendersi come una mappa di massimi valori di a_{max} attesi.

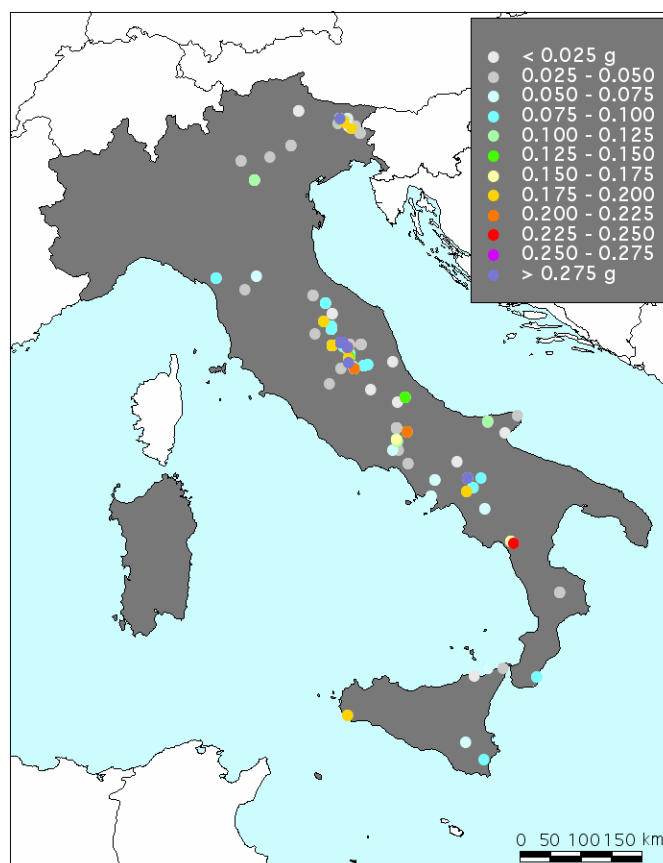


Figura 60. Distribuzione dei valori di a_{max} registrati su siti riconducibili alla categoria A, $V_s > 800$ m/s (Ordinanza, All.2 Norme tecniche, Azione sismica, 3.1).

9. Considerazioni conclusive

In via preliminare è possibile formulare qualche considerazione circa l'impatto potenziale della mappa finale:

- 1) le aree collocate in fasce cosiddette "marginali", ossia le fasce che possono cambiare di zona nell'ambito del potere discrezionale che l'Ordinanza affida alle Regioni, coprono circa il 60% della superficie totale del territorio (esclusa la Sardegna). Questo aspetto rende la mappa particolarmente flessibile e adatta agli scopi per i quali è stata redatta;
- 2) la superficie attribuibile alla quarta zona ($a_{max} < 0.050g$) risulta soltanto del 15% circa (Sardegna compresa), che può arrivare al massimo a circa il 28% con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza 0.050g-0.075g. Questo dato sottolinea, per contrasto, che almeno il 70% del territorio presenta una pericolosità sismica non trascurabile;
- 3) la superficie direttamente attribuibile alla prima zona ($a_{max} > 0.250g$) è di circa il 7%, che può arrivare a circa il 12% con il pieno utilizzo della fascia di tolleranza 0.225g-0.250g.;
- 4) circa il 60% del territorio è suddiviso fra seconda e terza zona;
- 5) le differenze introdotte dall'Ordinanza nel sistema normativo e nella relativa zonazione sconsigliano comunque di effettuare raffronti "freddi" fra la mappa qui proposta, quella proposta nel 1998 e quella attualmente in vigore.

Ringraziamenti

Gli autori vogliono esprimere il loro ringraziamento a tutti coloro che hanno collaborato alla riuscita di questa ricerca, con contributi, suggerimenti, incoraggiamenti. Un particolare ringraziamento va a quanti hanno collaborato alla prima fase della ricerca, che ha prodotto la maggior parte dei dati di base e delle idee.

L'interazione con i revisori è stata determinante per assicurare la qualità dell'elaborato. A essi va dato atto di aver compreso il difficile e vincolato percorso entro il quale questa iniziativa si è sviluppata, e di aver trovato un equilibrio costruttivo fra l'esigenza di rigore e di innovazione e il livello possibile di soddisfacimento di tali esigenze all'interno dei predetti vincoli. Un ringraziamento particolare è dovuto per la disponibilità a essere consultati spesso, praticamente on line, e per aver risposto sempre con tempestività e precisione, garantendo e stimolando scambi di alto livello.

Si ringraziano i componenti della Commissione Grandi Rischi, sia per gli apprezzamenti che per le critiche, anche severe, che sono servite da ulteriore stimolo, e gli autori dei commenti affidati al forum.

Un ringraziamento particolare va a Guido Bertolaso, Vincenzo Spaziante, Elvezio Galanti, per l'apprezzamento mostrato nei confronti di questa iniziativa, e a Gian Michele Calvi per la sua costante opera di garante dell'iniziativa.

Infine, un sincero ringraziamento ai componenti del Consiglio Direttivo e del Collegio di Istituto dell'INGV, per l'attenzione accordata a questa ricerca e, soprattutto, al Presidente dell'Istituto, Enzo Boschi, per la fiducia accordata a questo gruppo e per non aver mai fatto mancare il suo sostegno, istituzionale e personale.

10. Riferimenti bibliografici

- Akinci A., Mueller C., Malagnini L. e Lombardi A. (2004). Seismic Hazard Estimate in the Alps and Apennines (Italy) using smoothed historical seismicity and Regionalized Predictive Ground-Motion Relationships. *Boll. Geof. Teor. Appl.* (accepted).
- Albarelo D., Bosi V., Bramerini 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, Roma, 7 pp., CD-ROM, 4 allegati.
- Albarelo D., Camassi R. e 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. e Bommer J.J. (1991). Database of European strong ground-motion records. *European Earthquake Engineering*, 2, 18-37.
- 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. e Bommer J.J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earth. Eng. Struct. Dyn.*, 25, 371-400.
- Azzaro R. e Barbano M.S. (1997). Intensity-magnitude relationship for the Mt. Etna area (Sicily). *Acta Vulcanologica*, 9, 1/2, 15-21.
- Azzaro R. e Barbano M.S. (2000). Analysis of the seismicity of southeastern Sicily; a proposed tectonic interpretation. *Ann. Geofis.*, 43, 1, 171-188.
- Bender B. e Perkins D.M. (1987). SEISRISK III: a computer program for seismic hazard estimation. *U.S. Geological Survey Bulletin*, 1772, 48 pp.
- Bommer J.J., Douglas J. e Strasser F.O. (2003). Style-of-faulting in ground-motion prediction equations. *Bull. Earthq. Eng.*, 1, 171-203.
- Boncio P., Brozzetti F. e 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., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. e 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>
- Cartwright D.E. e Longuet-Higgins M.S. (1956). The statistical distribution of the maxima of a random function. *Proc. R. Soc. London*, 237, 212-232.
- Console R. e 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. e 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. 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.

- Gasparini P. (2002). Local magnitude revaluation for recent Italian earthquakes (1981-1996). *Journal of Seismology*, 6, 503-524.
- Gasparini P. e 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 Coordinamento (2003). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20.03,2003, n.3274, All.1. Rapporto Finale, INGV Milano-Roma, 30pp.
- 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.
- Joyner W.B. e Boore D.M. (1981). Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 2011-2038.
- Lavecchia G., Boncio P., Brozzetti F., Stucchi M. e 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. e Scognamiglio L. (2002). Characteristics of the Ground Motion in Northeastern Italy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 92, 6, 2186-2204.
- Malagnini L., Herrmann R.B. e 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.
- Meletti C., Patacca E. e Scandone P. (2000). Construction of a seismotectonic model: the case of Italy. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 11-35.
- Montone P., Amato A. e Pondrelli S. (1999). Active stress map of Italy. *J. Geophys. Res.*, 104, B11, 25595-25610.
- Morasca P., Malagnini L., Akinci A., D. Spallarossa e Herrmann R.B. (2003). Ground-motion scaling in the Western Alps. *Bull. Seism. Soc. Am.* (submitted).
- Patanè D., Ferrucci F. e 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. e 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. e 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. e Dziewonsky A.M. (2002). European-Mediterranean regional centroid moment tensor catalog 1997-2000. *Phys. Earth. Plan. Int.*, 130, 71-101.
- Romeo A., Paciello A. e Rinaldis D. (2000). Seismic Hazard Maps of Italy Including Site Effects. *Soil Dyn. and Earthq. Eng.*, 20, 85-92.

- Romeo R. e 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. e Pugliese A. (2000). Seismicity, seismotectonics and seismic hazard of Italy. Eng. Geol., 55, 241-266.
- Sabetta F. e Pugliese A. (1987). Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong motion records. Bull. Seism. Soc. Am., 77, 5, 1491-1513.
- Sabetta F. e Pugliese A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. Bull. Seism. Soc. Am., 86, 2, 337-352.
- Sadigh K., Chang C.Y., Egan J.A., Makdisi F. and Youngs R.R. (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California Strong Motion Data. Seism. Res. Lett., 68, 154-180.
- 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. e Zupancic P. (1999). Seismic hazard assessment of Adria. Ann. Geofis., 42, 6, 1085-1107.
- Slejko D., Peruzza L. e 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. e 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.
- Stucchi M., Albini P., Mirto C. e Rebez A. (2004). Assessing the completeness of Italian historical earthquake data. Ann. Geophys. (accepted).
- 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. e 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. e 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.
- Vannucci G. e Gasperini P. (2003). A database of revised fault plane solutions for Italy and surrounding regions. Computer Geosciences, 29 (7), 903-909.