



Task 1 – Completamento delle elaborazioni relative a MPS04

Deliverable D5

Valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04

a cura di C. Meletti⁽¹⁾, V. Montaldo⁽²⁾, L. Gulia⁽¹⁾

⁽¹⁾ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia;

⁽²⁾ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia;
ora Geomatrix Consultants, Inc.
2101 Webster St. 12th floor
Oakland, CA 94612, USA

Riassunto

Le attività di questo deliverable sono state rivolte ad esplorare alternative alle scelte compiute nel corso della redazione della mappa MPS04, che fossero epistemicamente diverse. Sono state valutati diversi approcci alla modellazione della sismicità, sia rispetto al modello di zone sorgente, sia rispetto alle modalità di valutare i tassi di sismicità.

Abstract

In the framework of the logic tree approach, we explored new options, epistemically different from the choices made during the elaboration of MPS04.

Different approaches to the modelling of the seismicity were explored, both considering the available seismogenic models vs a no sources model and considering the procedures adopted for the evaluation of seismicity rates (activity rates vs Gutenberg-Richter earthquake distribution).

Questo deliverable non era inizialmente previsto nel progetto S1 ed è stato aggiunto in un secondo momento, anche su indicazione del comitato di revisori internazionali.

La descrizione degli obiettivi di questo deliverable è la seguente:

A titolo sperimentale - e per limitate porzioni del territorio - verranno eseguite valutazioni della pericolosità prendendo in considerazione diverse leggi di attenuazione, modelli alternativi di sorgenti sismiche, di Mmax e di valutazione della completezza, con la definizione di un albero logico più complesso di quanto non utilizzato da MPS04, allo scopo di meglio quantificare i contributi delle incertezze aleatorica e epistemica

La figura 1 schematizza in nero la struttura ad albero logico adottata nella realizzazione della mappa di pericolosità sismica di riferimento del territorio nazionale (MPS04; Gruppo di Lavoro MPS, 2004 e <http://zoneismiche.mi.ingv.it>). Per quanto riguarda il catalogo storico dei terremoti (CPTI04) e il modello di zone sorgente (ZS9) non sono state adottate scelte alternative in quanto quelle eventualmente utilizzabili al tempo non erano da un punto di vista esclusivamente epistemico significativamente diverse. Sono stati invece adottati due set di intervalli di completezza del catalogo, basati su un approccio prevalentemente storico (Co-04.2) e su un approccio prevalentemente statistico (Co-04.4). Sono state adottate due diverse modalità di calcolo dei ratei sismici nelle zone sismogenetiche, vale a dire tassi individuali nelle diverse classi di magnitudo (AR, *activity rates*) e tassi secondo una distribuzione di tipo Gutenberg-Richter (GR). Infine per quanto riguarda le relazioni di attenuazione del moto del suolo sono stati utilizzati tre diversi set di parametrizzazione basati su dati di base diversi tra loro: ASB96, relazioni da Ambraseys et al. (1996), relazioni di Sabetta e Pugliese (1996), relazioni di tipo regionale sviluppate in ambito INGV da Malagnini e colleghi (Malagnini et al., 2000; Malagnini et al., 2002; Morasca et al., 2002); queste ultime relazioni sono state adottate con due diverse modalità di attribuzione alle diverse zone sorgente. Il dettaglio sulle scelte dell'albero logico adottate in MPS04 sono descritte in Gruppo di Lavoro MPS (2004), la descrizione delle relazioni di attenuazione è contenuta anche in Montaldo et al. (2005).

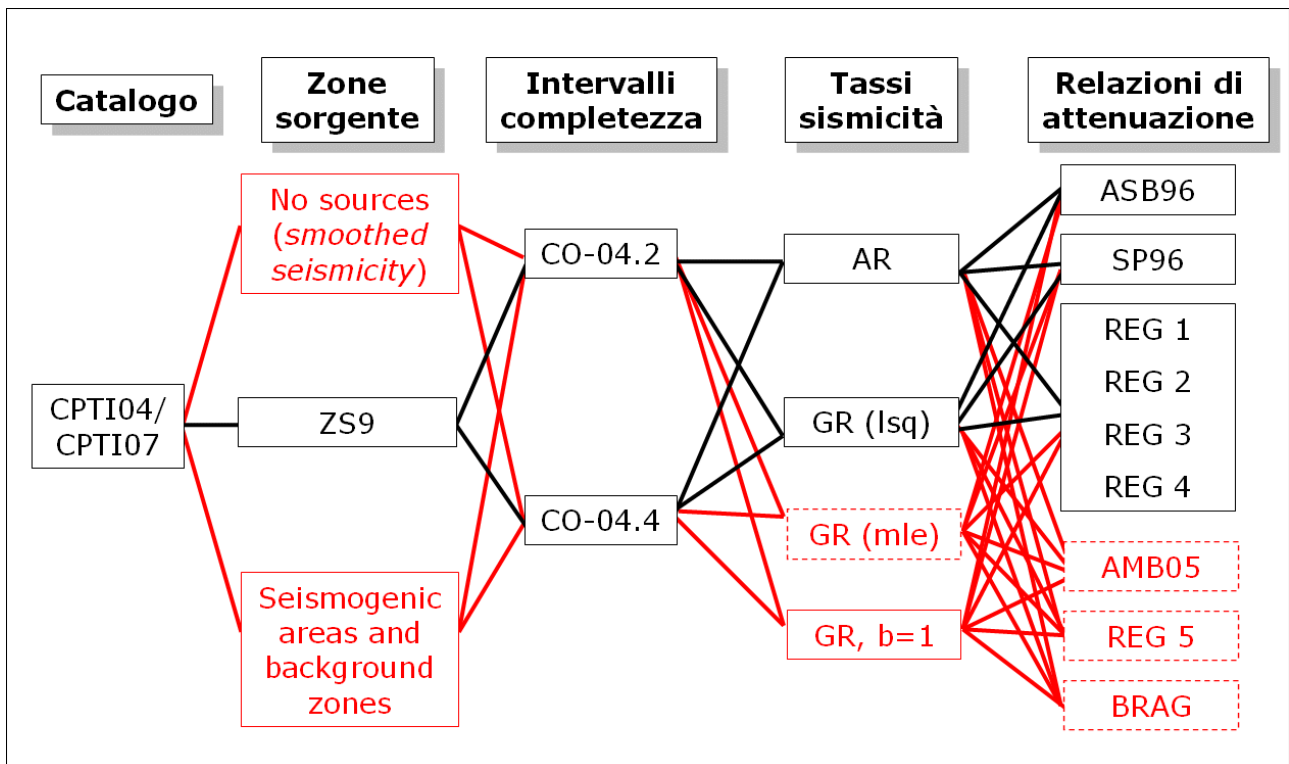


Figura 1. Schema delle possibili opzioni che possono essere aggiunte alla struttura ad albero logico adottata per la realizzazione di MPS04.

In rosso nella figura 1 sono invece riportate le opzioni che sono state considerate nell'ambito di questo deliverable e analizzate su aree campione o su tutto il territorio nazionale. Le opzioni in rosso con il bordo tratteggiato sono quelle per le quali non sono stati compiuti test, ma che potrebbero rientrare in gioco qualora si voglia procedere alla realizzazione di una nuova mappa di pericolosità sismica.

Passando a descrivere brevemente le possibili scelte alternative, il modello sismogenetico ZS9 può essere affiancato dall'uso delle "aree sismogenetiche" (*Seismogenic areas*) recentemente definite all'interno del database delle sorgenti sismogenetiche DISS 3.0 (rilasciato nell'ambito del progetto S2, <http://www.ingv.it/DISS>). Queste aree necessitano anche della definizione di aree di background che consideri la sismicità che non ricade all'interno delle aree sismogenetiche, più strette delle zone sorgente di ZS9. Un'ulteriore alternativa è l'uso del modello cosiddetto *smoothed seismicity*, come definito da Frankel (1995), che non prevede la definizione di zone sorgente quindi un input di tipo geologico, bensì viene utilizzata la sismicità del catalogo per modellare il processo sismico. Un esempio di uso parallelo dei diversi modelli viene mostrato per l'area campione del Nord-Est d'Italia.

La definizione dei tassi di sismicità può essere arricchita dall'adozione del metodo di fit della massima verosimiglianza (mle), che secondo la letteratura corrente è più indicato del metodo dei minimi quadrati (lsq) in quanto i valori da "fittare" (il numero cumulato di eventi nelle diverse classi di magnitudo) non sono indipendenti tra loro. Un'altra opzione che è stata più volte richiamata nel dibattito scientifico è l'adozione di una distribuzione GR con $b=1$, come suggerito dagli autori stessi su scala globale (Gutenberg e Richter, 1944). Anche per questa possibile opzione viene mostrata un'applicazione condotta su scala nazionale.

Infine è possibile utilizzare ulteriori modelli di attenuazione del moto del suolo, secondo quanto disponibile nella letteratura recente, quali le relazioni proposte da Ambraseys et al. (2005), da Bragato e Slejko (2005) o ancora da Mercuri et al. (2006).

Da quanto viene presentato in questo deliverable, le possibili scelte alternative che sono state analizzate risultano percorribili e applicabili a scala nazionale per un'eventuale nuova mappa di pericolosità sismica. E' però altrettanto evidente che le differenze anche significative tra le diverse mappe qui elaborate devono essere attentamente valutate e opportunamente pesate in una struttura ad albero logico espanso rispetto a quello adottato in MPS04.

Le attività del deliverable, come già brevemente accennato, si sono indirizzate a valutare due dei principali elementi di input nella valutazione della pericolosità sismica, vale a dire il modello di zone sorgente e le modalità di calcolare i tassi di sismicità. Questo rapporto è pertanto diviso in due parti distinte anche perché realizzate dagli autori in modo autonomo e distinto: le possibili opzioni nell'uso di modelli di sorgente sono state studiate in dettaglio da Valentina Montaldo (anche come parte delle attività di ricerca del proprio dottorato di ricerca), le alternative nelle modalità di calcolo dei tassi di sismicità sono state studiate da Laura Gulia e da Carlo Meletti.

Uso di diversi modelli sorgente

Per l'area campione del Nord-Est dell'Italia, vale a dire per la fascia che dalla Lombardia va al Friuli passando per Veneto e Trentino Alto Adige è stato compiuto il test sull'uso di diversi modelli di sorgente.

L'area è caratterizzata da un'estrema eterogeneità dell'attività sismica, sia intermini di magnitudo che di frequenza dei terremoti. Inoltre anche la conoscenza sugli aspetti sismologici, geologici e di sismicità storica, nonché le registrazioni sismometriche e accelerometriche variano molti in numero e attendibilità. Due aspetti interessanti ma allo stesso tempo importanti ai fini della definizione della pericolosità dell'area sono: i) le localizzazioni mal definite di 4 terremoti storici con $M_w > 6$; ii) almeno 1 sorgente sismogenetica probabilmente in grado di generare terremoti distruttivi silente negli ultimi 700 anni.

La pericolosità sismica del Nord-Est d'Italia è stata valutata considerando diversi approcci che possono essere classificati in base alla quantità e alla complessità dei dati geologici e sismologici necessari per la loro definizione.

Il modello più semplice che è stato scelto è quello basato sulla distribuzione spaziale della sismicità (Frankel, 1995). Come elementi di input richiede la localizzazione epicentrale, la magnitudo e il tempo origine dei terremoti; possono essere utilizzate anche informazioni geologiche, ma non sono state usate in questo caso. Il processo sismico è modellato secondo un processo di ricorrenza di Poisson, vale a dire che la sismicità è considerata stazionaria nel tempo.

In un approccio probabilistico di tipo convenzionale al calcolo della pericolosità sismica (approccio di Cornell-McGuire) l'informazione geologica viene introdotta con la definizione delle zone sorgente, che consistono in aree all'interno delle quali le caratteristiche tettoniche e sismologiche sono considerate omogenee. Due modelli di zone sorgente sono stati usati nel corso di questo test:

1. il modello di zone sorgente ZS9 (Meletti et al., 2007) usato per la redazione di MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), definito sulla base di un criterio prevalentemente sismotettonico, integrato con l'informazione sulla sismicità storica e strumentale (fig. 2);
2. le aree sismogenetiche proposte dal database delle sorgenti sismogenetiche DISS 3.0.1 (Diss Working Group, 2005), che sono definite come quelle aree che rappresentano l'inviluppo dei principali sistemi di faglia per i quali non è possibile definire una segmentazione longitudinale, aree nelle quali avvengono i terremoti maggiormente distruttivi (fig. 3).

Nel seguito vengono proposte le immagini relative ai modelli di zone sorgente utilizzati (ZS9 e aree sismogenetiche) e i risultati della stime compiute (Montaldo, 2006) adottando il modello della "smoothed seismicity" (fig. 4) oppure la zonazione ZS9 (fig. 5) oppure ancora le aree sismogenetiche con zone di background (fig. 6). Tutte le stime sono state realizzate utilizzando i diversi periodi di completezza del catalogo, le due modalità di calcolo dei tassi di sismicità e le diverse relazioni di attenuazione. In particolare la stima ottenuta con l'approccio a "smoothed seismicity" (fig. 4) è la mediana di 6 rami di un albero logico che considera 2 completezze del catalogo (storica e statistica) e 3 relazioni di attenuazione (Ambraseys et al., 1996; Sabetta e Pugliese, 1996; relazioni regionali di Malagnini e colleghi); le mappe ottenute usando i modelli di zona sorgente sono la mediana di 12 uscite di un albero logico che considera 2 completezze del catalogo (storica e statistica), 2 modalità di calcolo dei tassi di sismicità (AR e GR, come in Gruppo di Lavoro, 2004) e 3 relazioni di attenuazione (Ambraseys et al., 1996; Sabetta e Pugliese, 1996; relazioni regionali di Malagnini e colleghi).

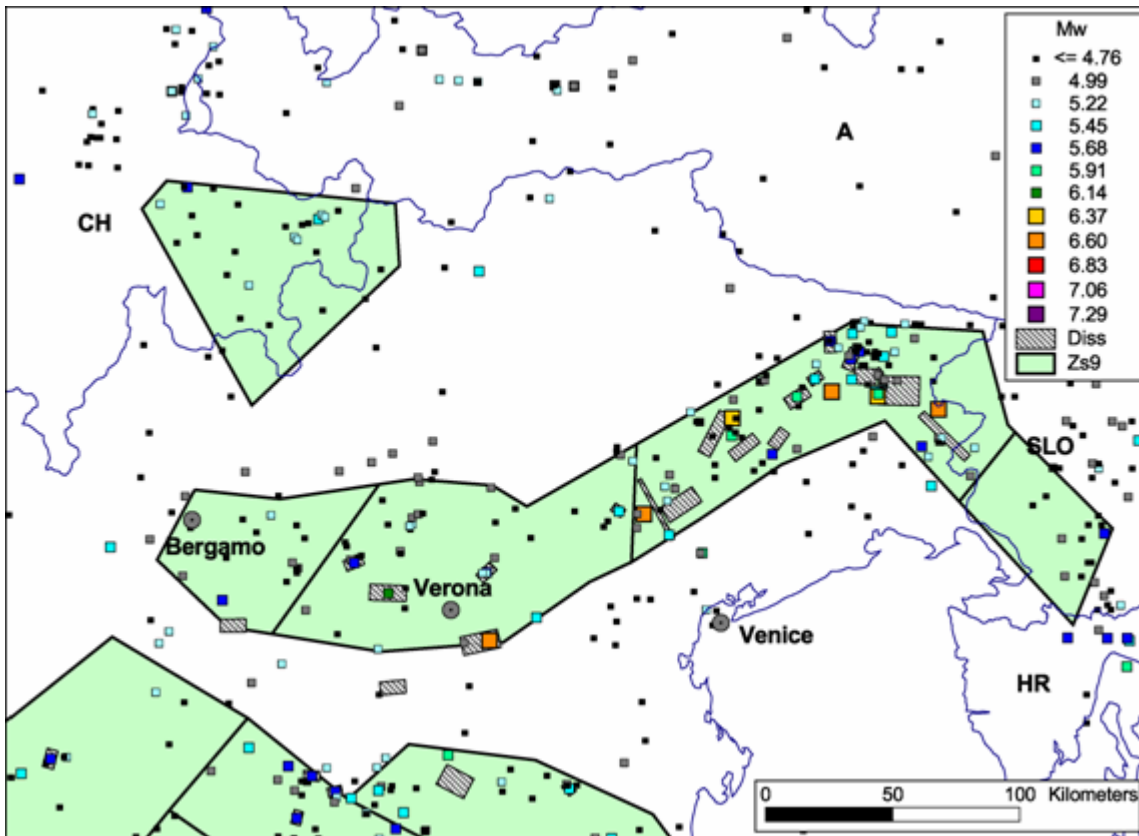


Figura 2. Modello di zone sorgente ZS9 confrontato con le sorgenti sismogenetiche individuali del database DISS e con la sismicità del catalogo CPTI04.

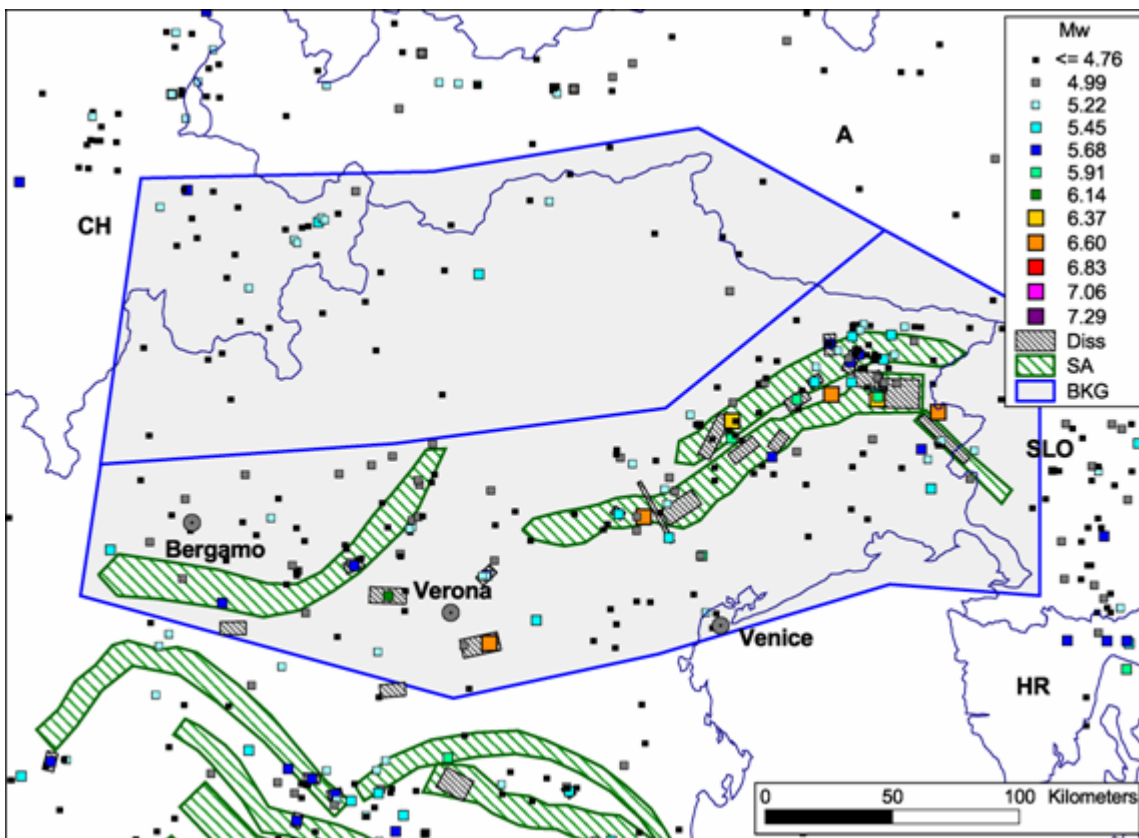


Figura 3. Aree sismogenetiche definite dal database DISS 3 (release di luglio 2006), confrontate con le sorgenti sismogenetiche individuali e con la sismicità del catalogo CPTI04. Le aree con bordo blu (BKG in legenda) sono le aree di background definite per considerare nel calcolo la sismicità che non ricade dentro le aree sismogenetiche.

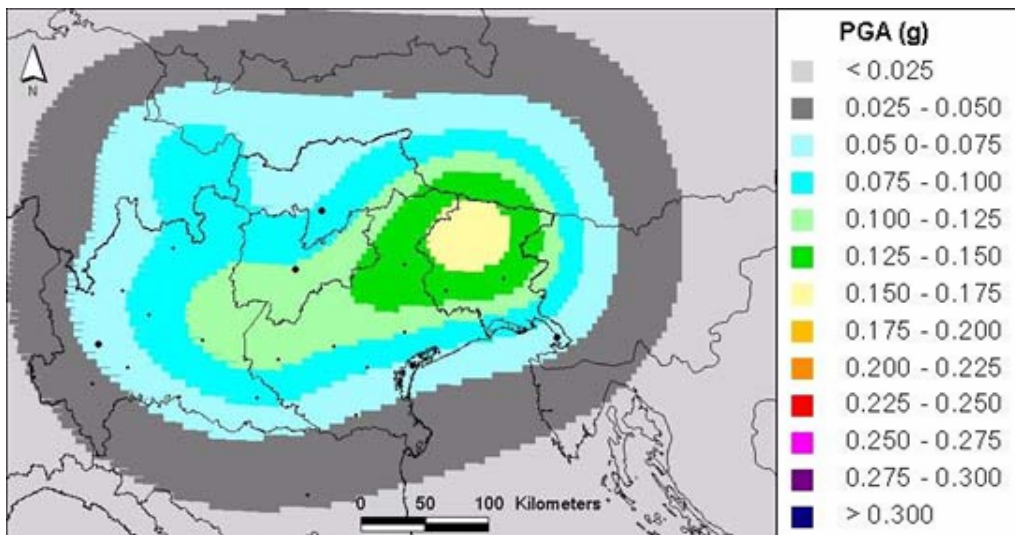


Figura 4. Stima di pericolosità sismica (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) utilizzando il metodo della "Smoothed seismicity" (Frankel, 1995).

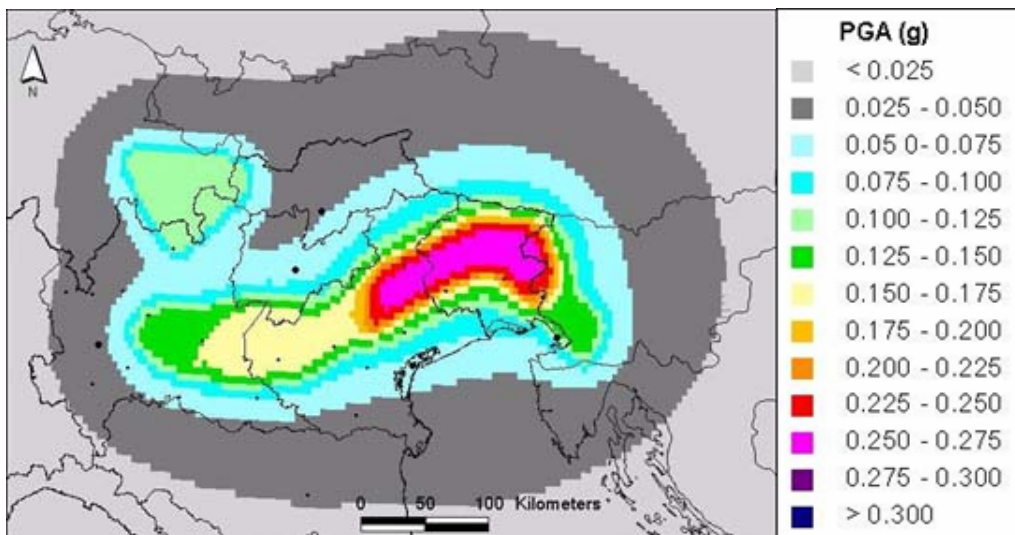


Figura 5. Stima di pericolosità sismica (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) utilizzando il modello di zone sorgente ZS9 (Meletti et al., 2007).

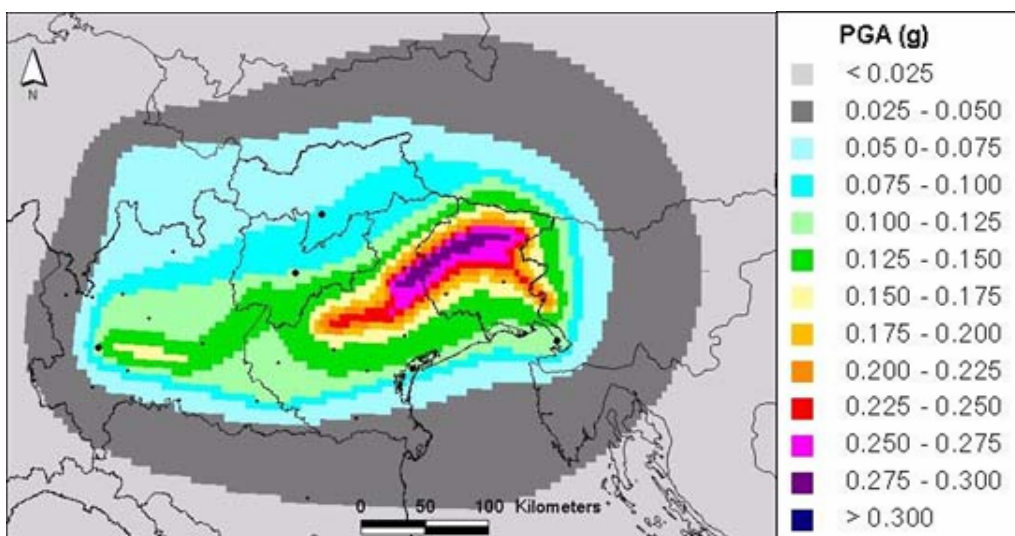


Figura 6. Stima di pericolosità sismica (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) utilizzando il modello di aree sismogenetiche (da DISS 3.0) associate a zone di background.

Uso di diverse modalità di calcolo dei tassi di sismicità

Per il calcolo dei tassi di sismicità l'albero logico adottato in MPS04 utilizza due alternative: tassi calcolati per ogni singola classe di magnitudo dividendo il numero di terremoti per l'intervallo temporale (*activity rates*) e tassi calcolati attraverso la relazione di Gutenberg e Richter (1944). Questa seconda alternativa impiega un diverso *b-value* per ogni zona della zonazione sismogenetica adottata (ZS9; Meletti et al., 2007).

La presunta variabilità del *b-value* e la stima a scale differenti di questo parametro sono oggetto, negli ultimi anni, di numerose pubblicazioni. Le principali teorie sono due:

- un valore costante e uguale a 1, non dipendente dalla scala adottata (Kagan, 2002): il processo di generazione dei terremoti sarebbe non solo self-similare ma anche invariante a scala mondiale;
- un *b-value* variabile (e.g. Schorlemmer et al., 2005; Schorlemmer and Wiemer, 2005; Wiemer and Schorlemmer, 2007; Shanker and Sharma, 1998; Lomnitz-Adler, 1992; Pacheco et al., 1992) in relazione al differente regime tettonico, a cambiamenti di stress e all'eterogeneità del materiale.

In questo studio si è voluto valutare l'impatto dell'adozione di un *b-value* uguale a 1 sulle stime di hazard attraverso l'elaborazione di una nuova mappa di pericolosità, realizzata utilizzando lo stesso albero logico (Fig. 7) e le stesse soluzioni adottate in MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), e sostituendo i tassi calcolati con un *b-value* variabile in ogni ZS dalla relazione di Gutenberg e Richter (1944; d'ora in avanti GR) con i tassi ricalcolati fissando il valore del parametro a 1 (Gulia e Meletti, 2007) in tutte le zone del modello di zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2007).

Uno degli elementi dell'albero logico per i quali esistono opzioni epistemicamente alternative è la modalità di calcolo dei tassi. Nella redazione di MPS04 sono state adottate due differenti metodologie: calcolo degli *activity rates* per ogni classe di magnitudo e l'utilizzo della GR. Nell'analisi eseguita, dopo aver fissato il *b-value*, è stato calcolato il valore del secondo parametro della relazione, il parametro *a*, secondo due differenti modalità alternative:

- lo stesso *a-value* adottato in MPS04, cioè lo stesso numero di eventi, **test 1**;
- un nuovo valore ottenuto attraverso il metodo dei minimi quadrati, **test 2**.

Come per MPS04, quando la magnitudo massima assunta in ogni ZS è maggiore di quella riportata dal catalogo, i tassi per quella classe di magnitudo sono stati determinati per estrapolazione dalla retta GR determinata.

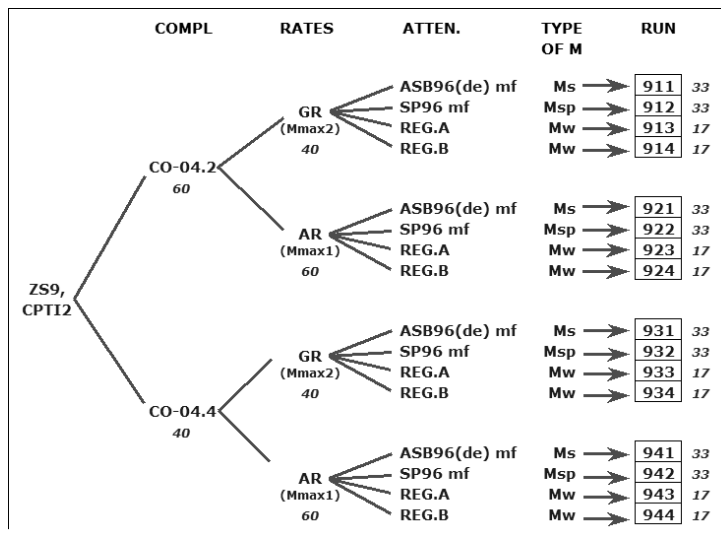


Figura 7. Albero logico impiegato nella redazione della mappa di pericolosità sismica italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

La figura 8 mostra il confronto tra le tre differenti alternative (la distribuzione GR come valutata in MPS04, la distribuzione GR relativa al *test 1* e quella relativa al *test 2*) applicate ai tassi osservati, in due zone sismogenetiche, dove il *b-value* originale è, rispettivamente, maggiore di 1 (SSZ 915) e minore di 1 (SSZ 935).

SSZ 915 (Fig. 8a): il *test 1* ha lo stesso numero totale di eventi di MPS04, ma una distribuzione differente tra le classi di magnitudo: aumenta il numero dei grandi terremoti e diminuisce quello dei piccoli. Per il *test 2* il valore di *a* è inferiore rispetto a quello di MPS04: ne consegue che il numero di eventi nella zona diminuisce. In conclusione, i tassi di sismicità relativi al *test 2* sono inferiori a quelli relativi a MPS04.

SSZ 935 (Fig. 8b): nel *test 1* decresce il numero di grandi terremoti rispetto ad MPS04 e cresce quello relativo ai piccoli. L' *a-value* prodotto dal *test 2* è maggiore rispetto ad MPS04, decresce il numero di grandi terremoti e aumenta il numero dei piccoli.

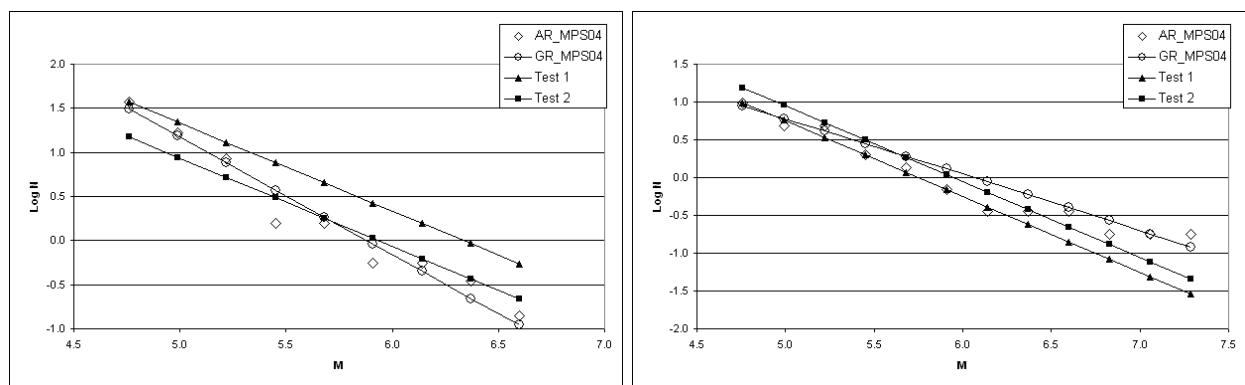


Figura 8. a) Distribuzione magnitudo-frequenza in MPS04 –cerchi per i tassi da GR e rombi per gli *activity rates*- e nei due test –triangoli per il *test 1* e quadrati per il *test 2*.
 a) zona sismogenetica con un *b-value* originale >1 (SSZ 915);
 b) zona sismogenetica con un *b-value* originale <1 (SSZ 935).

Di seguito vengono riportate le distribuzioni magnitudo-frequenza relative alle singole zone sismogenetiche, secondo i due set di intervalli di completezza adottati in MPS04: storico (Fig. 9) e statistico (Fig. 10).

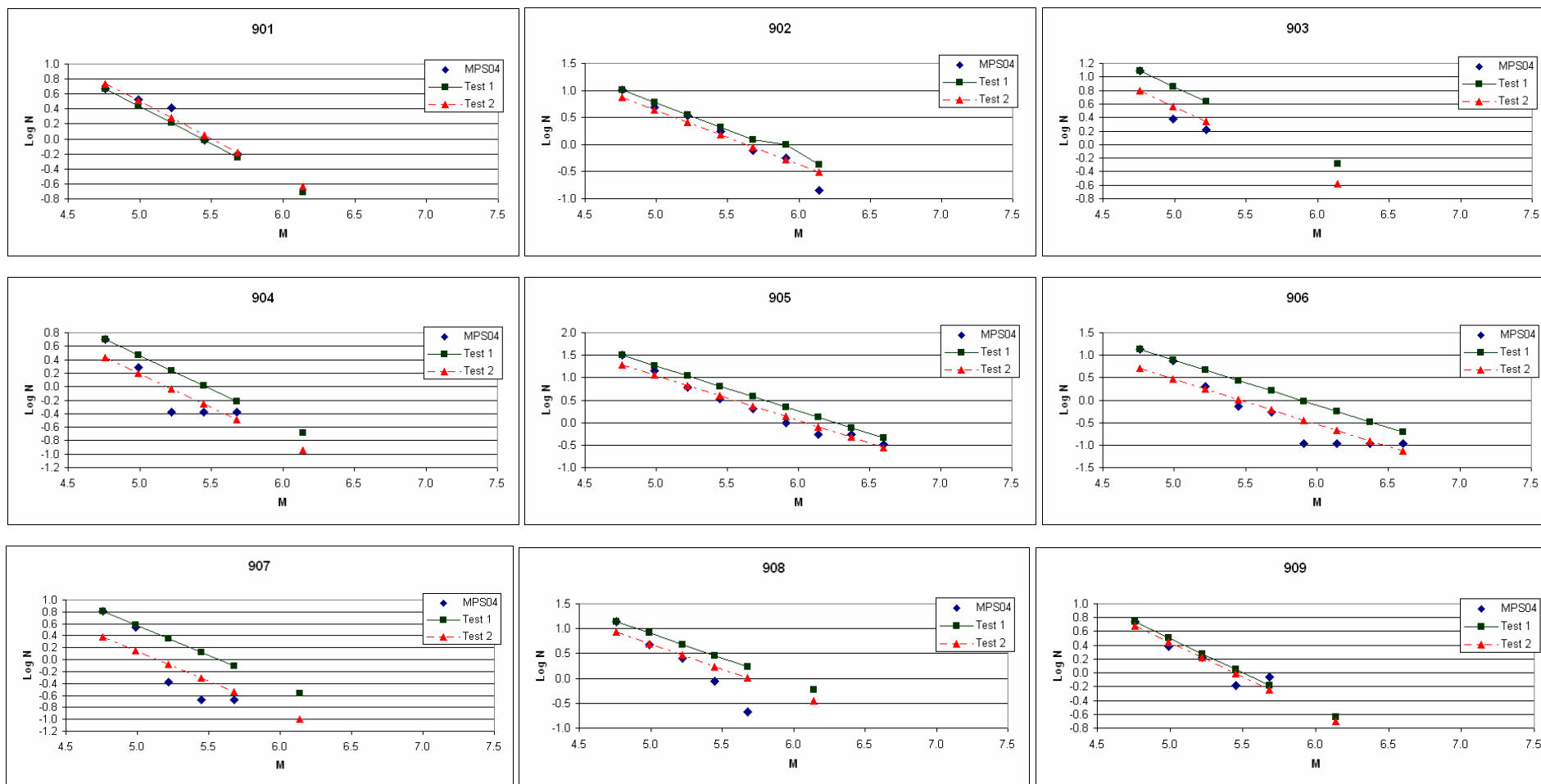


Figura 9a. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 901 a 909 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

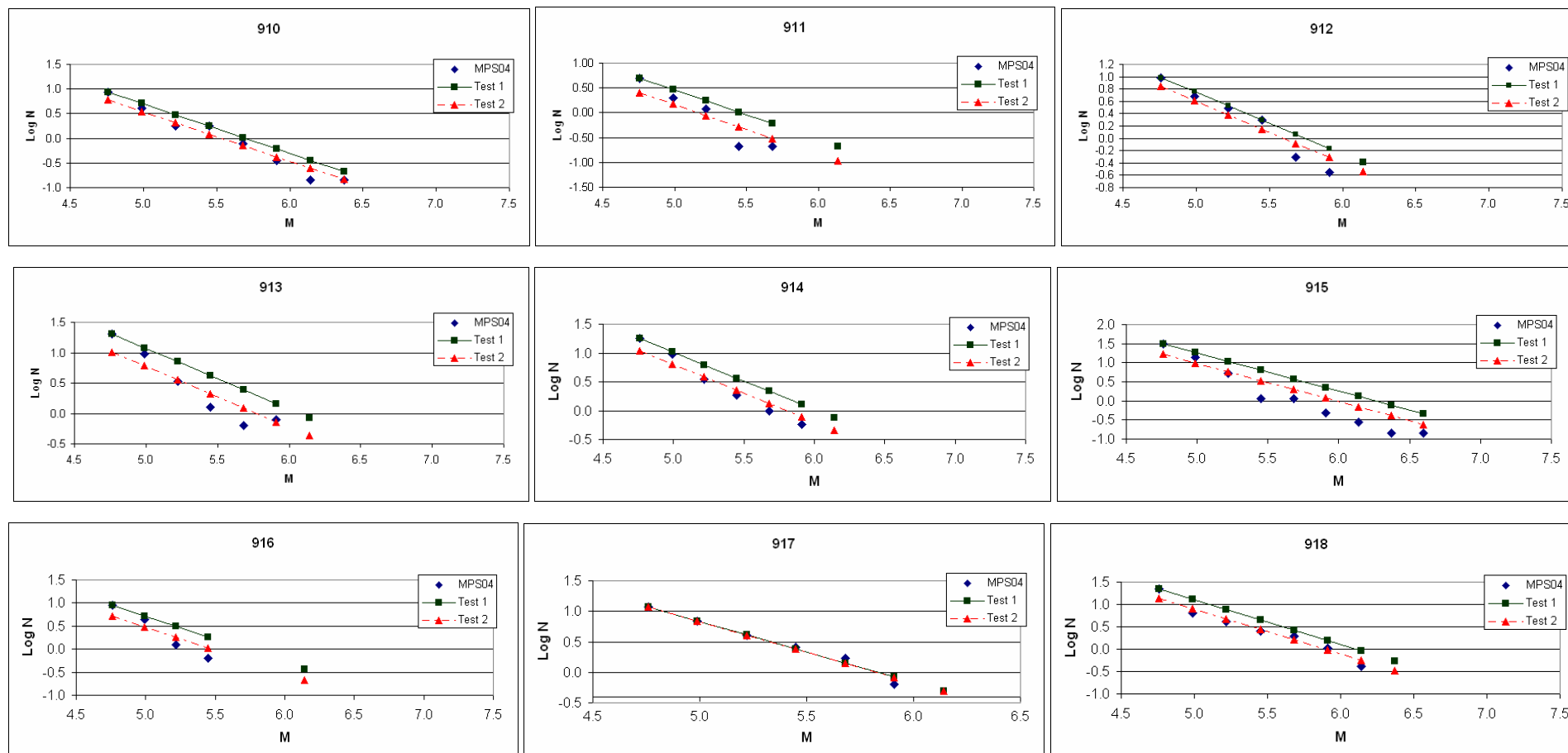


Figura 9b. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 910 a 918 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

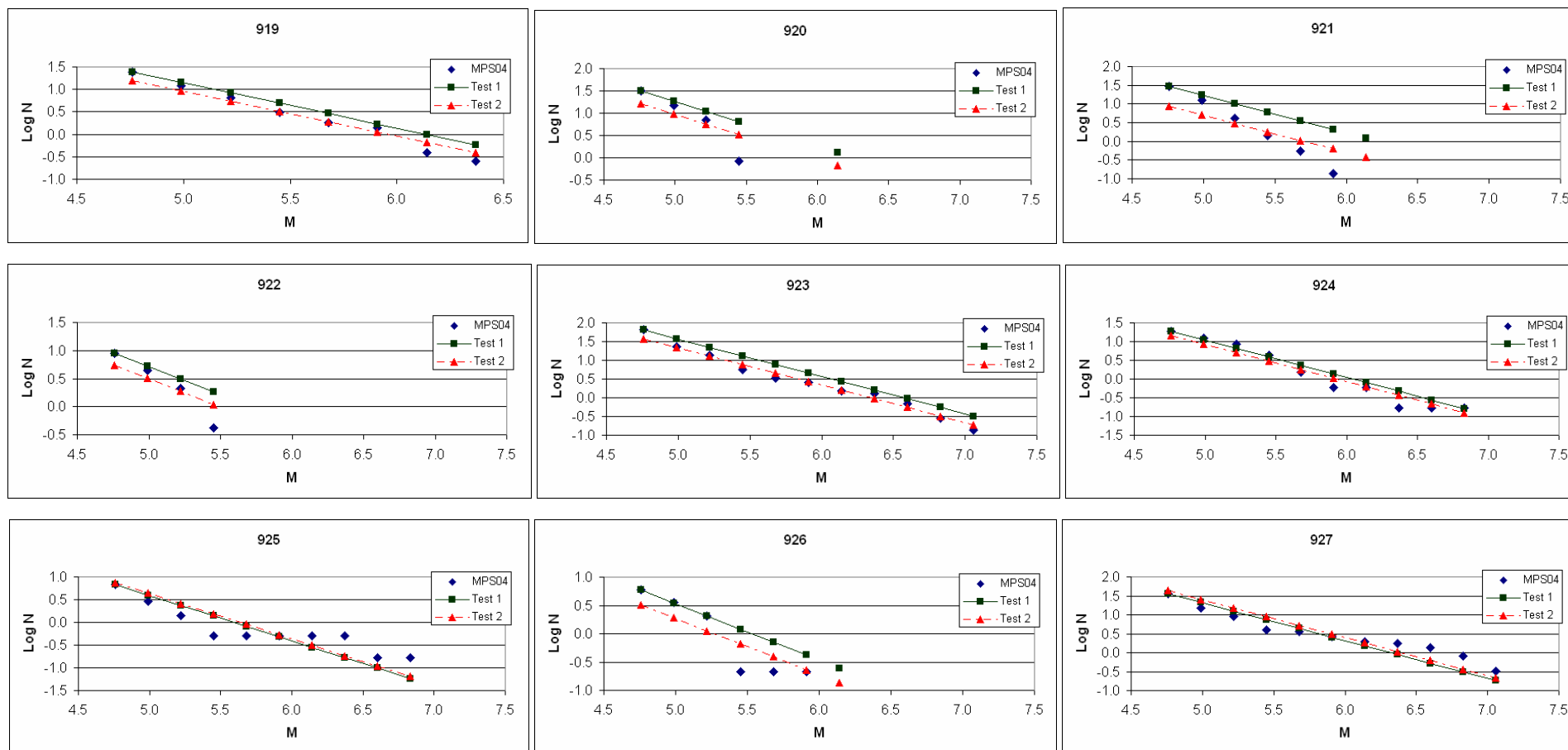


Figura 9c. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 919 a 927 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

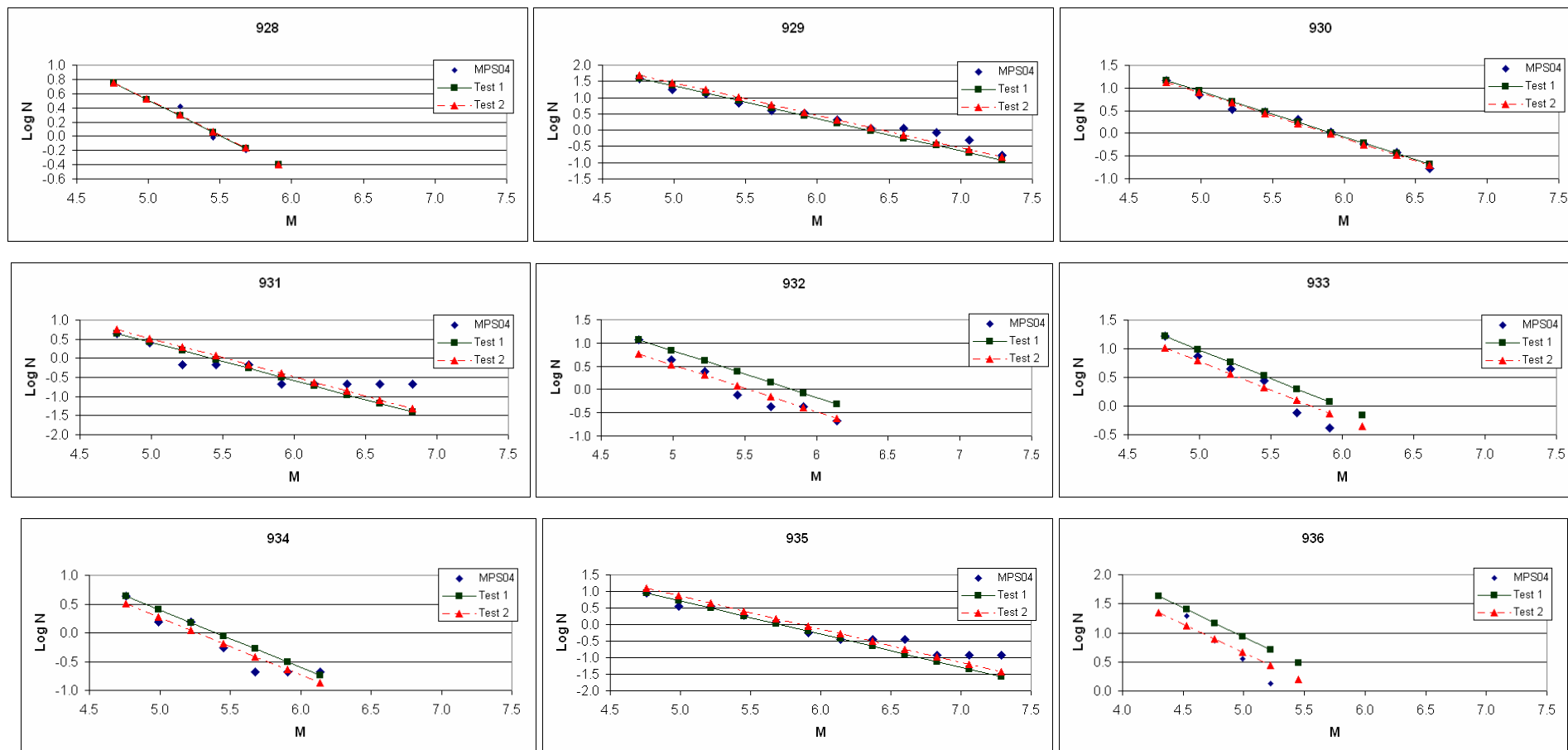


Figura 9d. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 928 a 936 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

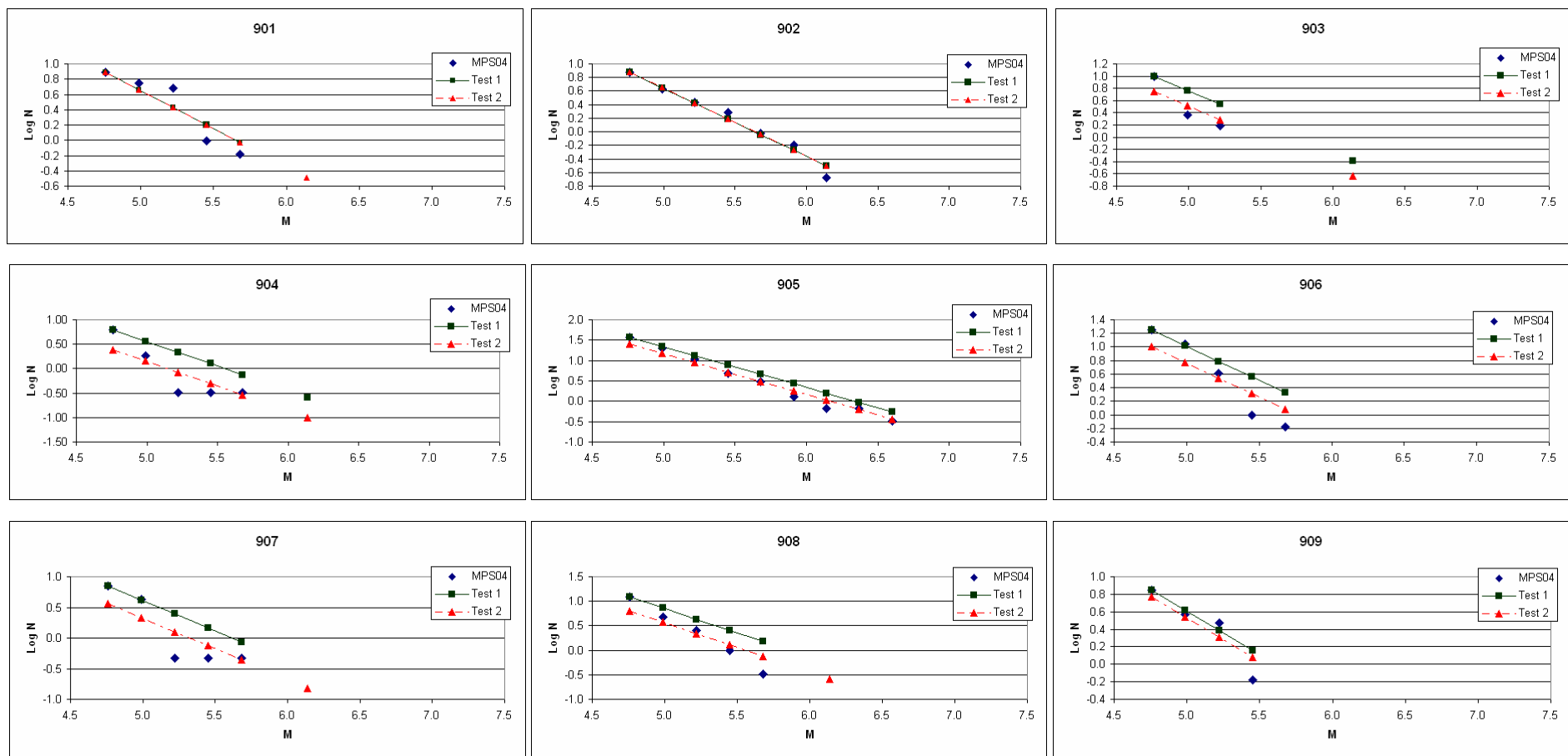


Figura 10a. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 901 a 909 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

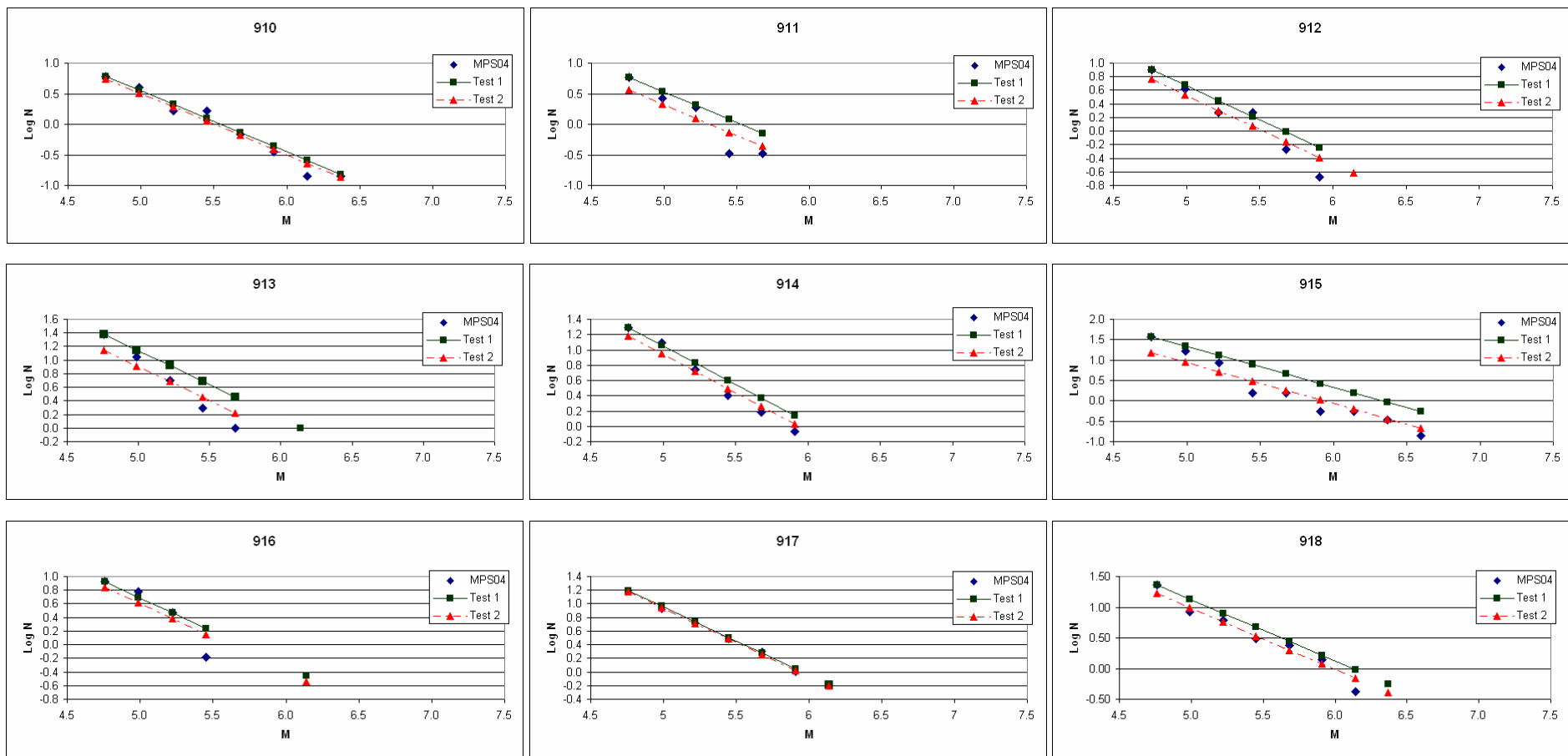


Figura 10b. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 910 a 918 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

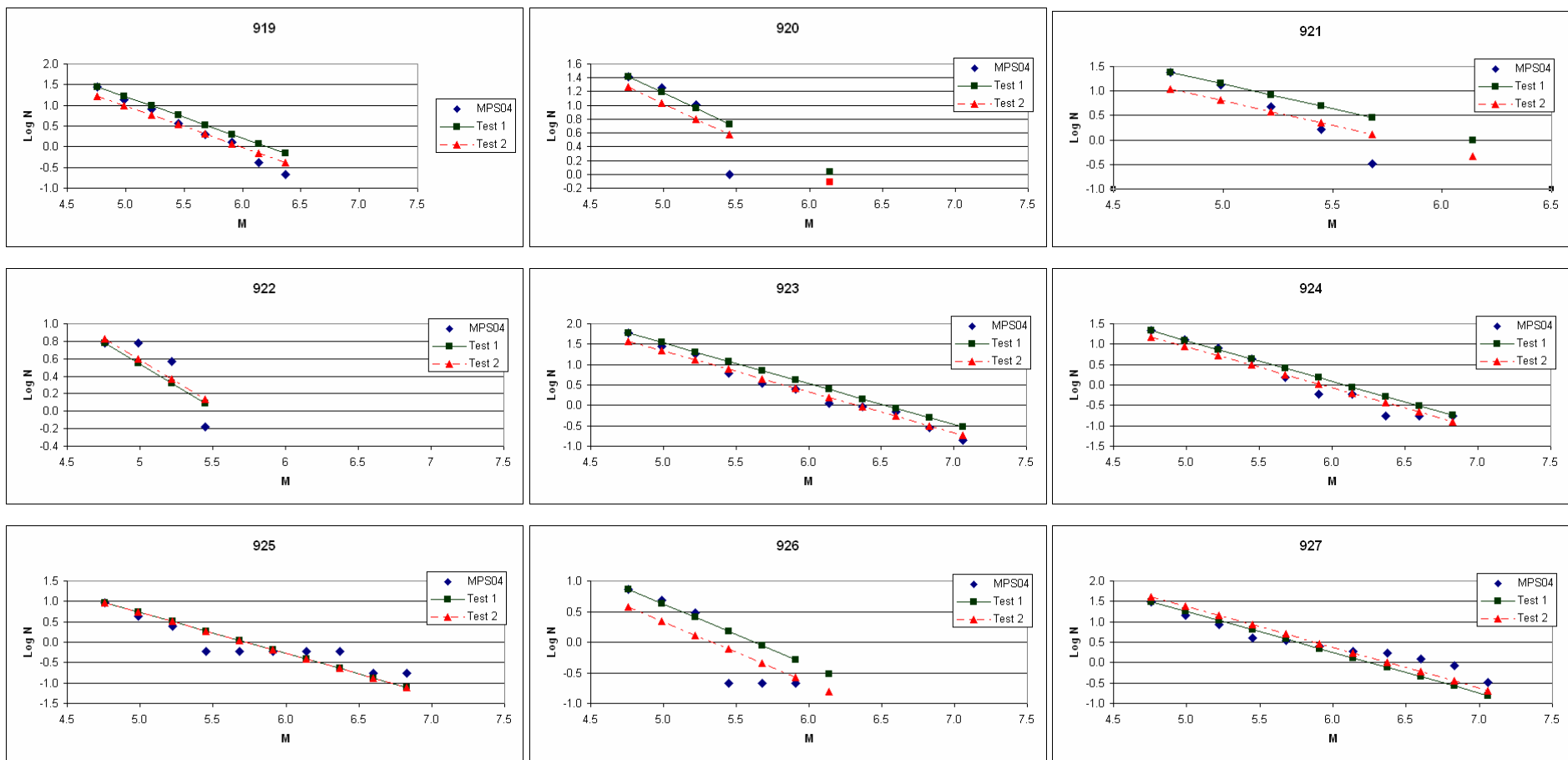


Figura 10c. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 919 a 927 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

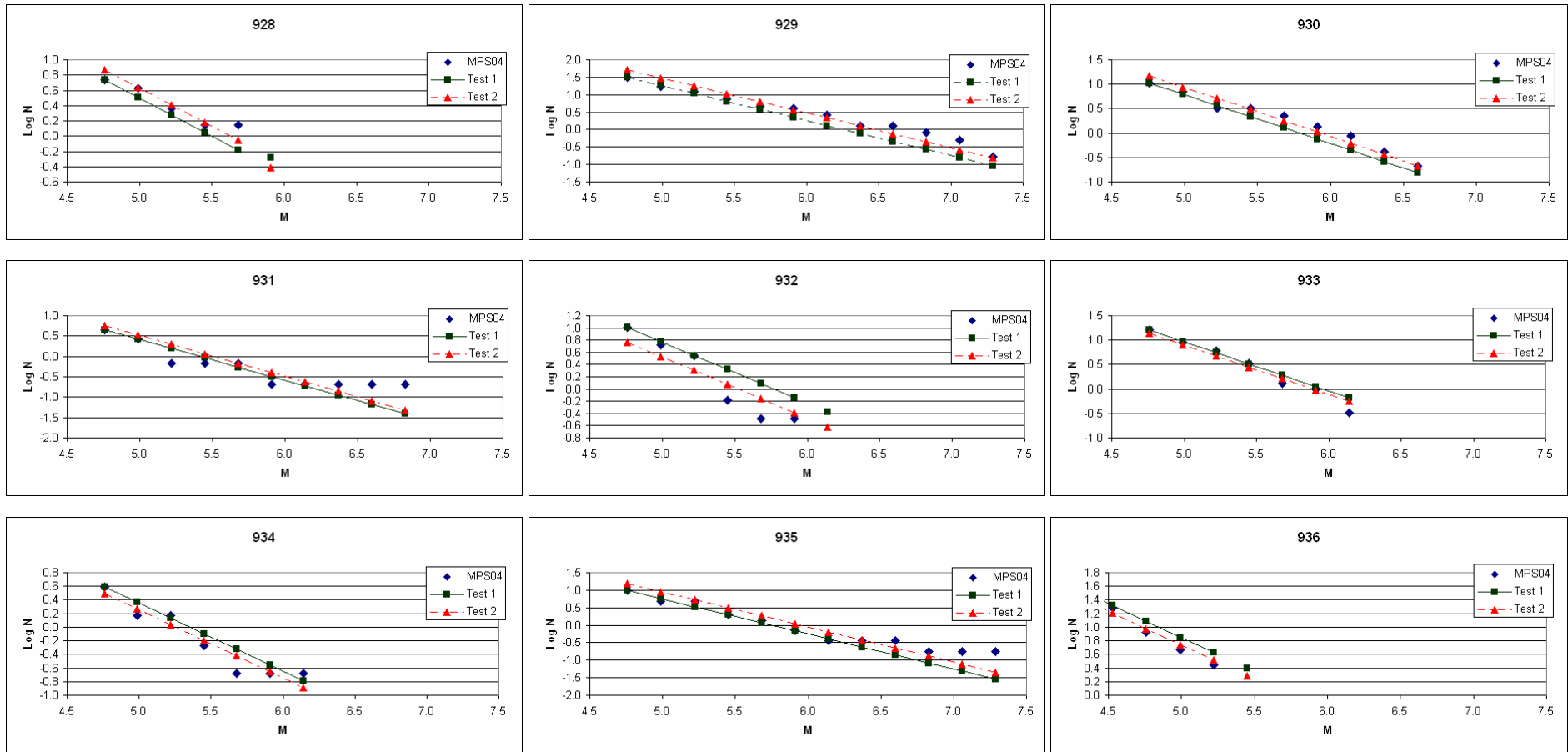


Figura 10d. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 928 a 936 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

Per valutare l'impatto delle diverse metodologie di calcolo dei tassi di sismicità, si è proceduto all'esecuzione di stime di pericolosità sismica usando i diversi set di tassi e successivamente al confronto con i risultati di MPS04.

Impatto su un singolo ramo dell'albero logico

L'analisi di un singolo ramo è stata effettuata attraverso il confronto tra le mappe ottenute secondo le scelte del ramo 911 in MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) e nei due test (Gulia e Meletti, 2007), vale a dire: completezza storica, tassi da GR e relazione di attenuazione del moto del suolo secondo Ambraseys et al. (1996).

In figura 11a è riportata la mappa ottenuta in MPS04 per il ramo 911, mentre le figure 11b e 11c riportano, rispettivamente, la mappa delle differenze tra MPS04 e il test 1 e tra MPS04 e il test 2. Nelle aree azzurre i valori di PGA in MPS04 sono inferiori rispetto ai test e in quelle rosse sono maggiori. In particolare:

- per il *test 1* le differenze negative sono localizzate nelle zone sismogenetiche dell'Appennino settentrionale (SSZ 913, 914, 915, 919, 921) e nell'area Eolie-Patti (SSZ 932), nella quali i *b-value* "originali" sono maggiori di 1.22; differenze positive si osservano invece nel sud Italia (SSZ 925, 929, 931) e nella Sicilia orientale (SSZ 935), dove il *b-value* valutato in MPS04 è minore di 0.82; le differenze più marcate si osservano nelle zone sismogenetiche che in MPS04 hanno un *b-value* molto diverso da 1;
- per il *test 2* si hanno differenze meno marcate rispetto al caso precedente. Le differenze positive maggiori sono nelle zone 925 (Ofanto; *b-value* in MPS04 di 0.67) e 931 (Canale d'Otranto; *b-value* in MPS04 di 0.63); le differenze negative maggiore sono nella zona 901 (Savoia; *b-value* in MPS04 di 1.18) e 927 (Irpinia-Basilicata; *b-value* in MPS04 di 0.71). In generale nel test 2 non si osservano chiare relazioni tra il valore di *b* valutato in MPS04 e le variazioni della stima dell'hazard; differenze significative, infatti, si osservano anche in zone con un *b-value* originale non molto dissimile da 1, come nel nord-est (1.06), nell'Appennino centrale (1.05) e nella Sicilia occidentale (0.96).

In entrambi i test le differenze raggiungono un valore massimo di circa il 24% e, generalmente, il *test 1* produce variazioni maggiori che non il *test 2*.

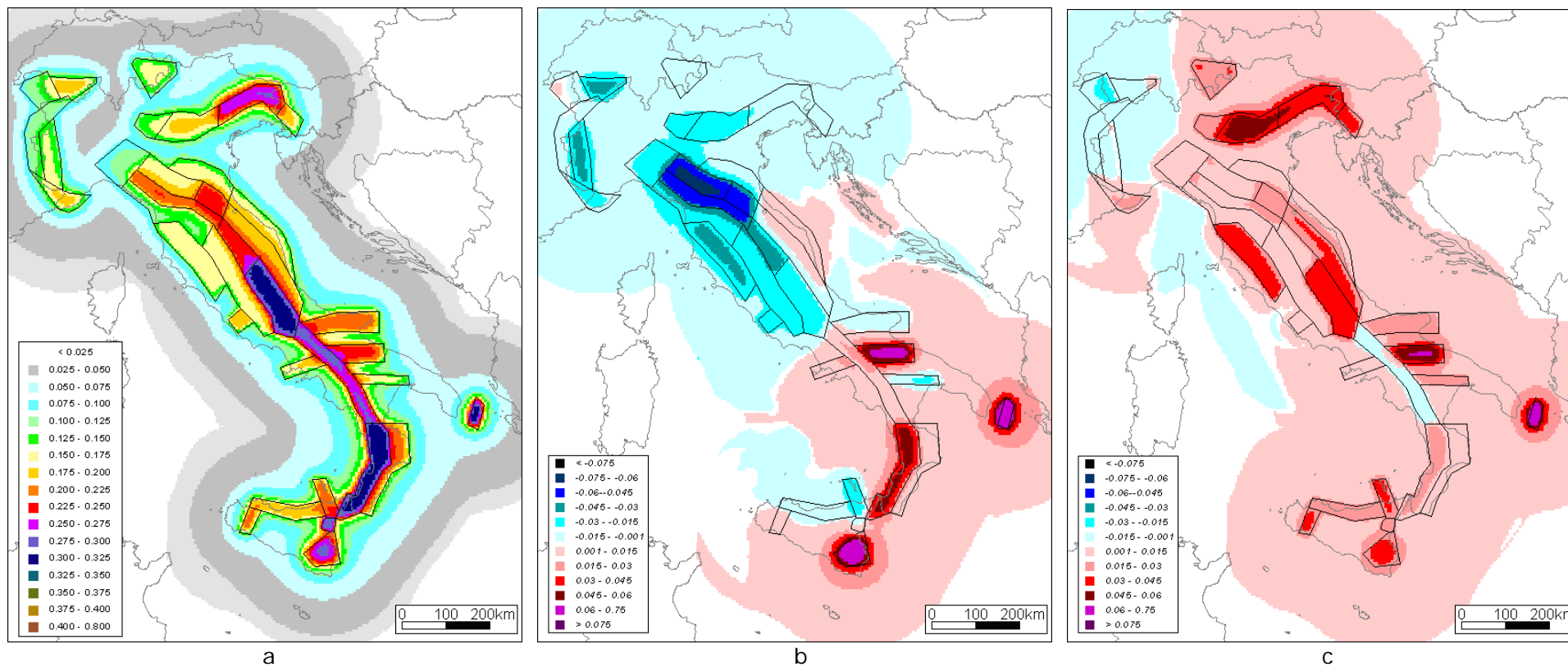


Figura 11. a) Mappa relativa al ramo 911 in MPS04; b) differenze tra il ramo 911 in MPS04 e il ramo 911 nel *test 1*; c) differenze tra il ramo 911 in MPS04 e il ramo 911 nel *test 2*.

Impatto sulla mappa mediana

Il confronto tra i valori di PGA di MPS04 (valore mediano di 16 rami pesati, Fig. 12a) e quelli del *test 1* (Fig. 12b) e tra i valori di MPS04 e quelli del *test 2* (Fig. 12c) rivela un andamento analogo a quanto descritto in precedenza per il ramo 911, ma le aree con le variazioni maggiori hanno dimensioni ridotte:

- *Differenze tra MPS04 e il test 1*: le variazioni sono fortemente dipendenti dal valore di b stimato in MPS04: se inferiore a 1, i valori di PGA nel test 1 sono inferiori rispetto a quelli di MPS04; viceversa, se maggiore di 1, i valori di PGA risultano maggiori rispetto a quelli di MPS04. Anche in questo caso, le aree con le variazioni maggiori sono quelle dove il b -value "originale" si discosta molto da 1: i valori minimi si hanno nella Sicilia orientale (SSZ 935, b -value in MPS04 pari a 0.72 e 0.69, secondo la completezza storica e quella statistica) e Canale d'Otranto (SSZ 931, b -value originale 0.63) e i valori massimi nell'Italia nord-orientale (SSZ 906, b -value originale 1.14 e 1.70) e nell'Appennino settentrionale (SSZ 913, 914, 915, 919; b -value in MPS04 variabili tra 1.44 e 1.80 adottando la completezza storica e tra 1.23 e 1.70 adottando la completezza statistica).
- *Differenze tra MPS04 e il test 2*: come per il *test 1*, la mappa mostra un andamento analogo a quello di figura 11c, anche se le differenze rispetto a MPS04 sono minori. Le zone sismogenetiche della Sicilia orientale (SSZ 935; b -value "originali" 0.72 e 0.69 secondo le due completezze) e del Canale d'Otranto (SSZ 931; b -value in MPS04 pari a 0.63) mostrano il maggiore aumento dei valori di PGA, mentre solamente le zone nel nord-ovest (SSZ 901, 902, 908, 909; b -value originali 1.18 – 1.91 e 1.05 – 1.67) e i Colli Albani (SSZ 922) mostrano variazioni negative.

Le differenze tra MPS04 e i due test raggiungono anche in questo caso un valore massimo del 24%, ma limitato ad aree di dimensioni ridotte rispetto a quelle di un singolo ramo. Ciò è dovuto al fatto che nella struttura ad albero logico (Fig. 7) i rami con tassi GR hanno un peso minore (40%), dei rami con tassi AR (60%) e quindi una diversa scelta relativamente alla modalità di calcolare i tassi di sismicità è meno impattante sul risultato.

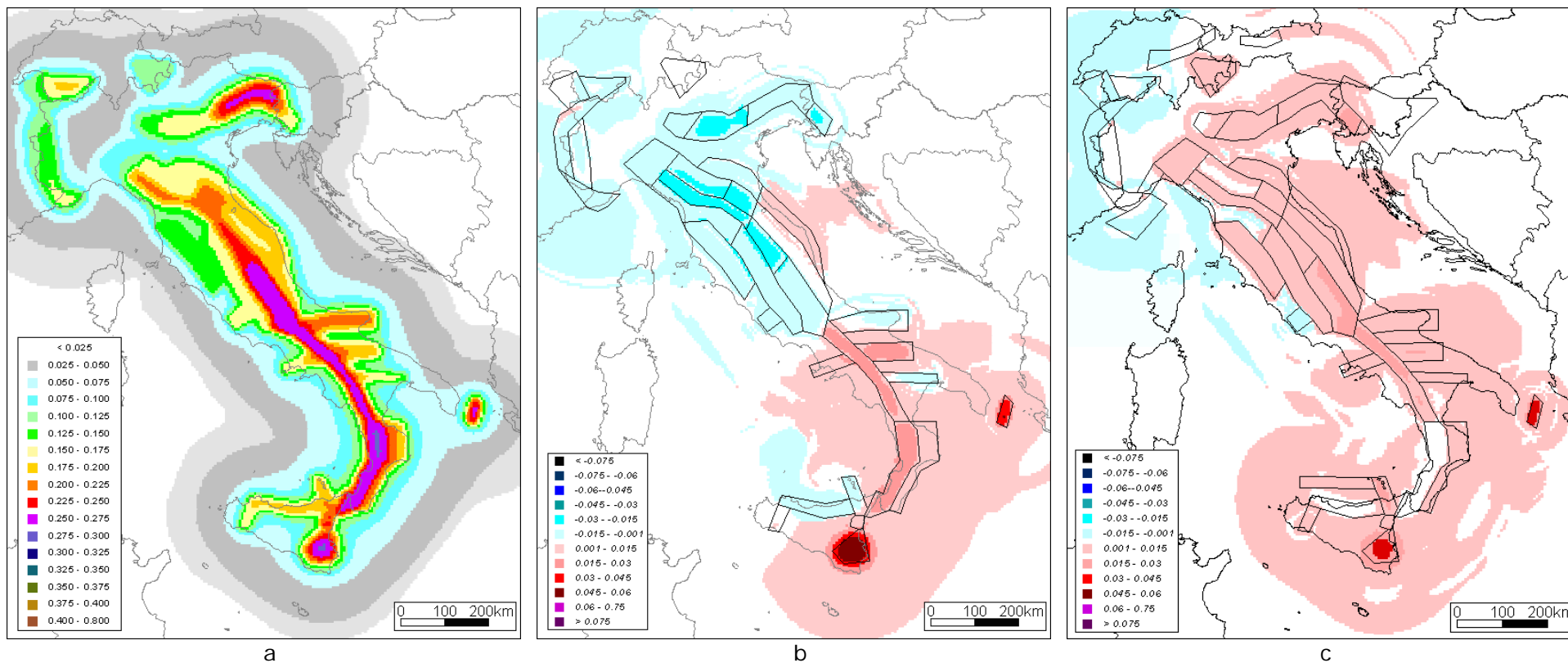


Figura 12. a) MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004); b) differenze tra MPS04 e il *test 1*; c) differenze tra MPS04 e il *test 2*.

Bibliografia

- Ambraseys N.N., Simpson K.A., Bommer J.J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 25, 4, 371-400.
- Bragato P.L., Slejko D. (2005). Empirical ground motion attenuation relations for the eastern Alps in the magnitude range 2.5-6.3, *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 95(1), 252-276.
- DISS Working Group (2005). Database of Individual Seismogenic Sources (version 3.0.1): A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://www.ingv.it/DISS/>.
- Frankel A. (1995). Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. *Seismol. Res. Lett.*, 66, 4, 8-21.
- Gruppo di Lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.
- Gruppo di Lavoro MPS (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. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- Gulia L., Meletti C. (2007). Testing the b-value variability in Italy and its influence on Italian PSHA. *Boll. Geofis. Teor. Appl.* In stampa.
- Gutenberg B., Richter C.F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 185-188.
- Kagan Y.Y. (2002). Seismic moment distribution revisited: I. Statistical results. *Geophys. J. Int.*, 148, 520-541.
- Lomnitz-Adler J. (1992). Interplay of fault dynamics and fractal dimension in determining Gutenberg and Richter's *b-value*. *Geophys. J. Int.*, 108, 941-944.
- Malagnini L., Akinci A., Herrmann R.B., Pino N.A., Scognamiglio L. (2002). Characteristics of the ground-motion in Northeastern Italy. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 92, 6, 2186-2204.
- Malagnini L., Herrman R.B., Di Bona M. (2000). Ground-motion scaling in the Apennines (Italy). *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 90, 4, 1062-1081.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2007). The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory. Submitted to *Tectonophysics*.
- Mercuri A., Malagnini L., Scognamiglio L., Akinci A., De Luca G. (2006). Calibration of the Ground Motion in Central Italy, *Seism. Res. Lett.*, 77, 317.
- Montaldo V. (2006). Seismic hazard and uncertainty assessment in North-Eastern Italy: comparing approaches with varied geological and seismological background. Dottorato di Ricerca in Sc. Geologiche e Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi di Milano-Bicocca, 145 pp. + 1 Appendice
- Montaldo V., Faccioli E., Zonno G., Akinci A., Malagnini L. (2005). Treatment of ground-motion predictive relationships for the reference seismic hazard map of Italy. *J. Seismol.*, 9, 3, 295-316.
- Morasca P., Malagnini L., Akinci A., Spallarossa D. (2002). Ground-motion scaling in the Western Alps. *Seismol. Res. Lett.*, 73, 2, 251.
- Pacheco J.F., Scholtz C.H., Sykes L.R. (1992). Changes in frequency-size relationship from small to large earthquakes. *Nature*, 355, 71-73.
- Sabetta F., Pugliese A. (1996). Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 86, 2, 337-352.
- Schorlemmer D., Wiemer S. (2005). Microseismicity data forecast rupture area. *Nature*, 434, 1086.
- Schorlemmer D., Wiemer S., Wyss M. (2005). Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes. *Nature*, 437, 539-542.
- Shanker D., Sharma M.L. (1998). Estimation of Seismic Hazard Parameters for the Himalayas and its Vicinity from Complete Data Files. *Pure appl. geophys.*, 152, 267-279.
- Wiemer S., Schorlemmer D. (2007). ALM: An Asperity-based Likelihood Model for California. *Seismol. Res. Lett.*, 78(1), 134-140.