

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

**DOTTORATO DI RICERCA  
SCIENZE DELLA TERRA**

Ciclo XXI

**Settore scientifico disciplinare di afferenza: GEO10**

**Metodologie per il miglioramento delle stime di pericolosità  
sismica in Italia**

**Presentata da: Dott.ssa LAURA GULIA**

**Coordinatore Dottorato**

**Relatore**

**Prof. William Cavazza**

**Prof. Paolo Gasperini**

**Esame finale anno 2009**

*a Paolo, a Stefan e alla mia famiglia*

*grazie!*

## INDICE

<i>Riassunto</i>	<i>pag. 1</i>
<i>Introduzione</i>	<i>pag. 3</i>
<i>Capitolo 1</i>	
<i>La relazione di Gutenberg e Richter</i>	<i>pag. 7</i>
<i>Allegati:</i>	
1. <i>Testing the b-value variability and its influence on Italian PSHA</i>	
2. <i>The influence of b-value estimate in seismic hazard assessment</i>	
3. <i>Valutazioni sperimentali di <math>a_{max}</math> provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04</i>	
<i>Capitolo 2</i>	
<i>Analisi dei cataloghi strumentali regionali europei per l'individuazione di eventi non naturali</i>	<i>pag. 9</i>
<i>Allegati:</i>	
1. <i>Detection of quarry and mine blast contaminations in European regional catalogues</i>	
2. <i>Alcune tra le analisi non inserite nell'articolo</i>	
<i>Capitolo 3</i>	
<i>Possibili relazioni tra b-value e meccanismi di fagliazione</i>	<i>pag. 14</i>
3.1 <i>Stato dell'arte</i>	<i>pag. 14</i>
3.2 <i>Metodo</i>	<i>pag. 19</i>
3.2.1 <i>Dataset</i>	<i>pag. 20</i>
3.2.2 <i>Assegnazione del meccanismo di fagliazione</i>	

<i>prevalente alle zone sismogenetiche</i>	<i>pag. 21</i>
<i>3.2.3 Metodologia di calcolo adottata per la determinazione del b-value</i>	<i>pag. 26</i>
<i>3.3 Risultati</i>	<i>pag. 27</i>
<i>3.4 Conclusioni</i>	<i>pag. 33</i>
<i>4. Conclusioni</i>	<i>pag. 35</i>
<i>5. Bibliografia</i>	<i>pag. 37</i>
<i>6. Allegati</i>	
<i>HALM: a hybrid asperity likelihood model for Italy</i>	
<i>Versione aggiornata al 2007 del catalogo CPTI</i>	
<i>DBM01: il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT104</i>	

## *Riassunto*

In questo lavoro di dottorato sono stati analizzati differenti strumenti impiegati per le stime di pericolosità sismica.

Facendo riferimento alla Mappa di Pericolosità Sismica Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e adottata come mappa di riferimento per il territorio nazionale ai sensi dell'Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, è stato approfondito il calcolo dei tassi di sismicità attraverso la relazione di Gutenberg e Richter (1944). In particolare, si è proceduto attraverso un confronto tra i valori ottenuti dagli autori della Mappa (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) e i valori ottenuti imponendo un valore costante e unico al parametro  $b$  della relazione (Gutenberg e Richter, 1944).

Il secondo tema affrontato è stato l'analisi della presenza di eventi di origine non tettonica in un catalogo. Nel 2000 Wiemer e Baer hanno proposto un algoritmo che identifica e rimuove gli eventi di origine antropica. Alla metodologia di Wiemer e Baer (2000) sono state apportate delle modifiche al fine di limitare la rimozione di eventi naturali. Tale analisi è stata condotta sul Catalogo Strumentale della Sismicità Italiana (CSI 1.1; Castello *et al.*, 2006) e sui cataloghi Europei disponibili online: Spagna e Portogallo, Francia, Nord Europa, Repubblica Ceca, Romania, Grecia.

L'ultimo argomento trattato ha riguardato la presunta correlazione tra i meccanismi di fagliazione e il parametro  $b$  della relazione di Gutenberg e Richter (1944). Nel lavoro di Schorlemmer *et al.* (2005), tale correlazione è dimostrata calcolando il  $b$ -value su una griglia a scala mondiale raggruppando i terremoti in

funzione dell'angolo di rake: i valori maggiori del parametro sono misurati per i terremoti che si originano in un regime distensivo, seguono quelli in un regime trascorrente mentre i valori minori si registrano nelle aree a regime compressivo. Il principale ostacolo per una applicazione del metodo al territorio italiano è rappresentato dal numero ridotto di terremoti per i quali è possibile avere indicazioni circa il meccanismo focale della sorgente: la correlazione è stata così valutata calcolando il *b*-value all'interno delle zone sismogenetiche definite per la realizzazione di MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), alle quali è stato nuovamente assegnato un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso la somma del tensore momento.

Sono inoltre allegati lavori altri lavori prodotti nell'ambito della pericolosità sismica.

## ***Introduzione***

La pericolosità è comunemente definita come la probabilità di occorrenza di un fenomeno in grado di produrre danno. In questa tesi verranno analizzati differenti strumenti impiegati per le stime di pericolosità sismica: i primi due capitoli sono composti da una serie di lavori (due pubblicati e uno sottomesso) mentre l'ultimo capitolo è strutturato in maniera tradizionale.

In particolare, nel primo capitolo verranno illustrate alcune tra le scelte operate per la redazione della Mappa di Pericolosità Sismica Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) e confrontate con scelte alternative. La Mappa di Pericolosità Sismica Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'anno 2004, esprime la probabilità in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA, *peak ground acceleration*), secondo lo standard europeo EC8, il quale prevede che venga quantificata come probabilità di superamento del 10% in 50 anni -equivalente a un periodo di ritorno di 475 anni-. La mappa è stata elaborata adottando la metodologia probabilistica classica, cioè il modello di Cornell (1968), il quale prevede l'identificazione di aree sismotettonicamente omogenee –definite *zone sismogenetiche*- all'interno delle quali i terremoti siano equiprobabili nello spazio e il loro rilascio nel tempo sia un processo di tipo Poissoniano (cioè i singoli eventi sono indipendenti tra loro e stazionari nel tempo).

Per elaborare un modello probabilistico di questo tipo sono quindi necessari:

- un modello sismotettonico per descrivere le sorgenti;
- un catalogo sismico dal quale ricavare i tassi di sismicità;
- un modello predittivo per le attenuazioni di moto del suolo in funzione della distanza e della magnitudo.

Al fine di esplorare le incertezze di tipo epistemico, con particolare riferimento agli intervalli di completezza dei cataloghi, alla determinazione dei tassi di

sismicità e alle attenuazioni del moto del suolo, gli autori della Mappa di Pericolosità Sismica Italiana (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) hanno scelto di adottare una struttura ad albero logico, nella quale sono state pesate le diverse alternative. In questa tesi di dottorato sono state analizzate le scelte che hanno riguardato il calcolo dei tassi di sismicità e, in particolare, la relazione di Gutenberg e Richter (1944). Motivazioni, metodologie e risultati sono illustrati in Gulia e Meletti (2008) e in uno dei due rapporti tecnici prodotti all'interno della convenzione DPC-INGV '*Progetti Sismologici e Vulcanologici di interesse per il Dipartimento della Protezione Civile*'. Questi lavori sono stati inoltre presentati al *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (1<sup>th</sup> ECEES, Ginevra, 3-8 settembre 2006)*.

Un aspetto affrontato invece nella redazione della Mappa di Sismicità della Svizzera (Giardini *et al.*, 2004), ma poco approfondito in letteratura, è quello della presenza di eventi di origine non naturale nei cataloghi sismici. Nel secondo capitolo viene presentato un articolo (Gulia, 2008), sottomesso alla rivista *Natural Hazards*, nel quale sono analizzati alcuni tra i cataloghi strumentali regionali europei, tra cui il Catalogo della Sismicità Italiana (CSI 1.1, Castello *et al.*, 2006). La presenza di un elevato numero di falsi terremoti può alterare le stime di *hazard*: ad esempio, trattandosi di eventi a bassa magnitudo ( $<3$ ), può portare ad una sovrastima del valore del parametro  $b$  della relazione di Gutenberg e Richter (1944) e, in maniera più ampia, rappresenta una fonte di errore per tutti gli utilizzatori dei cataloghi per fini statistici. Inoltre, lo sviluppo, negli ultimi anni, di analisi di pericolosità e *forecasting* sempre più basate su dati di microsismicità (e.g. Schorlemmer e Wiemer, 2005) comporta la necessità di un dataset completo già a piccole magnitudo: la discriminazione tra sismicità naturale e sismicità generata dall'attività antropica sta assumendo quindi una crescente importanza.

La ricerca di tali eventi è stata condotta attraverso l'applicazione dell'algoritmo di Wiemer e Baer (2000), al quale sono state apportate alcune modifiche.

Nel terzo capitolo viene infine analizzata la ipotizzata correlazione tra i meccanismi di fagliazione e il parametro  $b$  della relazione di Gutenberg e Richter (1944) nel territorio italiano e nelle regioni europee per le quali è disponibile una zonazione sismogenetica. Nel lavoro di Schorlemmer *et al.* (2005), la



correlazione è dimostrata calcolando il  $b$ -value su una griglia a scala mondiale raggruppando i terremoti in funzione dell'angolo di rake: i valori maggiori del parametro si ottengono per i terremoti che si originano in un regime distensivo, seguono quelli in un regime trascorrente mentre i valori minori si ottengono per i regimi compressivi. In quest'ottica il parametro  $b$  viene definito dagli autori (Schorlemmer *et al.*, 2005) un misuratore dello sforzo (*stressmeter*), cioè strettamente legato allo stress differenziale. Il principale ostacolo per una applicazione del metodo al territorio italiano è rappresentato dal numero ridotto per i terremoti per i quali è possibile avere indicazioni circa il meccanismo focale della sorgente: la correlazione è stata così ricercata calcolando il  $b$ -value all'interno delle zone sismogenetiche, alle quali è stato assegnato un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso la somma del tensore momento.

# 1. La relazione di Gutenberg-Richter

La relazione empirica tra frequenza e magnitudo di un terremoto può essere espressa con la legge di potenza descritta nel 1939 da Ishimoto and Iida ma generalmente nota come *relazione di Gutenberg and Richter* (1944):

$$\text{Log } N(M) = a - b M$$

dove  $N$  è il numero cumulativo degli eventi con magnitudo  $\geq M$  e i parametri  $a$  e  $b$  sono costanti. In particolare,  $a$  è funzione del numero dei terremoti e delle dimensioni dell'area e può quindi fornire una misura approssimativa del tasso di sismicità totale (es. Pacheco *et al.*, 1992; Lopez Casado *et al.*, 1995; Rhoades, 1996; Abercrombie *et al.*, 1996; Bayrak *et al.*, 2002);  $b$ , che graficamente rappresenta la pendenza della retta, esprime invece il rapporto tra il numero di piccoli e grandi terremoti. Più semplicemente, il numero di terremoti che avviene in una regione in un dato intervallo di tempo diminuisce in maniera esponenziale all'aumentare della magnitudo: il numero dei piccoli terremoti è cioè molto maggiore rispetto a quello dei grandi terremoti.

Mentre le dimensioni del parametro  $a$  sono oggettivamente legate all'intervallo spazio-temporale, il valore del parametro  $b$  ha alimentato e continua ad alimentare un fertile dibattito nella letteratura scientifica degli ultimi decenni. Gutenberg e Richter (1944) notarono che, a scala mondiale e per aree molto estese, questo potesse essere prossimo all'unità. Se tale valore fosse invece variabile nel tempo e/o nello spazio descriverebbe il processo fisico come dipendente e controllato da altri fattori, quali, ad esempio, l'eterogeneità della crosta, la cinematica dell'area, la profondità dello strato sismogenetico.

L'argomento verrà trattato con maggiore dettaglio nel capitolo 3.

In generale, trattandosi di una legge di potenza, il processo di generazione dei terremoti è così caratterizzato da invarianza di scala, implicando uguali caratteristiche per piccoli e grandi eventi.

Ai fini della pericolosità sismica, una conseguenza diretta della variabilità del parametro  $b$  è nel calcolo dei tassi di sismicità di una determinata regione. Infatti, un  $b$  inferiore all'unità indica un numero di eventi a magnitudo alta maggiore rispetto al numero di eventi a magnitudo bassa e viceversa.

Nel primo lavoro presente in questo capitolo (Gulia e Meletti, 2008), pubblicato sul *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* e presentato al *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (1<sup>th</sup> ECEES, Ginevra, 3-8 settembre 2006)*, viene valutato l'impatto sulle stime di *hazard* della scelta di un valore fisso e costante per il parametro *b* attraverso il confronto tra la Mappa di Pericolosità Sismica Italiana (MPS04, Gruppo di Lavoro MPS, 2004), realizzata associando ad ogni zona sismogenetica (Meletti *et al.*, 2008) un differente *b*, e una mappa ottenuta attraverso la medesima procedura (stesso albero logico e stesse scelte per catalogo, leggi di attenuazione del suolo e zonazione sismogenetica), ma imponendo un *b* fisso e uguale a 1.

La procedura legata al calcolo dei tassi adottati in Gulia e Meletti (2008) è spiegata in dettaglio nella seconda parte del secondo lavoro allegato (Meletti *et al.*, 2007). Si tratta del rapporto tecnico prodotto all'interno della convenzione DPC-INGV *'Progetti Sismologici e Vulcanologici di interesse per il Dipartimento della Protezione Civile'* per il Progetto S1- *Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi-*, Task 1, Deliverable D5.

## Testing the *b*-value variability in Italy and its influence on Italian PSHA

L. GULIA and C. MELETTI

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Pisa, Italy*

(Received: April 2, 2007; accepted: May 23, 2007)

**ABSTRACT** The supposed *b*-value spatial variability is the central topic of many scientific works dealing with forecast modeling applications or geological correlations. If used for seismicity rate determination, the *b*-value plays an important role in probabilistic seismic hazard assessment, but how much does it influence the results? In the logic tree approach used for the new probabilistic seismic hazard map of Italy, named MPS04, one of the sources of epistemic uncertainty considered was the procedure for computing seismicity rates. Two alternatives were adopted: 1) to compute the activity rates for each binned magnitude class and 2) to compute a Gutenberg-Richter distribution. In the logic tree branches, where the Gutenberg-Richter distribution was adopted, the corresponding *b*-value was evaluated for each seismogenic zone: it spans between 0.63 and 2.01. After analysing the *b*-value variability in the Italian region, this work evaluates the impact of setting the *b*-value equal to 1 on the results of seismic hazard assessment in terms of *PGA* and energy release compared to the choices adopted for MPS04.

### 1. Introduction

The Gutenberg and Richter (1944) relation defines the empirical relationship between frequency and magnitude of earthquakes as

$$\text{Log } N(M) = a - bM$$

where: *N* is the cumulative number of earthquakes of magnitude  $\geq M$ ; *a* and *b* are constants. *a* depends on seismicity rates; *b* is representative of the earthquake, size ratio. The authors themselves define *b*-value equal to 1 on a worldwide scale and for large volumes.

Nowadays the *b*-value estimation at different scales is the subject of many scientific works, as it may reflect physical properties of the media. There are two main theories:

1. *b*-value is fixed and equal to 1 (Kagan, 2002): it implies considering the earthquake processes not only to be self-similar but also globally invariant, giving the same characteristics to small and large events;
2. *b*-value is variable (e.g. Lomnitz-Adler, 1992; Pacheco *et al.*, 1992; Shanker and Sharma, 1998; Schorlemmer and Wiemer, 2005; Schorlemmer *et al.*, 2005; Wiemer and Schorlemmer, 2007): it implies relationships with different tectonic regimes, stress-changes and heterogeneity of the materials.

Many authors pointed out the spatio-temporal *b*-value variability: some of them in seismic

hazard assessment analysis [e.g. Shanker and Sharma (1998) for the Himalayan region], others in earthquake forecasting modeling application [e.g. Schorlemmer *et al.* (2004a, 2004b) both for California] and others in correlations between  $b$ -value and tectonics [e.g. Lopez-Casado *et al.* (1995) for the Betic Cordillera; Oncel *et al.* (1996) for the Anatolian fault zones, Turkey; Schorlemmer *et al.* (2005) for a worldwide correlation between  $b$ -value and focal mechanisms]. Bayrak *et al.* (2002) and Olsson (1999) summarize the state-of-the-art of different  $b$ -value estimates in literature; Marzocchi and Sandri (2003) summarize different methods to estimate the  $b$ -value while Krinitsky (1993) highlights the limits of the Gutenberg and Richter (from now on GR) distribution for the application in the engineering of critical structures.

The probabilistic seismic hazard map of Italy (MPS04, MPS Working Group, 2004), recently adopted as the national reference map for planning and design purposes, was elaborated applying a logic tree approach (Fig. 1) which considers two alternative sets of catalogue completeness time-intervals, four ground motion attenuation relationships (see Montaldo *et al.*, 2005) and two different modalities for the estimation of seismicity rates: one uses the GR relation; the other (AR) evaluates independent rates for each binned magnitude class. No alternatives were considered for the seismogenic zonation [ZS9, Meletti *et al.* (2007). Fig. 2] and for the earthquake catalogue [CPTI04, CPTI Working Group (2004)], since no really epistemic options are available. In all, the logic tree results in 16 branches which have been weighted based on expert opinion as indicated in Fig. 1.

In the eight branches where the GR relation was adopted, the  $b$ -value was evaluated for each seismogenic source zone, yielding values in the range from 0.63 to 2.01. Although not explicitly indicated in their technical report, the underlying assumption made by the authors of MPS04 is that the  $b$ -value varies as a consequence of different seismotectonic characteristics. Therefore, it should vary from one source zone to the other.

To verify this hypothesis, in the first part of this article we analyse the spatial variability of the  $b$ -value in the Italian territory at different scales using different zoning options or a regular grid.

In the second part instead, we test how a  $b$ -value always equal to 1 influences the seismic hazard assessment, considering all branches of the logic tree of Fig.1 and the relative weights.

## 2. Analysis of the $b$ -value spatial variability

The spatial variability of the  $b$ -value was analysed using a regular grid (a 16-cell square) with  $1^\circ$  spacing; the square bounds are  $34^\circ\text{N}$ ,  $50^\circ\text{N}$ ,  $5^\circ\text{E}$  and  $21^\circ\text{E}$  (Fig. 3). We use the same catalogue adopted in MPS04, i.e. CPTI04 catalogue (CPTI Working Group, 2004) and the same two sets of completeness time intervals, one historical and one statistical. The catalogue, developed during the processing of MPS04, contains earthquakes with  $I_0 \geq 5.5$  and it is declustered; only for the Etna volcanic area a lower threshold was adopted. It reports 2550 earthquakes from 217 B.C. to 2002 A.D. in Italy and surrounding regions; moment magnitude spans between 3.92 and 7.41. Fig. 4 shows the distribution of epicenters according to the two completeness time intervals.

A difference with respect to MPS04 is that the completeness intervals were defined for 12 magnitude classes and for each source zone, whereas we chose the completeness time-intervals of one source zone to represent an average completeness for the whole catalogue (Table 1), because a direct correlation between source zones and cells does not exist. We calculated

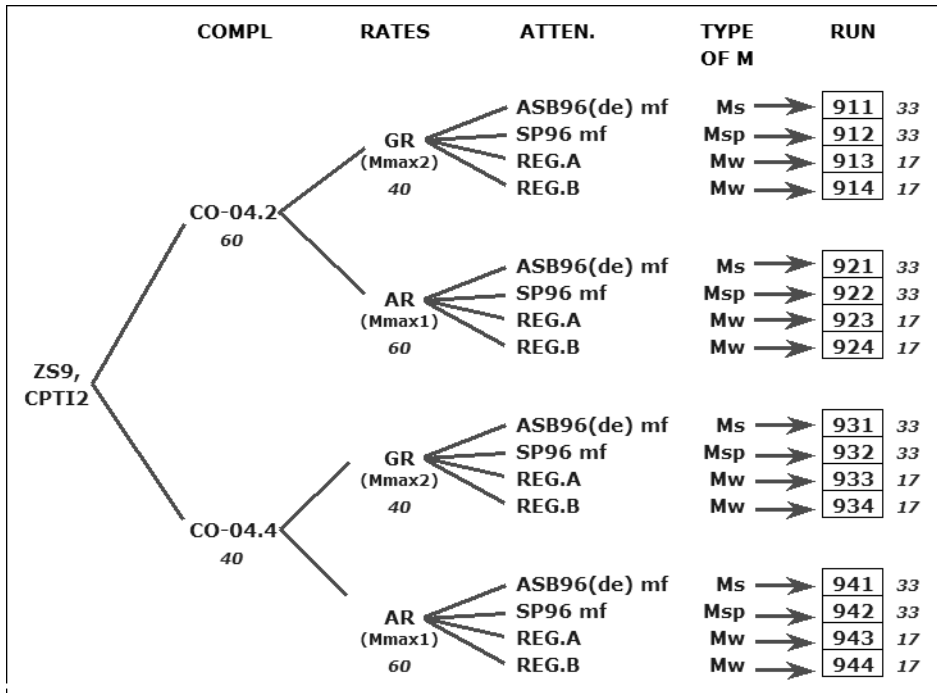


Fig. 1 - Logic tree adopted in MPS04 (MPS Working Group, 2004). The number close to each epistemic alternative represents its weight.

seismicity rates for a 100-year period for each grid cell. In order to evaluate only the impact of the fixed *b*-value, we chose to use the same procedure adopted in MPS04, including the least squares method for seismicity rate determination, even if we are aware of its limits, as described by McGuire (2004). In the CPTI04 catalogue, 1471 earthquakes are consistent with historical completeness and 1113 earthquakes with the statistical one.

The *b*-value variability was evaluated through two methods: 1) by a regular subdivision of the grid in the cells and 2) by grouping the cells depending on geographical neighbourhood. In this work, we limited our analysis to the observation of the variability, without investigating its causes (e.g. a different number of earthquakes, area dimensions or geological characteristics).

Table 1 – Time completeness intervals of the CPTI04 catalogue used for the analysis of the *b*-value variability in the Italian territory.

	4.76 ±0.115	4.99 ±0.115	5.22 ±0.115	5.45 ±0.115	5.68 ±0.115	5.91 ±0.115	6.14 ±0.115	6.37 ±0.115	6.60 ±0.115	6.83 ±0.115	7.06 ±0.115	7.29 ±0.115
<b>Historical completeness</b>	1871	1871	1700	1700	1530	1530	1300	1300	1300	1300	1300	1300
<b>Statistical completeness</b>	1910	1871	1871	1700	1700	1530	1530	1300	1300	1300	1300	1300

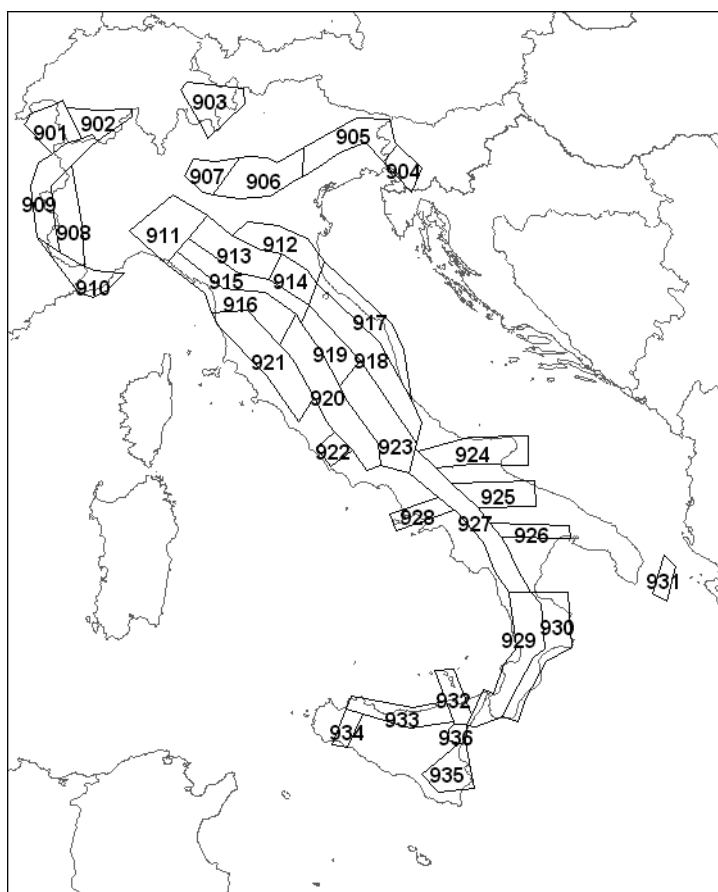


Fig. 2 - ZS9 seismogenic zonation, redrawn from Meletti *et al.* (2007).

### 2.1. Regular subdivision of the grid

The whole grid (named A), which contains 256 cells, was divided into smaller areas with a decreasing number of cells: 1) half the number of cells (Fig. 3b), 2) the fourth part (Fig. 3c) and 3) the sixteenth part (Fig. 3d). The areas with  $a$ -value greater than 0.50 were subdivided further. Areas containing 64 to 256 cells are indicated by capital letters while smaller areas (16 cells) with capital letters and numbers and the smallest areas (4 cells; Table 2) with capital letters, numbers and small letters.

Table 2 sums up the  $a$ -values and  $b$ -values obtained for successive grid subdivisions: 39 areas according to the historical completeness and 38 areas according to the statistical one, have a statistically firm number of events. The  $b$ -value for the whole grid is 1.27 according to the historical completeness and 1.30 according to the statistical completeness (from now on the first  $b$ -value will refer to historical completeness and the second to the statistical one). 36 areas out of 39 and 35 out of 38 (Table 2) have a  $b$ -value greater than 1 and there is no correlation between the two parameters of the GR relation: the  $b$ -value is independent of the number of events (Fig.

Table 2 - The  $a$ -values and  $b$ -values obtained for whole grid and for grid subdivisions according to historical and statistical completeness time intervals; each grid subdivision area is characterised by name and number of cells. The areas missing are those where there is a small number of earthquakes.

<i>Name</i>	<i>Number of cells</i>	<i>Historical completeness</i>		<i>Statistical completeness</i>	
		<i>a-value</i>	<i>b-value</i>	<i>a-value</i>	<i>b-value</i>
A	256	2.91	<b>1.27</b>	2.92	<b>1.30</b>
B	128	2.74	<b>1.52</b>	2.75	<b>1.57</b>
C	128	2.43	<b>1.06</b>	2.44	<b>1.09</b>
D	64	2.55	<b>1.57</b>	2.55	<b>1.71</b>
E	64	2.29	<b>1.30</b>	2.31	<b>1.34</b>
F	64	1.32	<b>1.83</b>	1.24	<b>1.64</b>
G	64	2.39	<b>1.05</b>	2.41	<b>1.07</b>
D1	16	1.45	<b>1.55</b>	1.35	<b>1.45</b>
D2	16	1.75	<b>1.43</b>	1.73	<b>1.45</b>
D3	16	1.70	<b>1.42</b>	1.72	<b>1.73</b>
D4	16	2.35	<b>1.62</b>	2.36	<b>1.76</b>
E1	16	1.87	<b>1.49</b>	1.86	<b>1.35</b>
E3	16	2.07	<b>1.21</b>	2.12	<b>1.28</b>
F2	16	1.23	<b>1.70</b>	1.15	<b>1.58</b>
G1	16	2.29	<b>1.07</b>	2.30	<b>1.09</b>
G2	16	1.06	<b>1.05</b>	1.99	<b>1.06</b>
G3	16	1.58	<b>1.03</b>	1.65	<b>1.05</b>
D1d	4	1.27	<b>1.41</b>	1.14	<b>1.24</b>
D2c	4	1.37	<b>1.85</b>	1.34	<b>1.84</b>
D2d	4	1.51	<b>1.27</b>	1.35	<b>1.20</b>
D3a	4	2.25	<b>2.21</b>	1.27	<b>1.73</b>
D3b	4	1.43	<b>1.90</b>	1.42	<b>2.01</b>
D3d	4	2.09	<b>1.25</b>	2.00	<b>1.66</b>
D4a	4	2.58	<b>1.65</b>	1.86	<b>1.92</b>
D4b	4	1.67	<b>1.67</b>	1.67	<b>1.57</b>
D4d	4	2.01	<b>1.57</b>	0.78	<b>1.04</b>
E1c	4	1.76	<b>1.40</b>	1.74	<b>1.41</b>
E1d	4	1.22	<b>2.16</b>	1.25	<b>1.26</b>
E3a	4	1.23	<b>1.44</b>	1.29	<b>1.49</b>
E3c	4	1.81	<b>1.06</b>	1.82	<b>1.13</b>
E3d	4	0.97	<b>2.24</b>	1.02	<b>2.21</b>
F2b	4	1.11	<b>1.77</b>	-	-
F2d	4	0.52	<b>1.40</b>	0.68	<b>1.58</b>
G1a	4	1.73	<b>1.08</b>	1.67	<b>1.05</b>
G1b	4	1.73	<b>0.93</b>	1.78	<b>0.99</b>
G1c	4	1.39	<b>1.63</b>	1.47	<b>1.64</b>
G1d	4	1.80	<b>0.95</b>	1.80	<b>0.96</b>
G3a	4	1.33	<b>1.74</b>	1.67	<b>1.05</b>
G3b	4	1.23	<b>0.83</b>	1.26	<b>0.89</b>



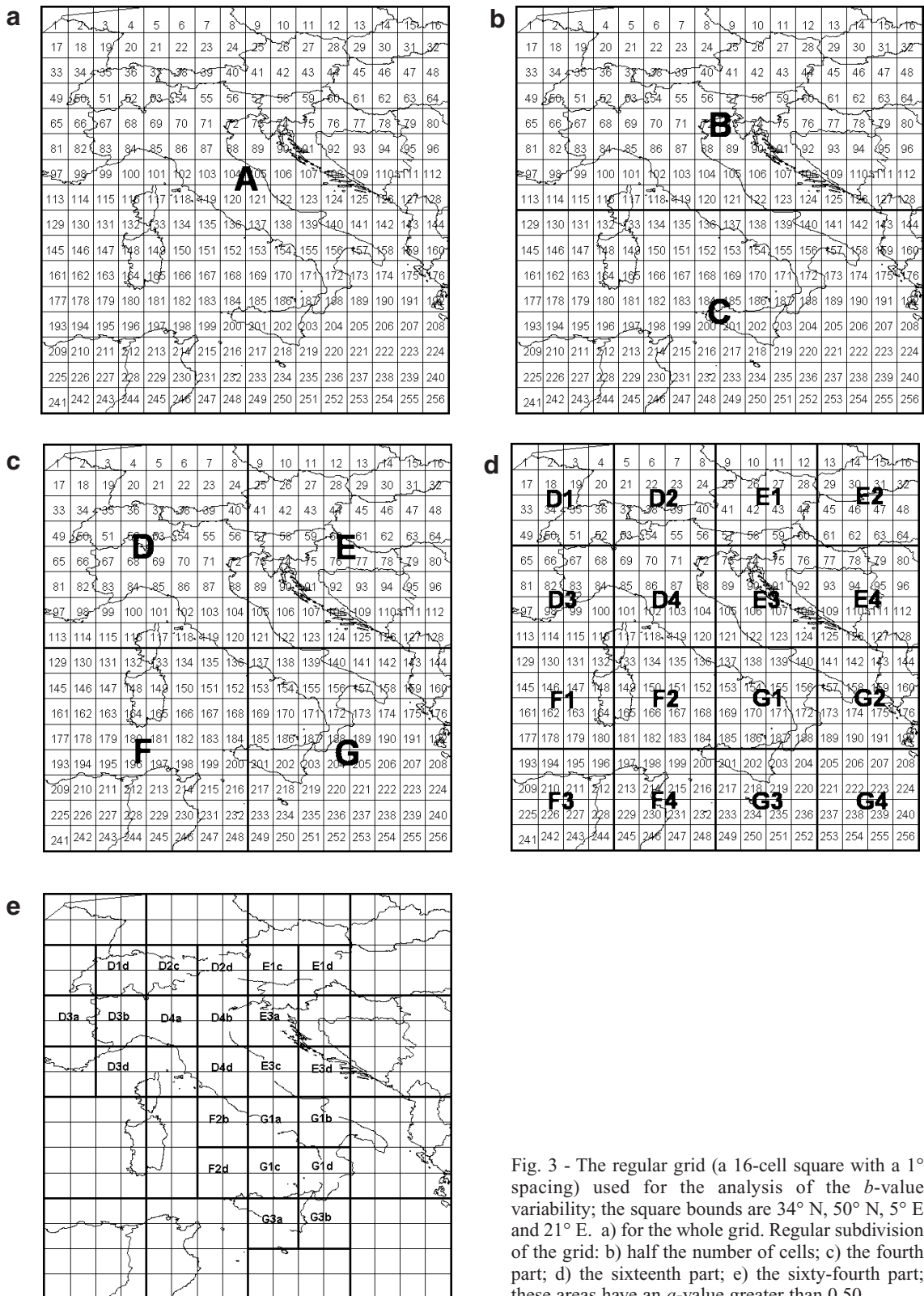


Fig. 3 - The regular grid (a 16-cell square with a 1° spacing) used for the analysis of the *b*-value variability; the square bounds are 34° N, 50° N, 5° E and 21° E. a) for the whole grid. Regular subdivision of the grid: b) half the number of cells; c) the fourth part; d) the sixteenth part; e) the sixty-fourth part; these areas have an *a*-value greater than 0.50.

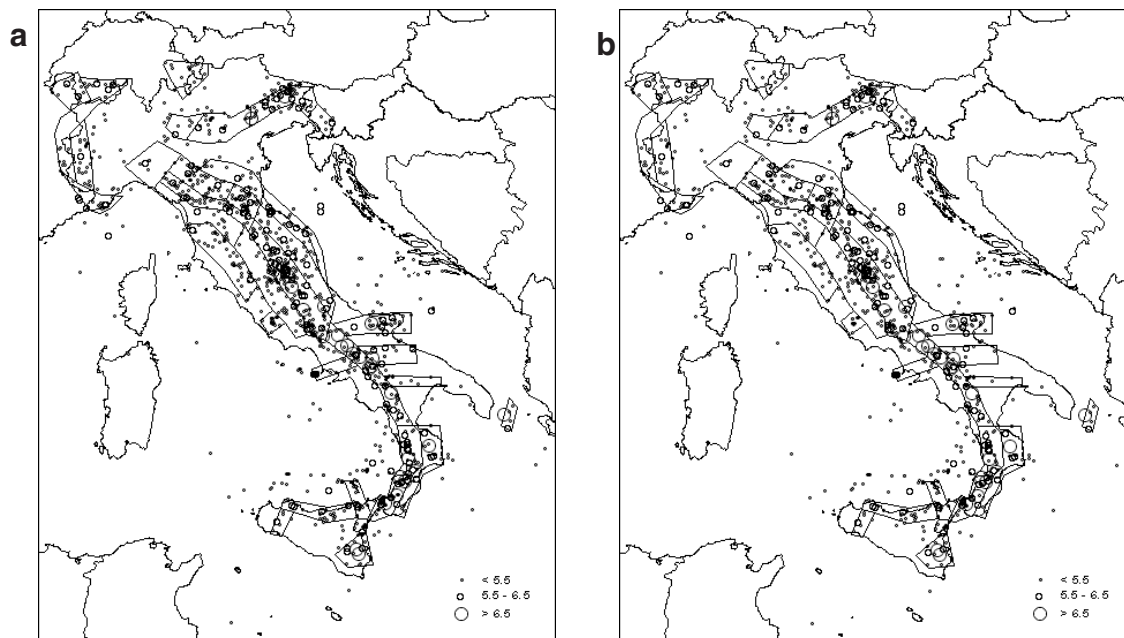


Fig. 4 - Maps of the epicenters in CPTI04, according to the historical completeness time interval (a) and to the statistical completeness time interval (b), showed in Table 1.

5). For both completenesses the *b*-value shows a wide variability and values very different to 1.

## 2.2. Geographical grouping of the cells

The cells were grouped by a rough tectonic criterion (Fig. 6): north-eastern Alps (cells 51-52-53-67-68-69-83-84), north-western Alps (cells 54-55-56-57-70-71-72-73), northern Apennine (cells 85-86-87-88-102-103-104), central Apennine (cells 105-119-120-121-136-137), southern Apennine (cells 122-138-139-140-153-154-155-156), Calabrian Arc (cells 171-172-173-187-188-189) and Sicily (cells 184-185-186-200-201-202-203-216-217-218-219). Table 3 shows the

Table 3 - The *a*-values and *b*-values obtained for geographical grouping of the cells.

Name	<i>Historical completeness</i>		<i>Statistical completeness</i>	
	<i>a</i> -value	<i>b</i> -value	<i>a</i> -value	<i>b</i> -value
North-Eastern Alps	1.90	<b>1.34</b>	1.91	<b>1.28</b>
North-Western Alps	1.74	<b>1.76</b>	1.70	<b>1.66</b>
Northern Apennine	2.16	<b>1.49</b>	2.16	<b>1.64</b>
Central Apennine	2.19	<b>1.26</b>	2.17	<b>1.32</b>
Southern Apennine	1.89	<b>0.93</b>	1.92	<b>0.96</b>
Calabrian Arc	1.82	<b>0.96</b>	1.83	<b>0.97</b>
Sicily	1.80	<b>1.15</b>	1.88	<b>1.18</b>

Table 4 - Energy release (value  $\times 10^{13}$  joule) in each seismogenic source zone for historical and statistical completenesses evaluated from the seismicity rates normalized to 100 years in MPS04, in the test 1 and in the test 2 and adopted  $b$ -values in MPS04.

SSZ in ZS9	Historical Completeness				Statistical Completeness			
	MPS04 $b$ value	MPS04	Test 1	Test 2	MPS04 $b$ value	MPS04	Test 1	Test 2
901	1.18	3.15	2.96	4.04	1.26	4.63	5.82	5.80
902	1.26	6.22	9.13	6.59	1.05	6.62	6.65	6.73
903	1.26	2.69	4.28	2.87	1.05	2.43	4.43	3.42
904	1.12	1.44	4.50	2.41	1.32	1.36	5.09	2.18
905	1.06	31.19	49.82	30.43	1.12	38.23	60.17	40.37
906	1.14	8.70	21.37	8.05	1.70	6.35	18.62	13.58
907	1.71	2.02	3.53	2.17	1.48	2.33	5.51	3.27
908	1.91	3.01	8.06	5.47	1.67	3.07	8.03	5.13
909	1.27	1.90	2.65	3.70	1.38	2.72	4.49	4.13
910	1.12	6.79	10.28	7.09	1.06	6.40	7.31	6.59
911	1.47	1.27	3.81	2.32	1.33	1.77	4.93	3.26
912	1.35	5.58	5.68	4.40	1.32	4.92	4.94	3.89
913	1.80	5.60	18.09	6.16	1.53	7.56	13.47	8.75
914	1.33	6.93	15.95	6.50	1.23	9.47	11.03	9.32
915	1.34	15.72	49.81	26.37	1.36	22.34	59.66	23.76
916	1.96	2.18	4.42	3.18	1.58	3.09	4.99	4.49
917	1.04	8.81	6.66	6.61	1.01	11.01	8.42	8.12
918	1.10	15.24	16.99	11.79	1.11	19.34	19.40	15.31
919	1.22	17.33	28.62	18.79	1.39	18.04	33.53	20.13
920	1.96	6.40	12.02	9.06	1.58	7.75	10.99	8.31
921	2.00	6.58	14.95	5.50	2.01	6.18	13.56	7.36
922	2.00	1.96	3.02	1.81	2.01	2.37	2.02	2.28
923	1.05	104.10	179.30	105.45	1.09	98.30	163.22	103.62
924	1.04	30.85	40.42	31.17	1.06	30.97	44.78	31.42
925	0.67	27.35	14.28	15.84	0.75	29.95	19.40	19.46
926	1.28	2.26	4.86	2.82	1.38	2.74	5.52	3.33
927	0.74	183.67	100.74	120.34	0.72	179.08	86.95	115.32
928	1.04	3.53	2.79	2.82	0.66	4.76	2.74	3.35
929	0.82	250.84	144.00	182.45	0.79	259.59	114.47	189.39
930	0.98	21.99	23.21	21.59	0.89	26.12	16.87	23.64
931	0.63	24.81	9.54	11.93	0.63	24.81	9.54	11.93
932	1.21	5.15	10.43	5.17	1.08	7.19	8.08	5.15
933	1.39	8.75	9.80	6.87	1.24	11.37	10.70	12.05
934	0.96	3.13	3.85	2.84	0.93	3.07	3.48	2.77
935	0.72	80.82	32.46	45.97	0.69	111.96	35.50	56.23
936	1.63	2.54	2.46	2.04	1.22	2.90	2.13	2.12
<b>Total energy</b>		910.51	874.74	732.61		980.78	836.42	785.93

results: in the Alps, the northern Apennines, the central Apennines and Sicily, the  $b$ -value is greater than 1 and varies from 1.15 to 1.76; in southern Italy and Calabria it is less than 1 (from 0.93 to 0.97). These values match the MPS04  $b$ -values (Table 4) reasonably well: greater than 1 for northern and central Italy and for Sicily, less than 1 for southern Italy.

The above analyses, based on different kinds of subdivisions of the Italian territory (cells or

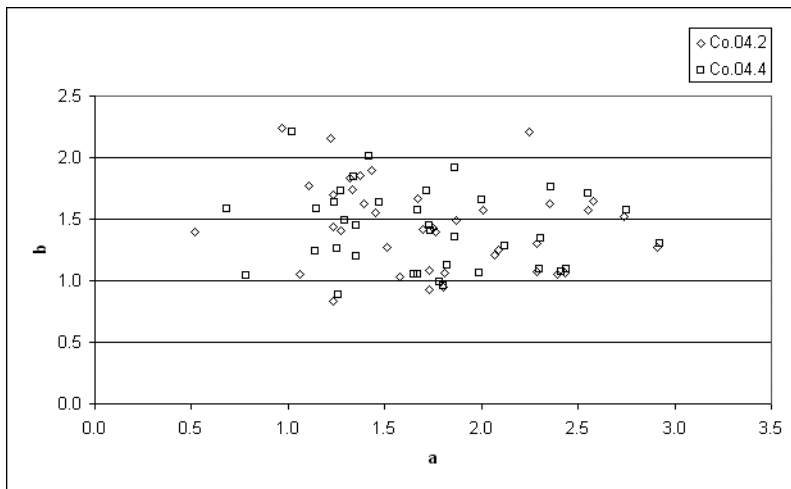


Fig. 5 . Relation between the *b*-value and the *a*-value (log of the total number of earthquakes) in the whole grid and in the smaller areas, according to the historical completeness (Co.04.2) and the statistical one (Co.04.4).

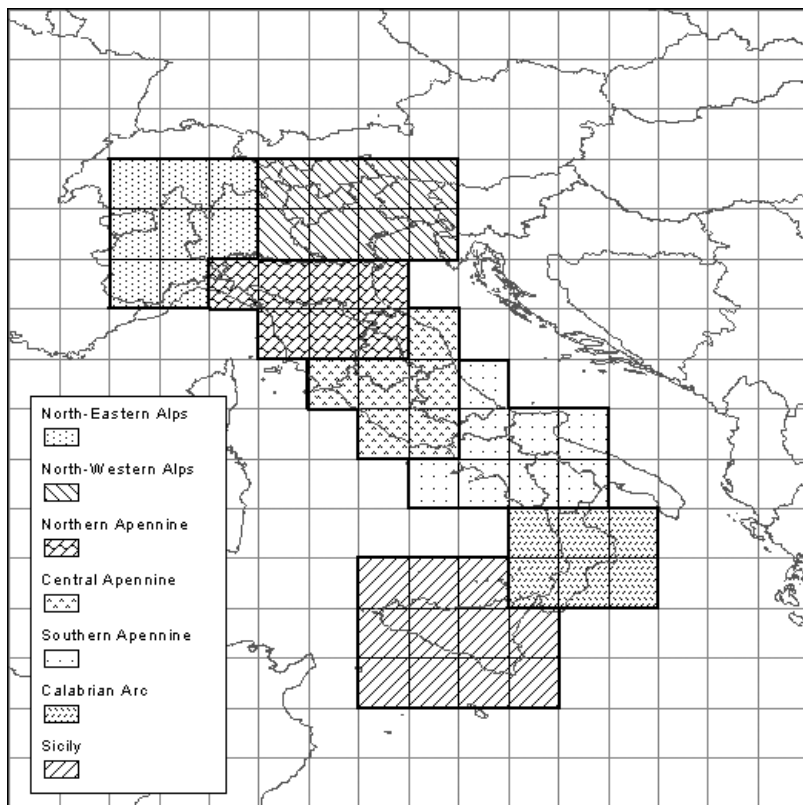


Fig. 6 - Tectonic grouping of the cells: north-eastern Alps, north-western Alps, northern Apennines, central Apennines, southern Apennines, Calabrian Arc and Sicily.

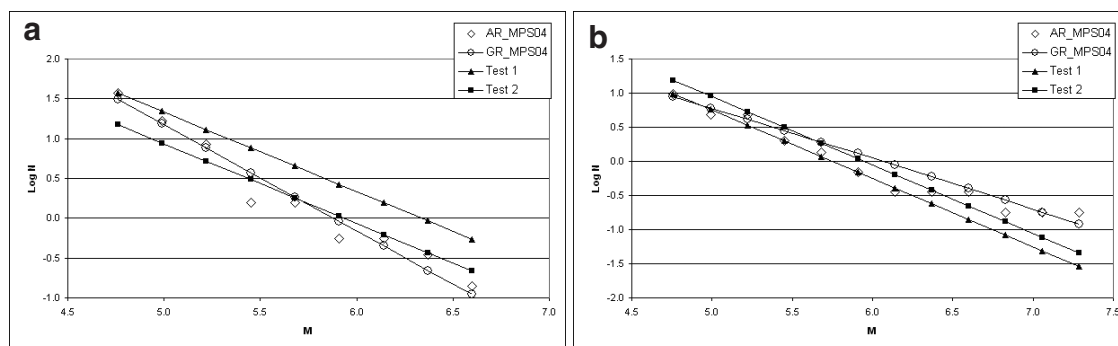


Fig. 7 - Frequency-magnitude distribution according to the MPS04 (blank diamonds for AR rates and blank circles for GR rates) and the two tests (triangles for test 1 and squares for test 2): a) source zone with an original  $b$ -value  $>1$  (SSZ 915); b) source zone with an original  $b$ -value  $<1$  (SSZ 935).

areas or source zones) highlight the high variability of the  $b$ -value: the use of a constant value seems to be unreal for the Italian region. Anyway, in order to understand if the choice of a fixed  $b$ -value is significant or not with respect to the seismic hazard assessment, we performed two different tests in the following.

### 3. Testing $b$ -value equal to 1

The impact of a  $b$ -value fixed to 1 was evaluated through the re-processing of the whole logic tree used in MPS04 (Fig. 1). We fixed the  $b$ -value equal to 1 in all the GR branches and selected two alternatives for the determination of the  $a$ -value, that is the cumulative number of events:

- i) **Test 1:** the same  $a$ -value estimated in MPS04 was adopted, i.e. the same total number of events;
- ii) **Test 2:** re-evaluating the  $a$ -value in each source zone with the least squares method using the fixed  $b$ -value. As a consequence the total number of events changes with respect to MPS04: more if the original  $b$ -value was less than 1; less in the opposite case.

As in MPS04, whenever the maximum magnitude is assumed higher than the maximum historical earthquake, the corresponding seismicity rate is determined extrapolating the GR relation.

Fig. 7 compares the three different fitting procedures (GR distribution in MPS04; GR distribution according to the test 1 approach; GR distribution according to the test 2 approach) applied to the observed rates (i.e. cumulative number of events per magnitude bin) represented by the blank diamonds. The comparison is shown for two seismogenic source zones (SSZ) where the  $b$ -value computed in MPS04 was respectively greater than 1 (SSZ 915) and less than 1 (SSZ 935).

**SSZ 915** (Fig. 7a): test 1 has the same total number of events as the MPS04 but a different distribution among magnitude classes. In particular, the number of large earthquakes increases and, consequently, the number of small earthquakes decreases. Test 2 leads to a new  $a$ -value,

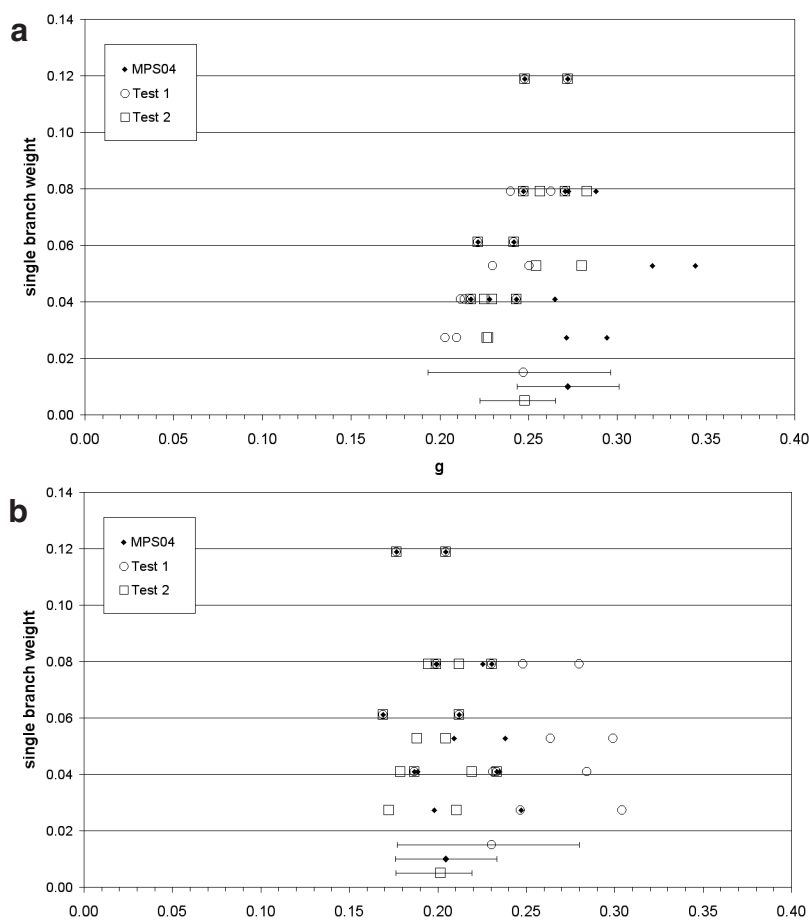


Fig. 8 - Single branch *PGA* values for MPS04, test 1 and test 2: a) SSZ 915; b) SSZ 935. In the lower part of the graphs the median value and the variability (expressed by the 16th and 84th percentiles) are superimposed and represented by a symbol and bars.

smaller with respect to that of MPS04: the number of large earthquakes increases, while the number of small ones decreases much more than in test 1. The seismicity rates are smaller in test 2 than in test 1 (less earthquakes are forecast).

**SSZ 935** (Fig. 7b): in test 1 the number of large earthquakes decreases and consequently the number of small earthquakes increases with respect to MPS04. In test 2, the new *a*-value is greater with respect to MPS04, hence the number of large earthquakes decreases, while the number of the small ones increases. Test 2 presents higher seismicity rates than test 1 (more earthquakes are forecast).

### 3.1. Single point and single branch analysis

Two seismic hazard maps representing *PGA* with 10% probability of exceedance in 50 years for hard ground sites were computed following the logic tree and the procedure described previously. In order to compare all elaborations with MPS04, the same regular spaced grid and the same software were used.

A weighted median (50<sup>th</sup> percentile) values as well as the 84<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> percentiles were obtained

by combining the 16 individual maps in a post-processing stage as done in MPS04.

To understand how different options influence the results, we first selected and analysed two localities and compared each branch of the logic tree and the three percentiles. Results are shown in Fig. 8: for both localities, the single values of each branch in the tests are reported; the  $X$ -axis is the  $PGA$  value and the  $Y$ -axis is the relative weight of the branch. The percentiles, according to MPS04 and the two tests, are reported too. Of course, the results for the 8 unmodified branches are the same.

Fig. 8a shows the results obtained for a site in a source zone site in the northern Apennine (SSZ 915) where the  $b$ -value in MPS04 is greater than 1. The distribution of the points representing the 16 branches is obviously different in the three approaches. In test 1, higher values and a wider dispersion correspond to a higher median estimate and a greater variability. In test 2, on the contrary, the median is quite similar to the MPS04 estimate.

Fig. 8b shows the results obtained for a locality in a source zone in southern Italy (SSZ 927) where the  $b$ -value in MPS04 is less than 1. For both tests the values obtained for single branches are lower than the MPS04 estimates and the median results are approximately 10% lower. Again in test 1 the variability increases; in test 2, it decreases slightly even if the median is lower than in MPS04.

Finally, we examined the outcomes of a single logic tree branch: in this case, we show the results relative to the branch named “911” in the logic tree in Fig. 1, i.e. historical completeness, the GR rates and Ambraseys *et al.* (1996) ground motion predictive relationship are the choices.

Fig. 9a shows the results obtained in MPS04 for branch “911”, while Figs. 9b and 9c represent the differences between MPS04 and test 1 and between MPS04 and test 2, respectively: in the blue areas MPS04 has  $PGA$  values lower than the test, while in the red areas MPS04 values are greater. Differences are generally more prominent in the seismogenic source zones where the original  $b$ -value moves away from 1, in particular:

**Test 1:** large negative differences are in the northern Apennine seismogenic zones (SSZ 913, 914, 915, 919, 921) and in the Eolie-Patti source zone (SSZ 932), where original  $b$ -values are greater than 1.22; on the contrary, significant positive differences are found in southern Italy (SSZ 925, 929, 931) and in eastern Sicily (SSZ 935), where original  $b$ -values are less than 0.82.

**Test 2:** the differences in  $PGA$  values are less marked than in the previous case; the largest positive differences are in the source zones 925 ( $b$ -values in MPS04 is 0.67) and 921 (2.00), located respectively in southern Italy and along the coast of Tuscany, while the largest negative differences are in the zones 901 (1.18) and zones 927 (0.74), located respectively on the Swiss-French border and in southern Italy. Significant differences are also present in source zones with an original  $b$ -value close to 1 such as in north-eastern Italy (1.06), the central Apennines (1.05) and western Sicily (0.96).

As noted in test 2, in the previous paragraph, the approach followed in this test produces a widespread decrease of the  $PGA$  values with respect to the approach adopted for MPS04.

Considering both tests, differences range between -0.084 g and +0.108 g, corresponding to a relative maximum variation of 55% and, generally, the approach of test 1 results in wider differences than the approach of test 2.

### 3.2. Median maps

The maps shown in Fig. 10 represent MPS04 (median  $PGA$  values, Fig. 10a) as well as the differences between such map and the corresponding median  $PGA$  map obtained from test 1 (Fig.

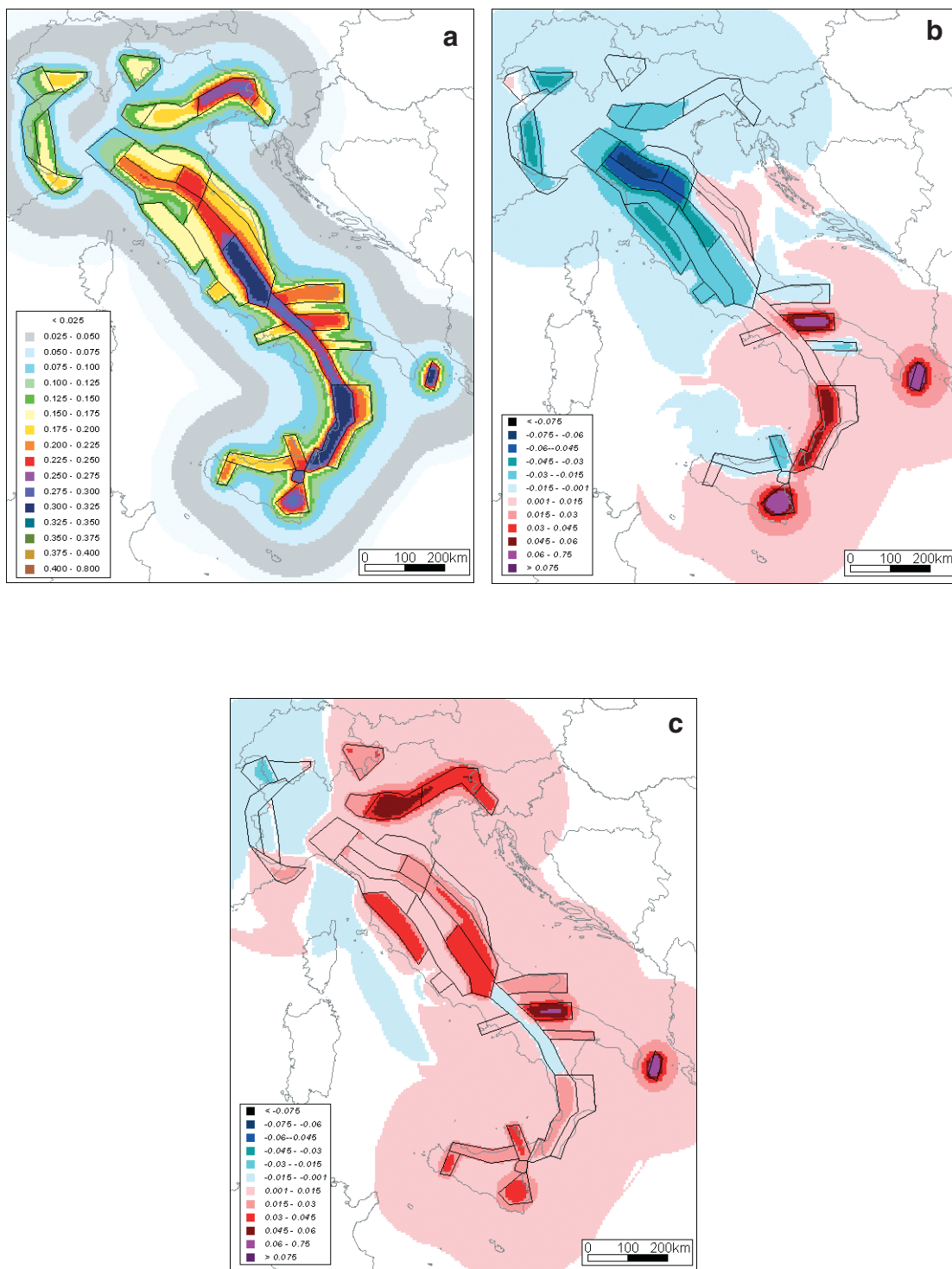


Fig. 9 - a) Map of the 911 branch in MPS04; b) map of the differences between the 911 branch for MPS04 and the Run 911 for test 1 and c) map of the differences between the 911 branch for MPS04 and the Run 911 for test 2.



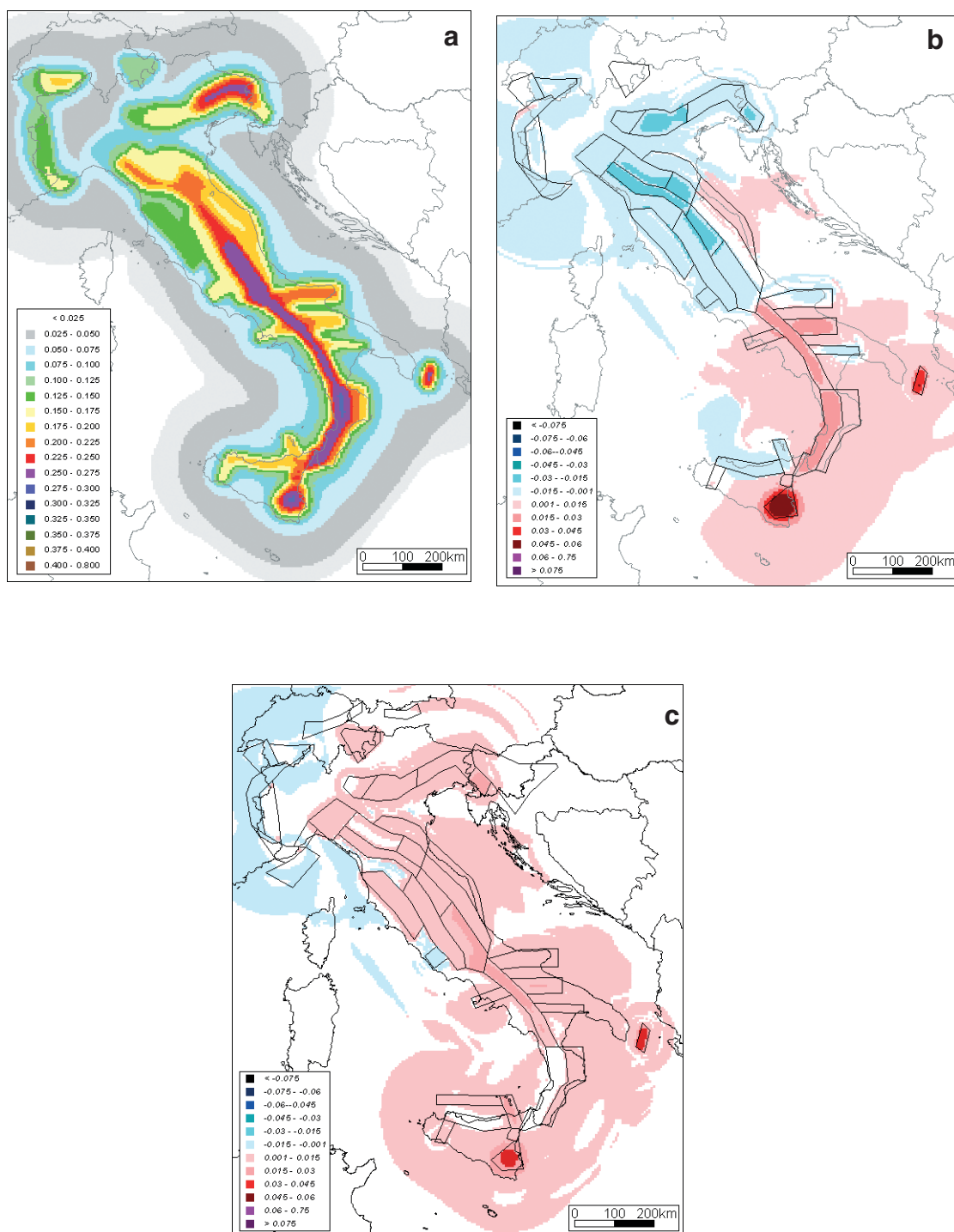


Fig. 10 - a) MPS04 median map (MPS Working Group, 2004); b) map of the differences between the MPS04 median map and the test 1 median map and c) map of the differences between the MPS04 median map and the test 2 median map.

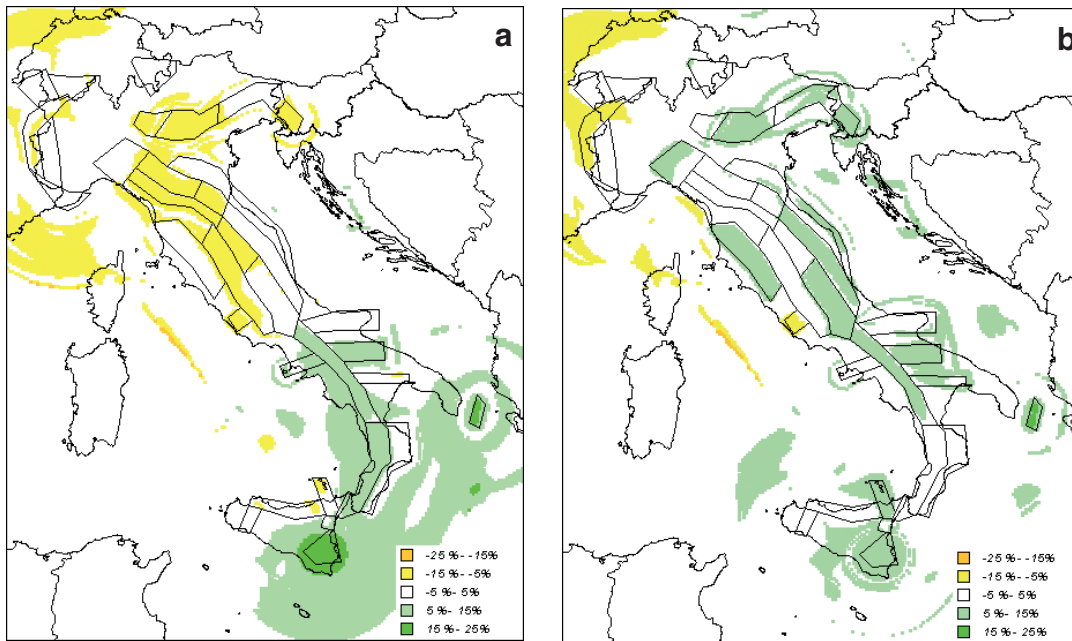


Fig. 11 - Percentage difference maps between MPS04 and test 1 (a) and test 2 (b).

10b) and test 2 (Fig. 10c). The same trend, described in the previous section for branch 911, can be observed here too, although we notice that the areas showing large maximum variations are smaller.

*Differences between MPS04 and test 1:* the map resulting from this approach is strictly dependent on the original *b*-values. If the original *b*-value is less than 1, *PGA* values are smaller than in MPS04 and if the original *b*-value is larger than 1, *PGA* values are greater than in MPS04. Again, the maximum variations are in those zones where *b*-values are most different from 1: minimum negative values are in southern (SSZ 931; original *b*-values 0.63) and eastern Sicily (SSZ 935, original *b*-values 0.72 and 0.69); maximum positive values are in north-eastern Italy (SSZ 906, original *b*-values 1.14 and 1.70) and in northern Apennines (SSZs 913, 914, 915, 919; original *b*-values 1.44 - 1.80 and 1.23 - 1.70).

*Differences between MPS04 and test 2:* the map shows a trend similar to the map shown in Fig. 9c and the variations with respect to MPS04 are less evident. The source zones in eastern Sicily (SSZ 935; original *b*-values 0.72 and 0.69) and in the Adriatic Sea (SSZ 931; original *b*-values 0.63) show maximum increased values, while only in north-western Italy (SSZs 901, 902, 908, 909; original *b*-values 1.18 - 1.91 and 1.05 - 1.67) and in the Albani Hills (SSZ 922) do they show negative variations.

The differences between MPS04 and the two tests correspond to a maximum variation of 24% (Fig. 11), limited to small areas with respect to the values in MPS04. However, since in the adopted logic tree the GR branches have a smaller weight than the AR ones (40% vs 60%, Fig.

1), the impact of a imposed and fixed  $b$ -value on SHA is smoothed in the resulting median map.

### 3.3. Energy release

Another way of assessing the impact of a fixed and an equal to 1  $b$ -value, is considering the energy release: different seismicity rates imply a different amount of released energy.

The energy release for MPS04 and the two tests were evaluated, both for historical and statistical completeness, in 100-year time period, by using the magnitude-energy relation from Gutenberg and Richter (1956):

$$\text{Log}_{10} E(\text{joule}) = 4.8 + 1.5 M_s.$$

For each source zone and for each completeness, we calculated the released energy corresponding to the magnitude of each binned class, and then, we multiplied it for the corresponding rates; the total energy released is the sum of the energy released for all the magnitude classes.

Table 4 shows the energy release for each source zone and for the two different sets of completeness time intervals defined in MPS04; the  $b$ -values used in MPS04 are reported too. The comparison between the total energy for the different maps shows that the cumulative energy decreases with respect to MPS04 in both tests and that in test 2 the difference is more significant (9% for test 1 and 20% for test 2). In each source zone the energy release shows a direct correlation with the  $b$ -value: it decreases if the  $b$ -value is less than 1, whereas it increases if the  $b$ -value is greater than 1. Considering the total energy (the sum of the released energy in every source zone), 29 out of 36 SSZs have a  $b$ -value greater than 1 (the energy in the tests increases) and 7 out of 36 SSZs have a  $b$ -value less than 1 (the energy decreases); the total energy decreases because the contribution of these latest SSZs is more than 50%.

## 4. Conclusions

In order to investigate new possible options for the logic tree adopted in the MPS04 project (MPS Working Group, 2004), different approaches to the seismicity rate evaluations were explored, according to the current literature, where many theories on the GR distribution are presented.

In the first part of the work, we estimated the  $b$ -value variability in the Italian territory: the values obtained confirm a wide variability of this parameter, in agreement with the  $b$ -values obtained for the Italian reference hazard map MPS04.

In the second part, we evaluated the impact on the PSHA of using a fixed  $b$ -value, through a comparison with MPS04: fixing the  $b$ -value to 1, two different approaches, to determine the  $a$ -value in the GR distribution, were adopted. The comparison between different approaches was performed at three levels: (1) for a single grid point, (2) for a single logic tree branch and (3) for the median PSHA map. For a single locality a general increase of variability is observed. The analysis of a single logic tree branch highlights differences in  $PGA$  values that are greater than in the final map: this is due to the different weights of the logic tree branches that determine a smoothing of the variation in median values with respect to single branch values. Anyway, the

differences between MPS04 and the two tests correspond to a maximum variation of 24% .

In the final part, setting the  $b$ -value to 1 produces a great variation in terms of energy release, that corresponds to a very different distribution in the number of earthquakes per magnitude class compared to the observed one.

In conclusion, the  $b$ -value in the Italian territory is extremely variable; this observation, together with the general trend observed in the tests of an increased variability of the final estimates, confirms that the use of a constant and equal to 1  $b$ -value is unrealistic in this area.

**Acknowledgement.** This research was performed in the frame of the activities of the project S1 (one of the INGV-DPC 2004-06 applied research programs), with the financial support of the Italian Department of Civil Protection (DPC – Dipartimento della Protezione Civile). A special thanks is due to Valentina Montaldo, who encouraged us with valuable and fundamental suggestions from the early steps of the work. The authors would also like to thank two anonymous reviewers for their useful comments which helped to improve the article.

## REFERENCES

- Ambraseys N.N., Simpson K.A. and Bommer J.J.; 1996: *Prediction of horizontal response spectra in Europe*. Earth. Eng. Struct. Dyn., **25**, 371-400.
- Bayrak Y., Yilmazturk A. and Ozturk S.; 2002: *Lateral variations of the modal ( $a/b$ ) values for the different regions of the world*. J. Geodyn., **34**, 653-666.
- CPTI Working Group; 2004: *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.
- Gutenberg B. and Richter C.F.; 1944: *Frequency of earthquakes in California*. Bull. Seismol. Soc. Am., **34**, 185-188.
- Gutenberg B. and Richter C.F.; 1956: *Magnitudes and energy of earthquakes*. Ann. Geofis., **9**, 1-15.
- Kagan Y.Y.; 2002: *Seismic moment distribution revisited: I. Statistical results*. Geophys. J. Int., **148**, 520-541.
- Krinitzsky E.L.; 1993: *Earthquake probability in engineering-Part 2: earthquake recurrence and limitations of Gutenberg-Richter  $b$ -values for the engineering of critical structures*. Eng. Geol., **36**, 1-52.
- 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.
- Lopez Casado C., Sanz de Galdano C., Delgado J. and Peinado M.A.; 1995: *The  $b$  parameter in the Betic Cordillera, Rif and nearby sectors. Relations with the tectonics of the region*. Tectonophysics, **248**, 277-292.
- Marzocchi W. and Sandri L.; 2003: *A review and new insights on the estimation of the  $b$ -value and its uncertainty*. Ann. Geophys., **46**, 1271-1282.
- McGuire R.K.; 2004: *Seismic hazard and risk analysis*. EERI, MNO-10, Oakland, CA, 221 pp.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G. and Boschi E.; 2007: *The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. Tectonophysics, submitted.
- Montaldo V., Faccioli E., Zonno G., Akinci A. and Malagnini L.; 2005: *Treatment of ground-motion predictive relationships for the reference seismic hazard map of Italy*. J. Seismol., **9**, 295-316.

- MPS Working Group; 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/>.
- Olsson R.; 1999: *An estimation of the maximum b-value in the Gutenberg-Richter relation*. *Geodynamics*, **27**, 547-552.
- Oncel A.O., Main I., Alptekin O. and Cowie P.; 1996: *Spatial variations of fractal properties of seismicity in the Anatolian fault zones*. *Tectonophysics*, **257**, 189-202.
- Pacheco J.F., Scholtz C.H. and Sykes L.R.; 1992: *Changes in frequency-size relationship from small to large earthquakes*. *Nature*, **355**, 71-73.
- Schorlemmer D. and Wiemer S.; 2005: *Microseismicity data forecast rupture area*. *Nature*, **434**, 1086.
- Schorlemmer D., Wiemer S. and Wyss M.; 2004a: *Earthquake statistics at Parkfield: 1. Stationarity of b values*. *J. Geophys. Res.*, B12307, doi: 10.1029/2004JB003234.
- Schorlemmer D., Wiemer S., Wyss M. and Jackson D.D.; 2004b: *Earthquake statistics at Parkfield: 2. probabilistic forecasting and testing*. *J. Geophys. Res.*, B12308, doi: 10.1029/2004JB003235.
- Schorlemmer D., Wiemer S. and Wyss M.; 2005: *Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes*. *Nature*, **437**, 539-542.
- Shanker D. and 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. and Schorlemmer D.; 2007: *ALM: An Asperity-based Likelihood Model for California*. *Seismol. Res. Letters.*, **78** (1), 134-140.

Corresponding author: Laura Gulia  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via della Faggiola 32, 56126 Pisa, Italy  
phone: + 39 050 8311934; fax: + 39 050 8311929; e-mail: [gulia@pi.ingv.it](mailto:gulia@pi.ingv.it)

Gold sponsors



Swiss Confederation  
Federal Department of Foreign Affairs

DEEA  
DECE  
DCE  
DEE  
DECE

DIREKTIÓN FÜR ENTWICKLUNG UND ZUSAMMENHÄNGE  
DIREZIONE DELLO SVILUPPO E DELLA COOPERAZIONE  
DIREZIONE DELLO SVILUPPO E DELLA COOPERAZIONE  
SWISS AGENCY FOR DEVELOPMENT AND COOPERATION  
AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACION



Swiss Re  
III

Silver sponsors

Basler & Basermann

converium

EUROCAT

PLAAS



ETH ZÜRICH

PÖYRY

Résonance

sia

w w w . e c e e s . o r g



A joint event of the

13th European Conference on  
Earthquake Engineering

6

30th General Assembly of the  
European Seismological Commission



# First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology

3-8 September 2006, Geneva, Switzerland

## Final Programme

SGEB



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun Tschiz

ETH Zürich



Swiss  
Seismological  
Service

**Session SS4: ESC-UNESCP Workshop on Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction:  
Studies in the Southern Mediterranean Countries  
Convenors: D. Slejko, D. Benouar, P. Gulkan**

**THE INFLUENCE OF b-VALUE ESTIMATE IN SEISMIC HAZARD ASSESSMENT**

**Gulia L., Meletti C.**

In any probabilistic seismic hazard assessment, an important role is played by the seismicity rates. This is confirmed by the wide and controversial discussions about the procedures for determination of them: Gutenberg and Richter distribution or independent rates in every magnitude class, size of binned magnitude class, least squares or maximum likelihood fit, and so on.

In 2004 a new seismic hazard reference map of Italy (MPS04) has been released adopting a logic tree approach for exploring the alternative epistemic choices. One of these choices was about the modality for compute seismicity rates: in the branches where Gutenberg and Richter distribution (GR) were adopted, the corresponding b-value was evaluated for each source zone, ranging from 0.63 to 2.

These results appeared in contrast with the affirmation of the authors that the b-value is equal to 1 on a worldwide scale and for large volumes; on the other hand many papers pointed out the spatio-temporal b-value variability related to different parameters, the local stress regime amongst others.

In this work it has been evaluated the effect of the equal to 1 b-value on the results of seismic hazard assessment. Two different approach have been used: i) the a-value in the GR distribution derive from MPS04; ii) the a-value has been evaluated in each source zones adopting the least squares method to fit individual rates. The first case involves a redistribution of earthquakes in the magnitude classes in comparison with MPS04, while the second one produces a new a-value, that means a different cumulative number of earthquakes.

The resulting maps have been compared to MPS04, both in terms of expected PGA and of energy balance. The analysis also shows the effect with respect to the weighted median values, and pertinent uncertainties, produced by an integrated logic tree.



**Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 / Progetto S1  
Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della  
mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di  
ulteriori sviluppi**

## **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<sup>(1)</sup>, V. Montaldo<sup>(2)</sup>, L. Gulia<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia;

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

**Milano-Pisa, 31 luglio 2007**



## 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).

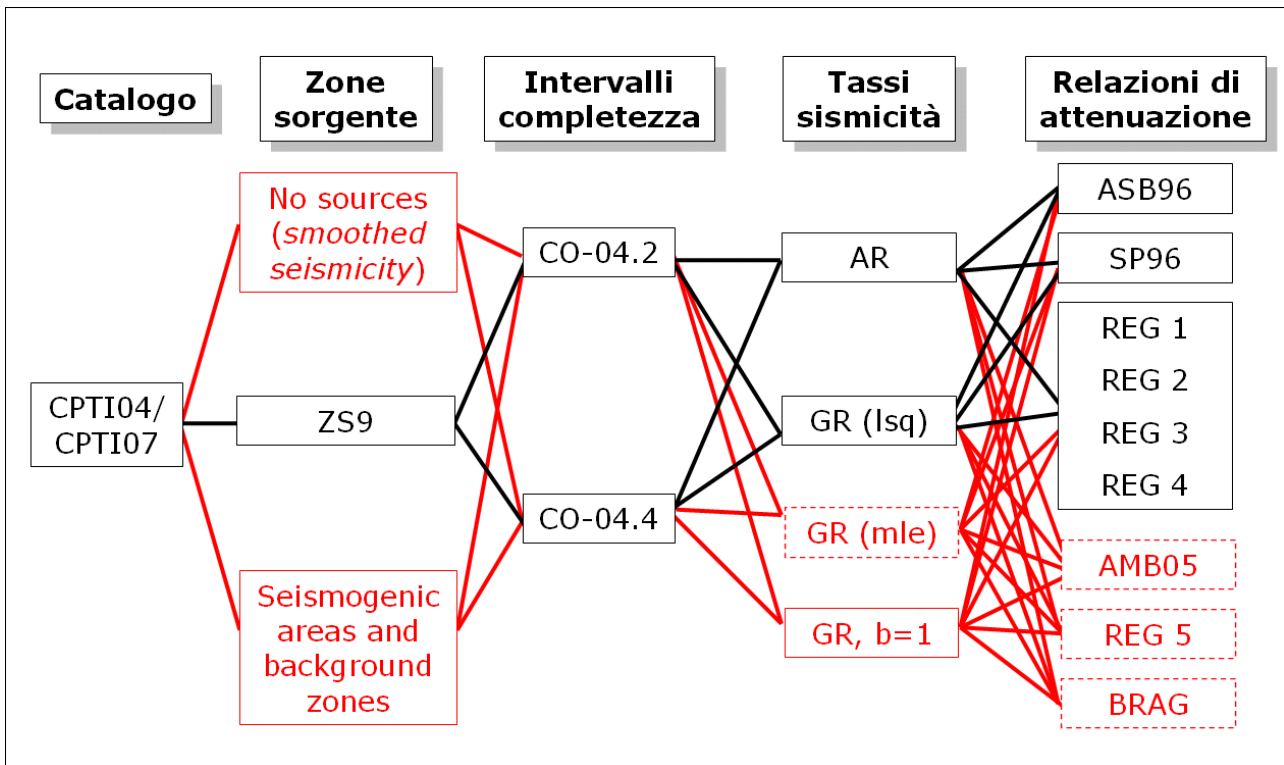


Figura 1. Schema delle possibili opzioni che possono essere aggiunte alla struttura ad albero logico adottata per la realizzazione di MPS04.

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).

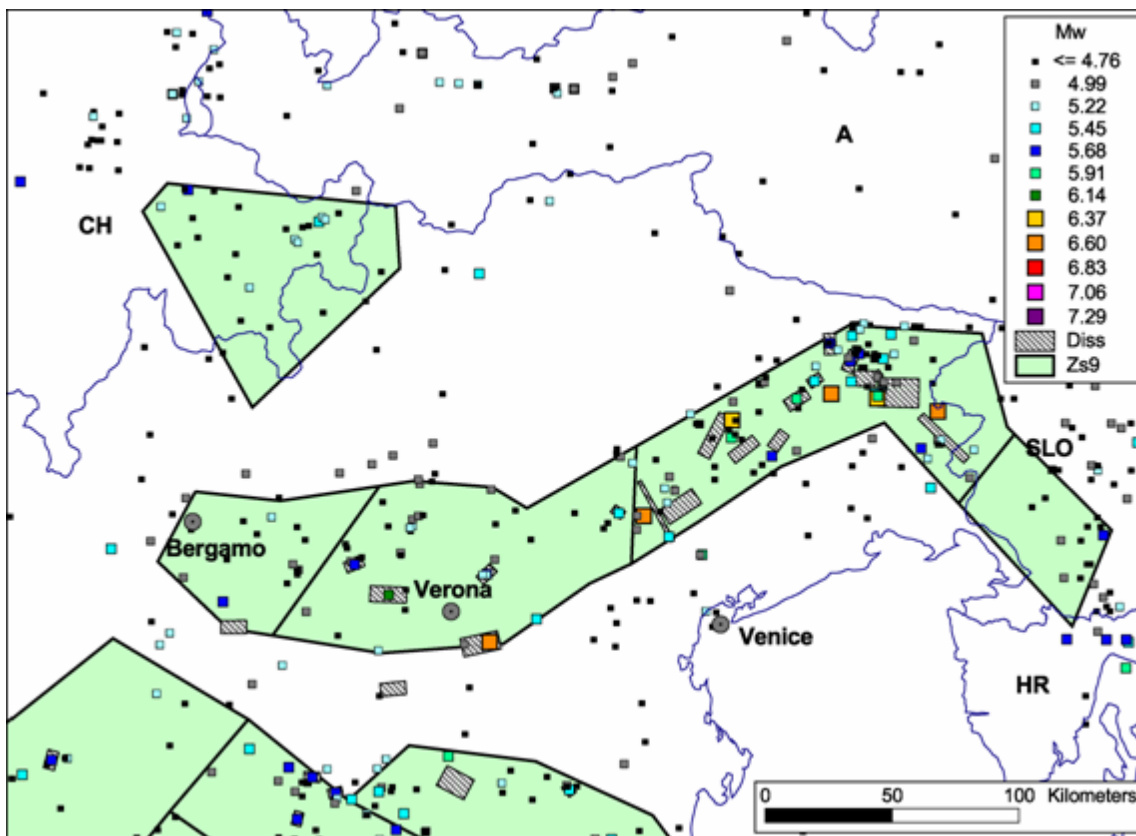


Figura 2. Modello di zone sorgente ZS9 confrontato con le sorgenti sismogenetiche individuali del database DISS e con la sismicità del catalogo CPTI04.

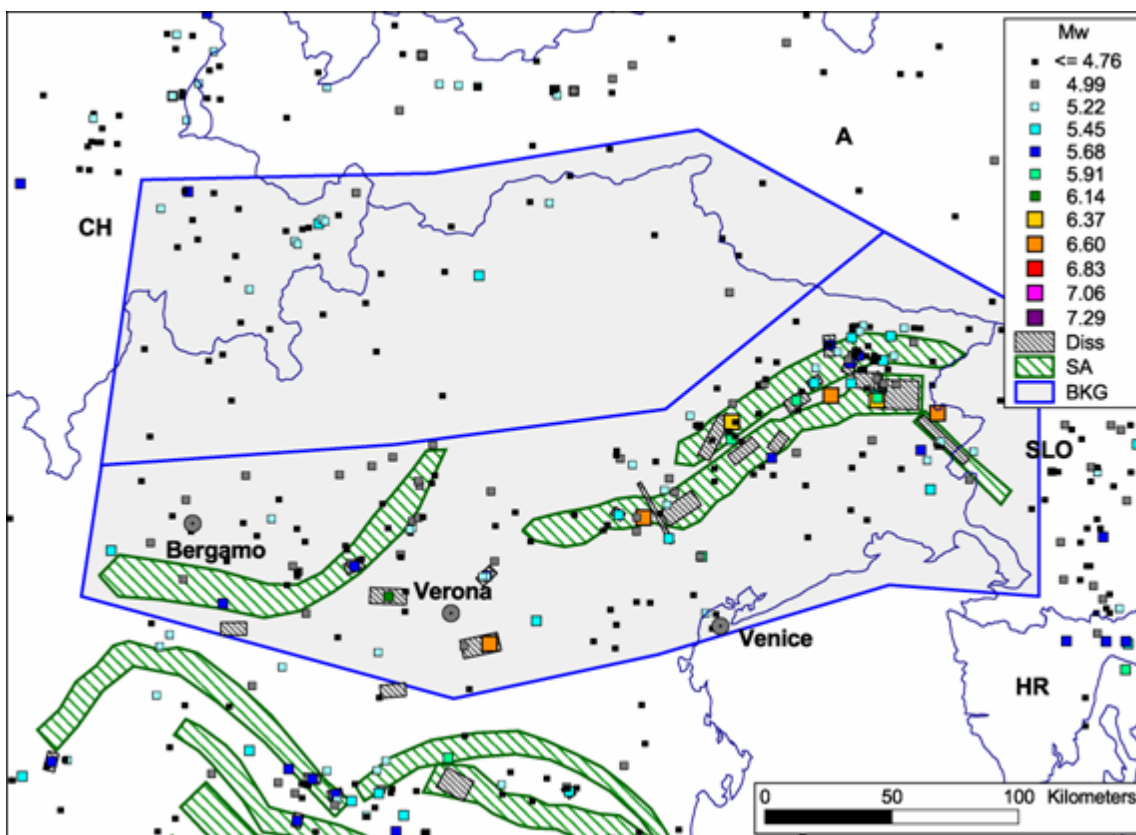


Figura 3. Aree sismogenetiche definite dal database DISS 3 (release di luglio 2006), confrontate con le sorgenti sismogenetiche individuali e con la sismicità del catalogo CPTI04. Le aree con bordo blu (BKG in legenda) sono le aree di background definite per considerare nel calcolo la sismicità che non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

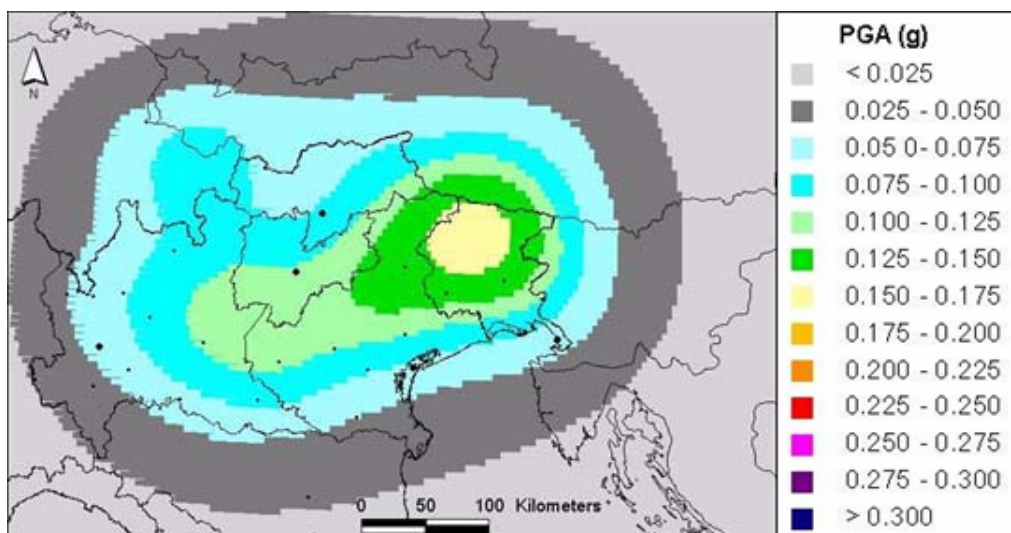


Figura 4. Stima di pericolosità sismica (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) utilizzando il metodo della "Smoothed seismicity" (Frankel, 1995).

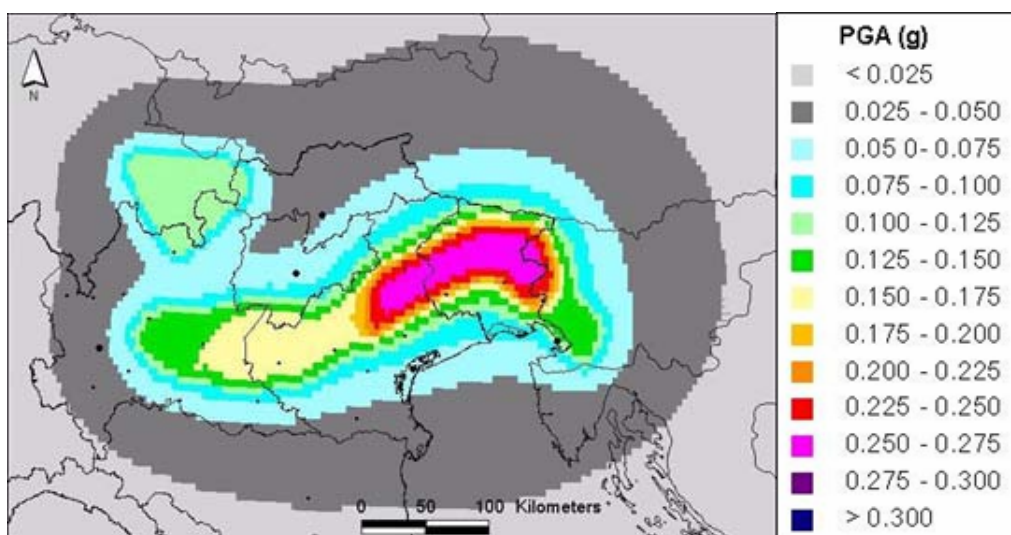


Figura 5. Stima di pericolosità sismica (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) utilizzando il modello di zone sorgente ZS9 (Meletti et al., 2007).

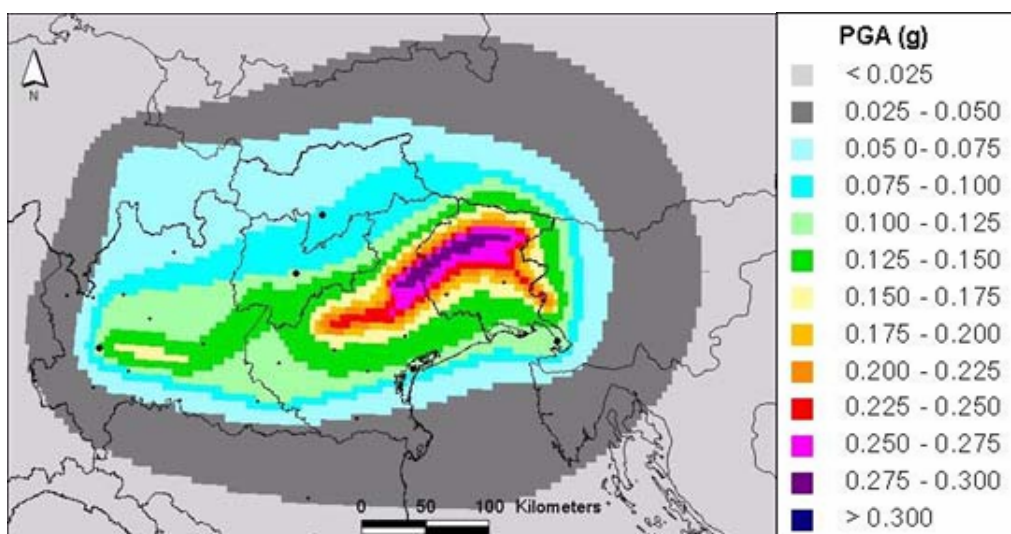


Figura 6. Stima di pericolosità sismica (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) utilizzando il modello di aree sismogenetiche (da DISS 3.0) associate a zone di background.

## 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.

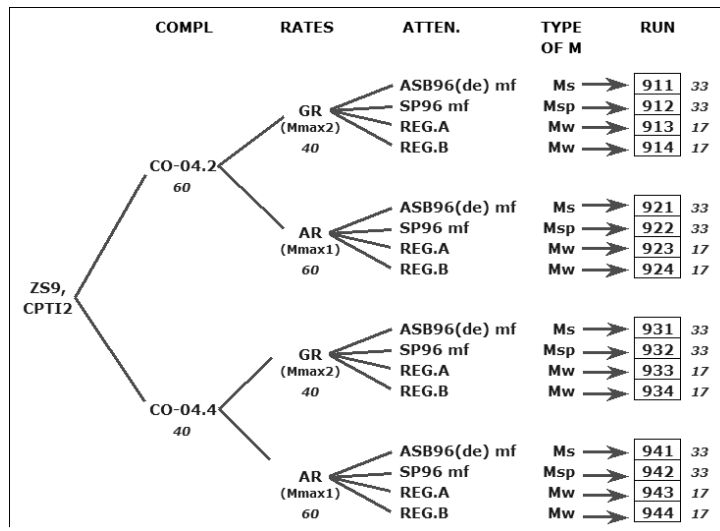


Figura 7. Albero logico impiegato nella redazione della mappa di pericolosità sismica italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

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.

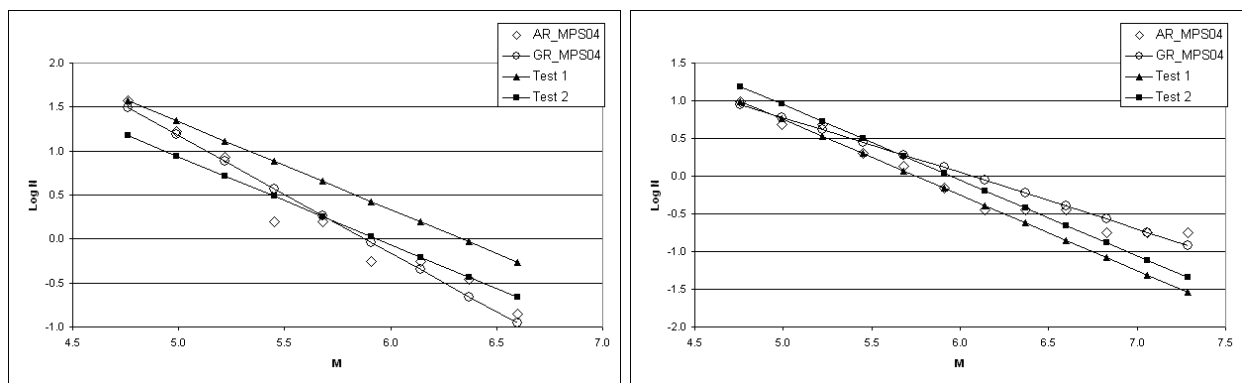


Figura 8. a) Distribuzione magnitudo-frequenza in MPS04 –cerchi per i tassi da GR e rombi per gli *activity rates*- e nei due test –triangoli per il *test 1* e quadrati per il *test 2*.  
 a) zona sismogenetica con un *b-value* originale >1 (SSZ 915);  
 b) zona sismogenetica con un *b-value* originale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



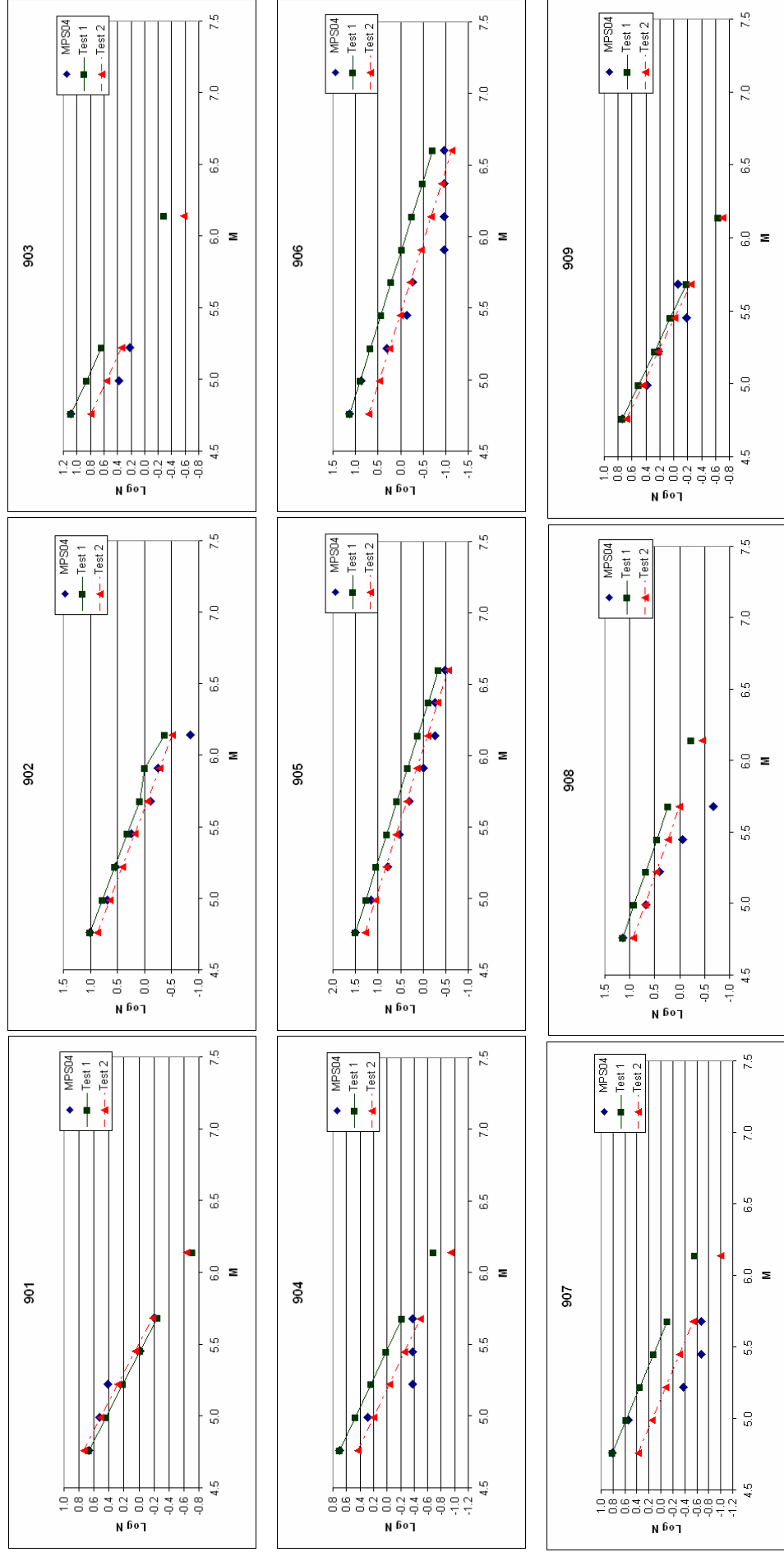


Figura 9a. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 901 a 909 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

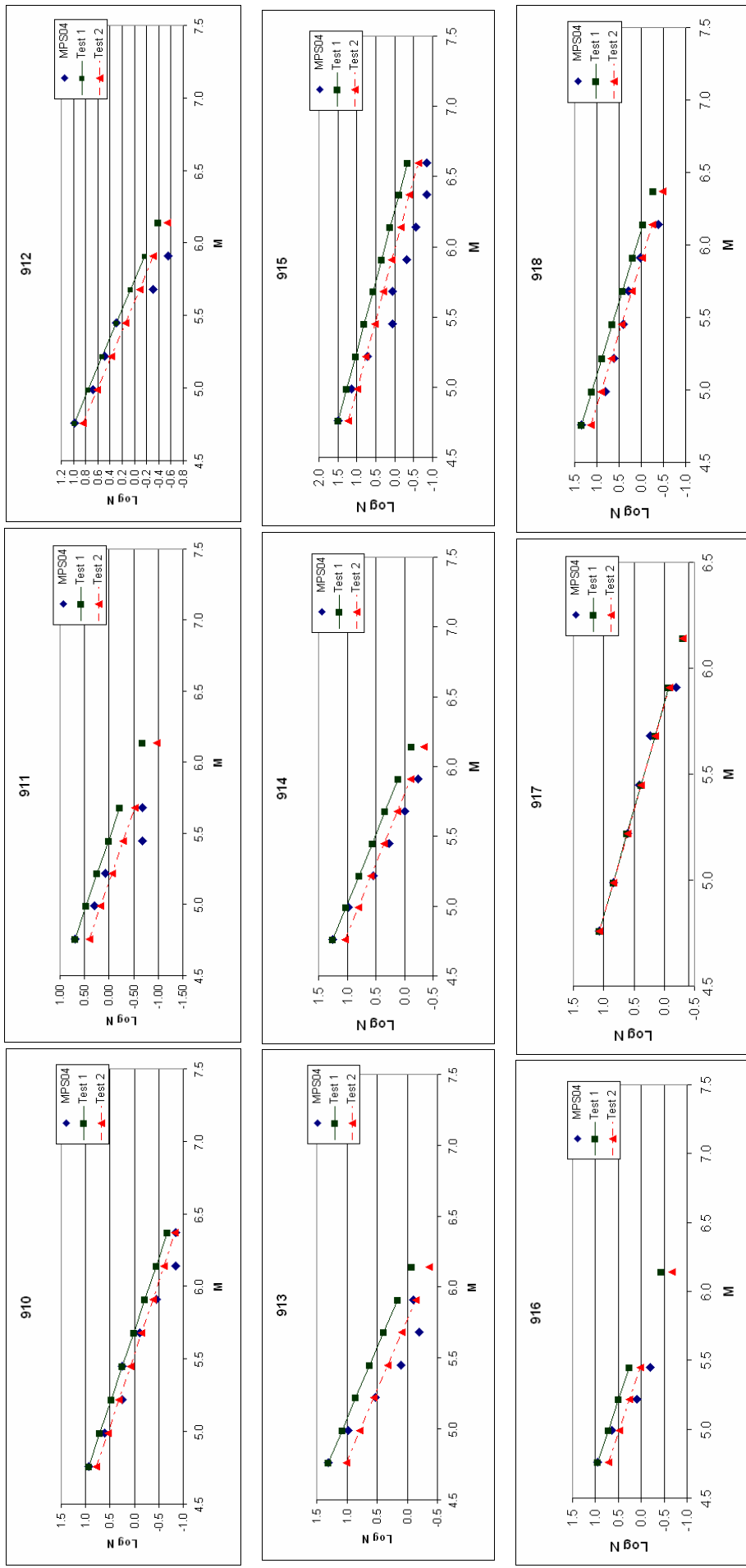


Figura 9b. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 910 a 918 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

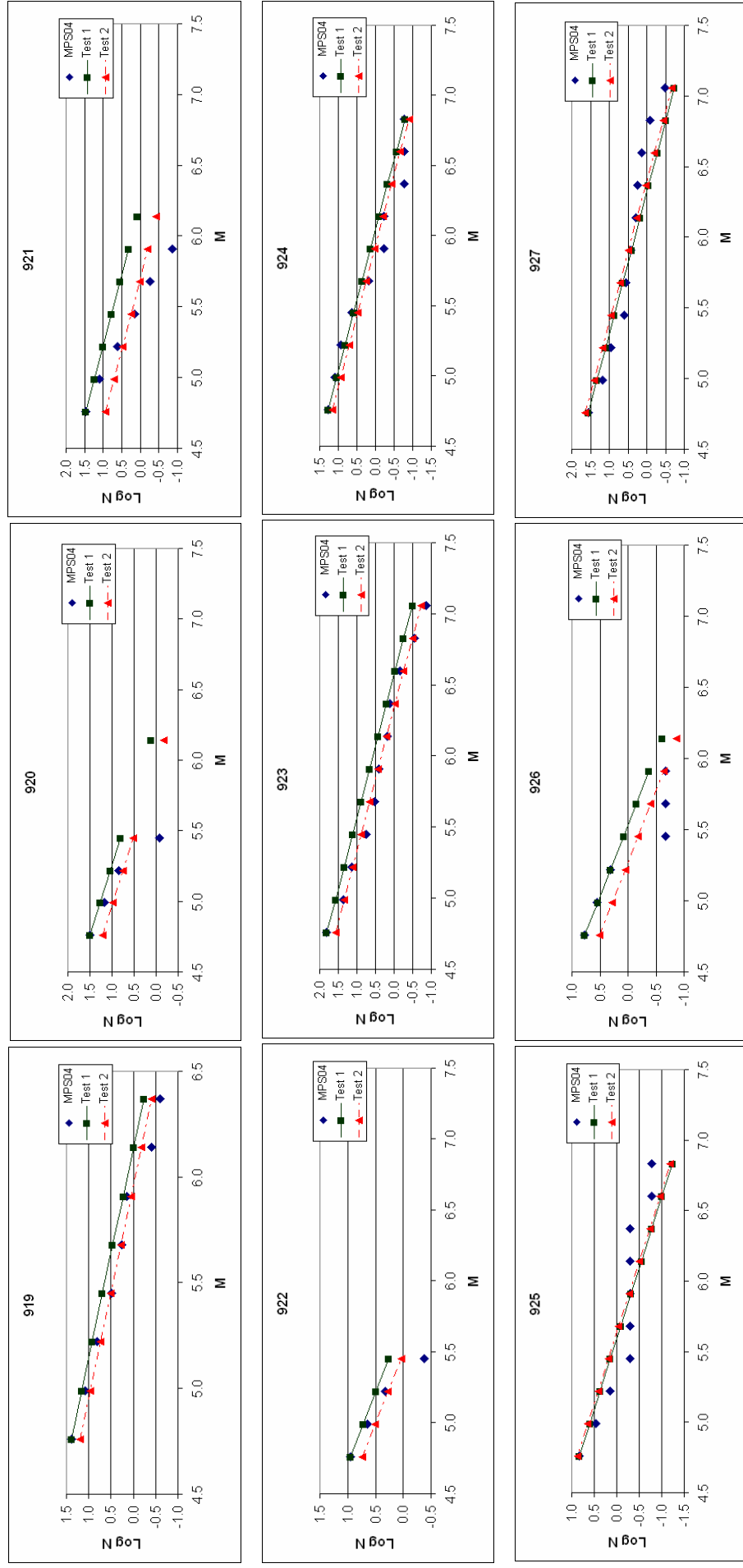


Figura 9c. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 919 a 927 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

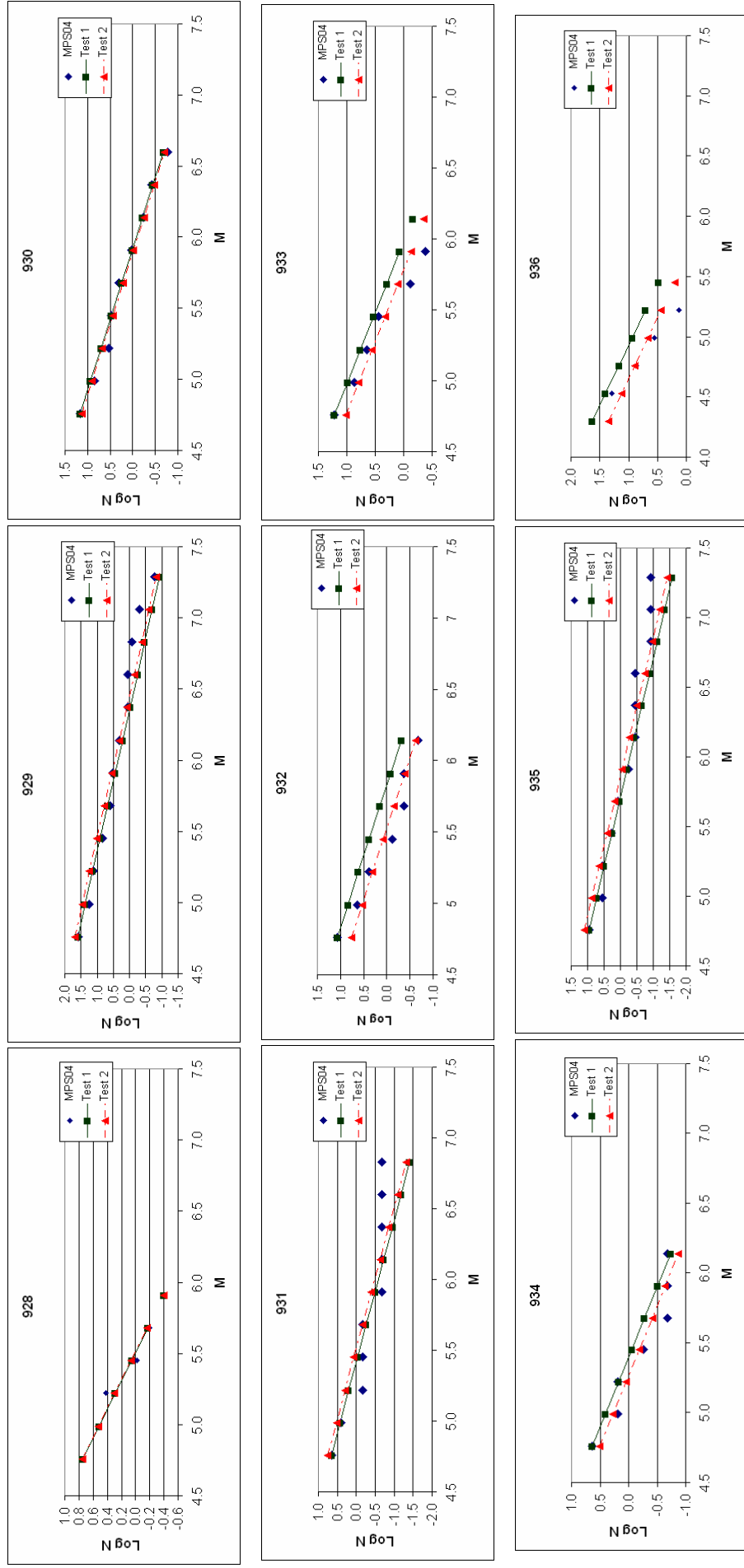


Figura 9d. Tassi di sismicità nelle zone sorgente da 928 a 936 in base all'adozione della completezza storica del catalogo e alle diverse modalità di calcolo utilizzate.

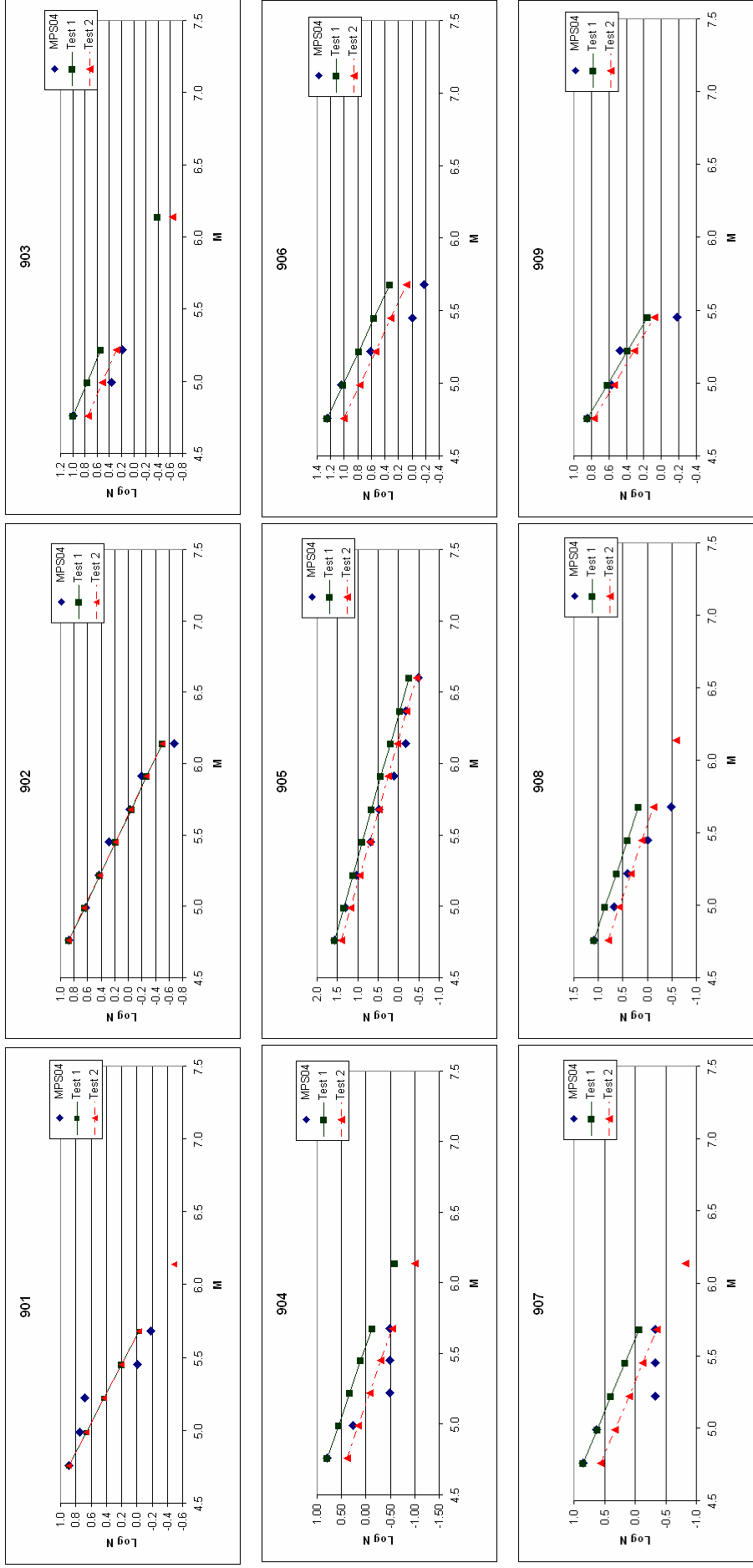


Figura 10a. Tassi di sismicità nelle zone sorgente da 901 a 909 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalità di calcolo utilizzate.

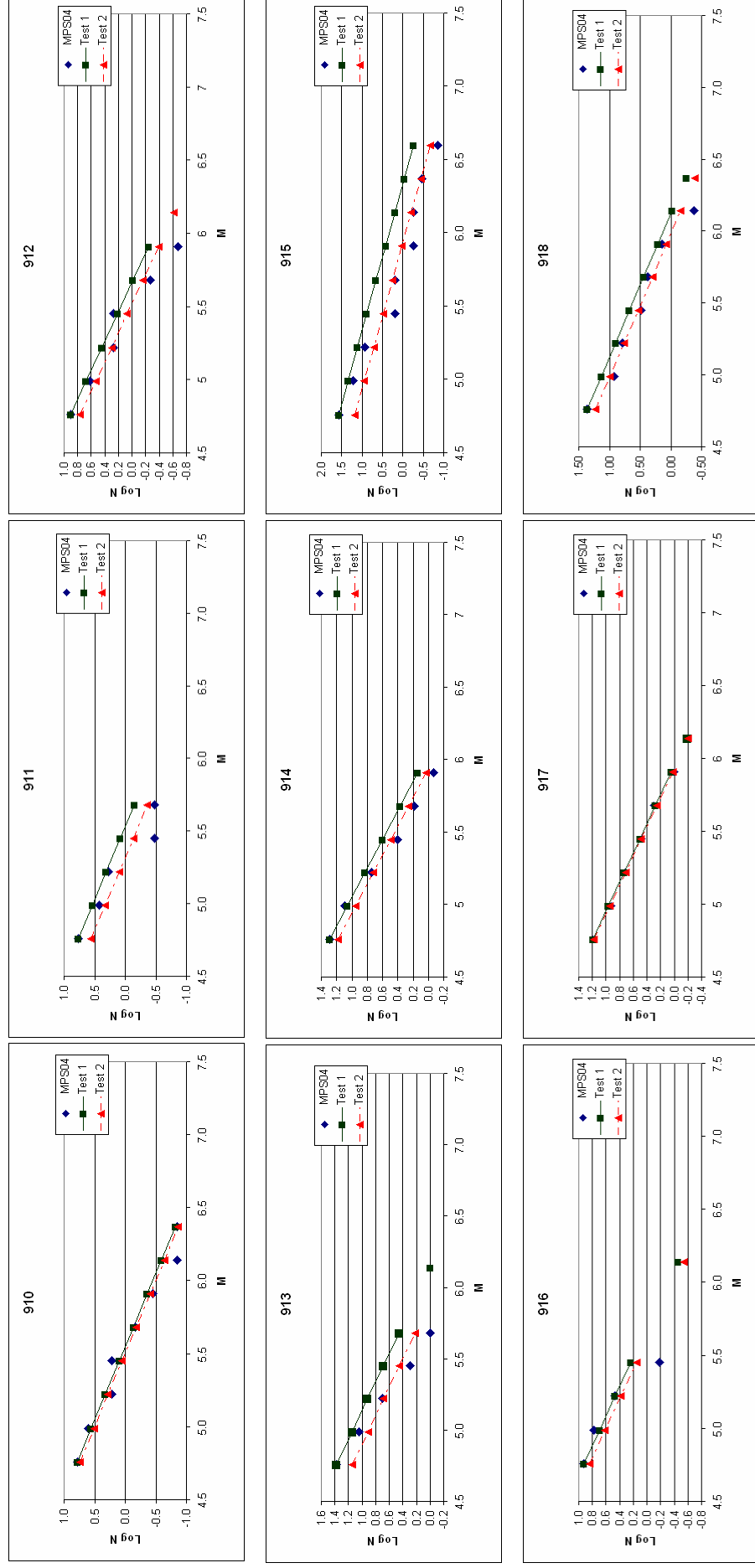


Figura 10b. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 910 a 918 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

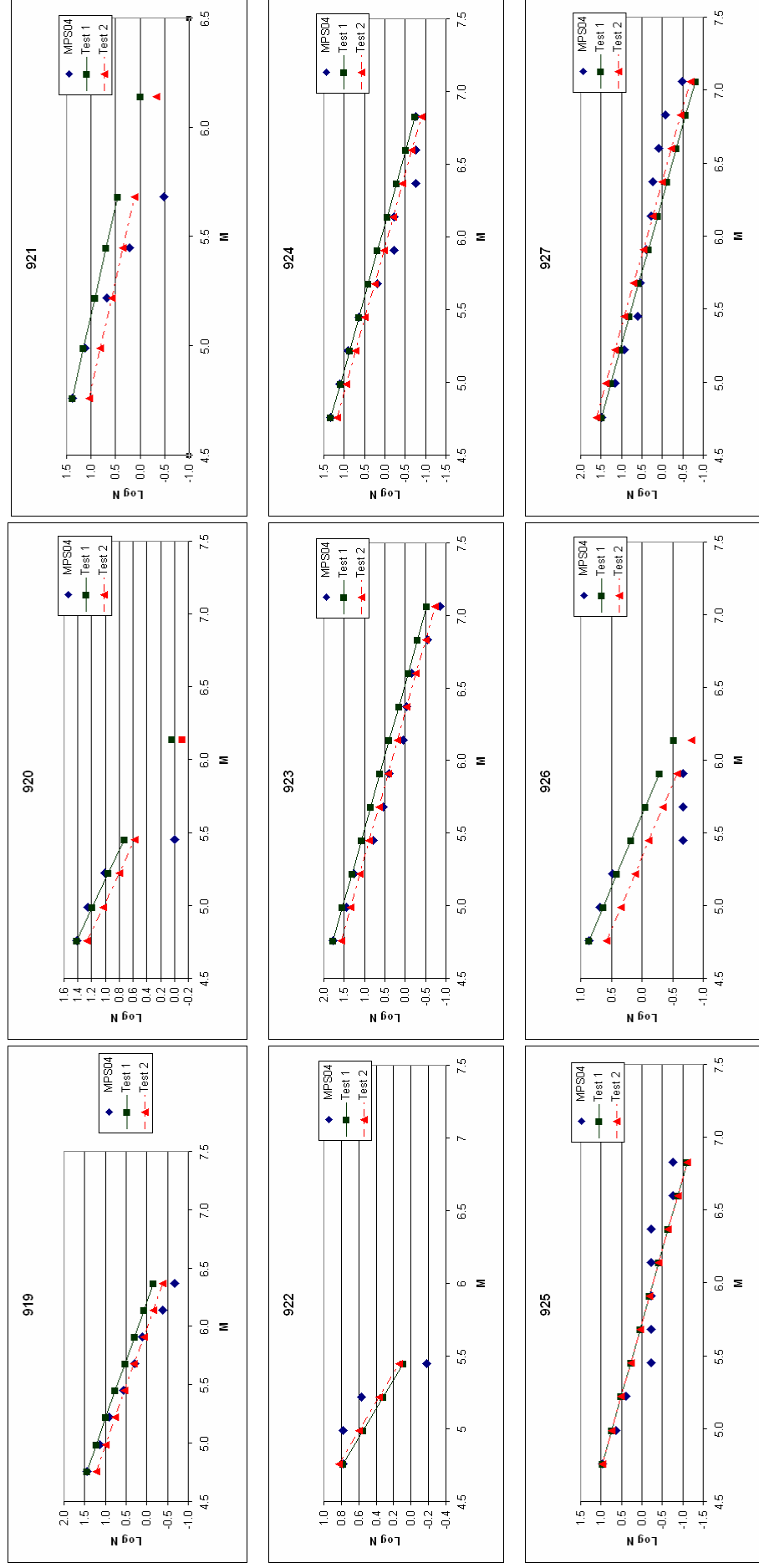


Figura 10c. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 919 a 927 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.

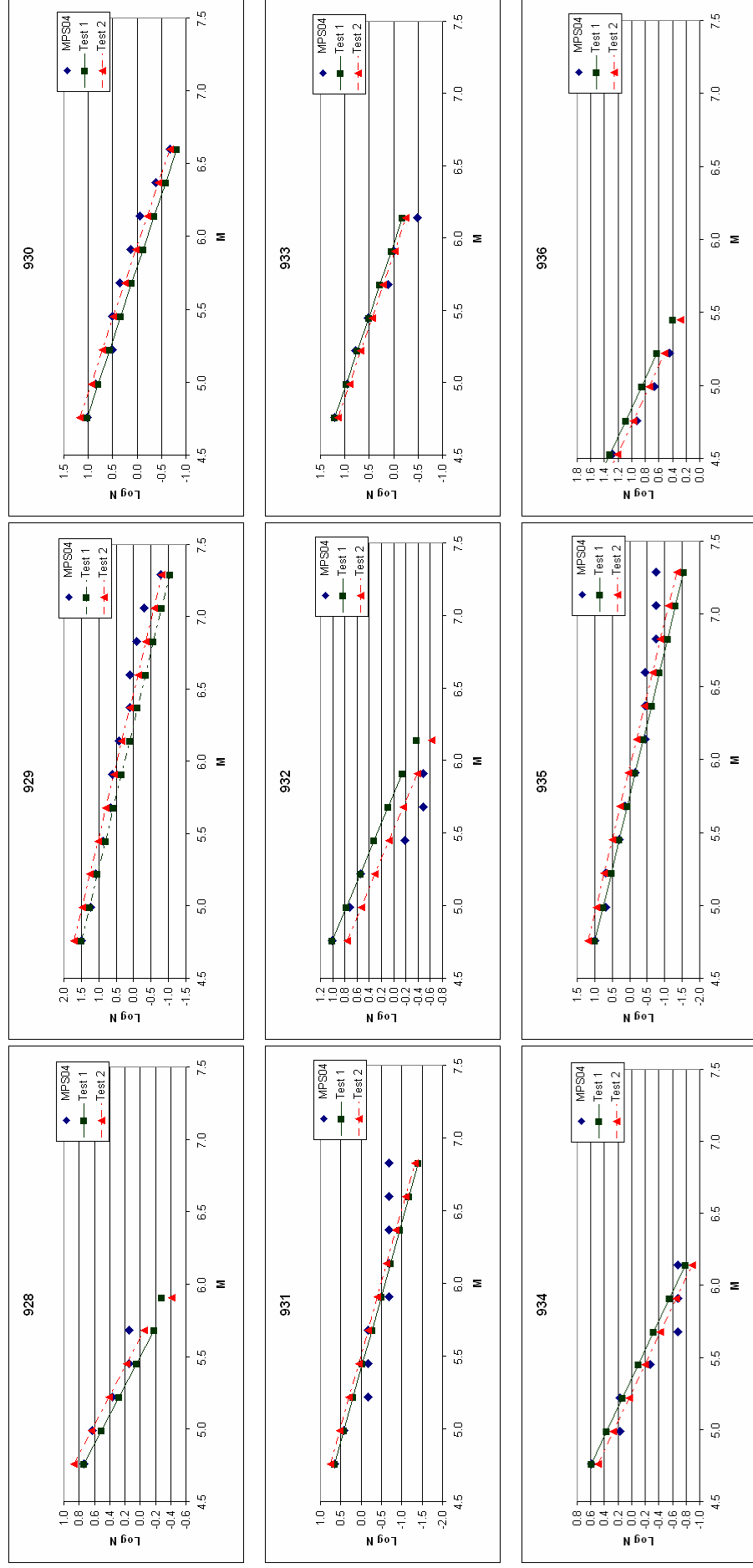


Figura 10d. Tassi di sismicit  nelle zone sorgente da 928 a 936 in base all'adozione della completezza statistica del catalogo e alle diverse modalit  di calcolo utilizzate.



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*.

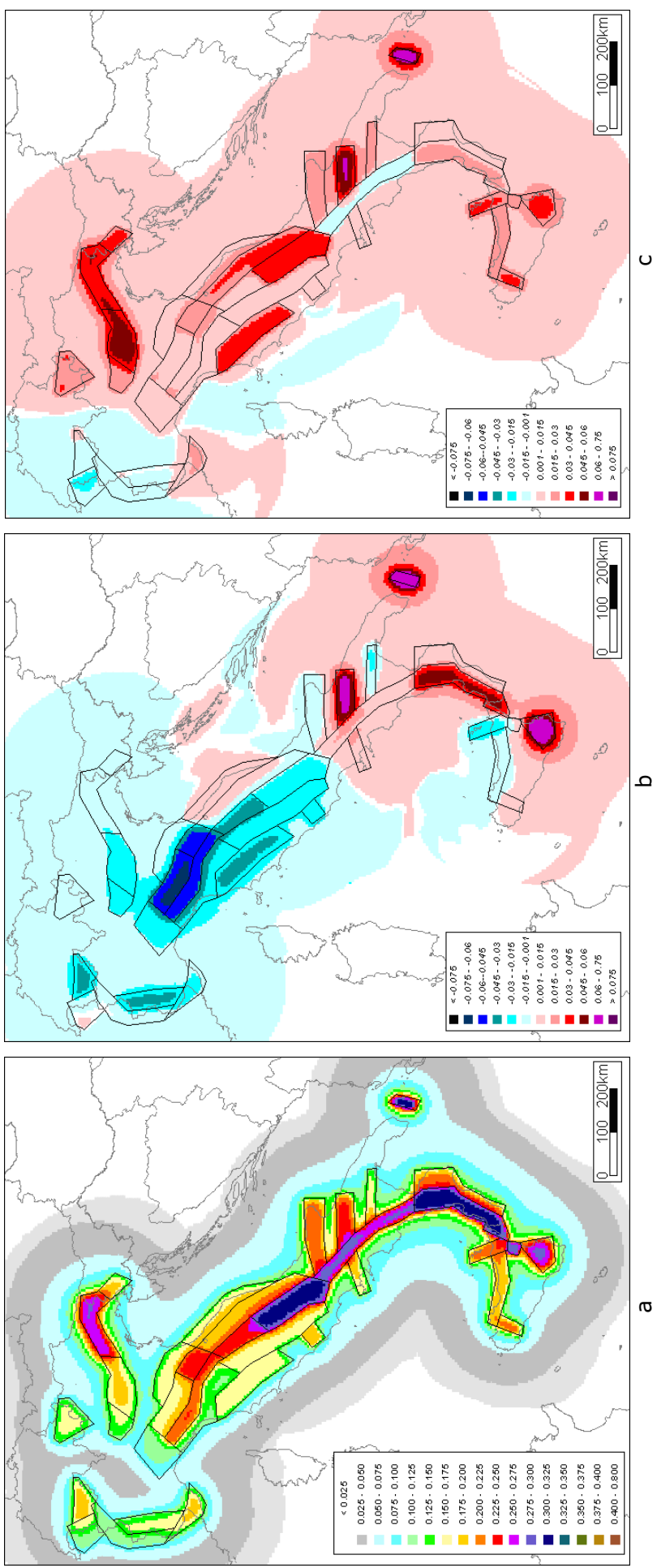


Figura 11. a) Mappa relativa al ramo 911 in MPS04; b) differenze tra il ramo 911 in MPS04 e il ramo 911 in MPS04 nel test 1; c) differenze tra il ramo 911 in MPS04 e il ramo 911 in MPS04 nel test 2.

## 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.

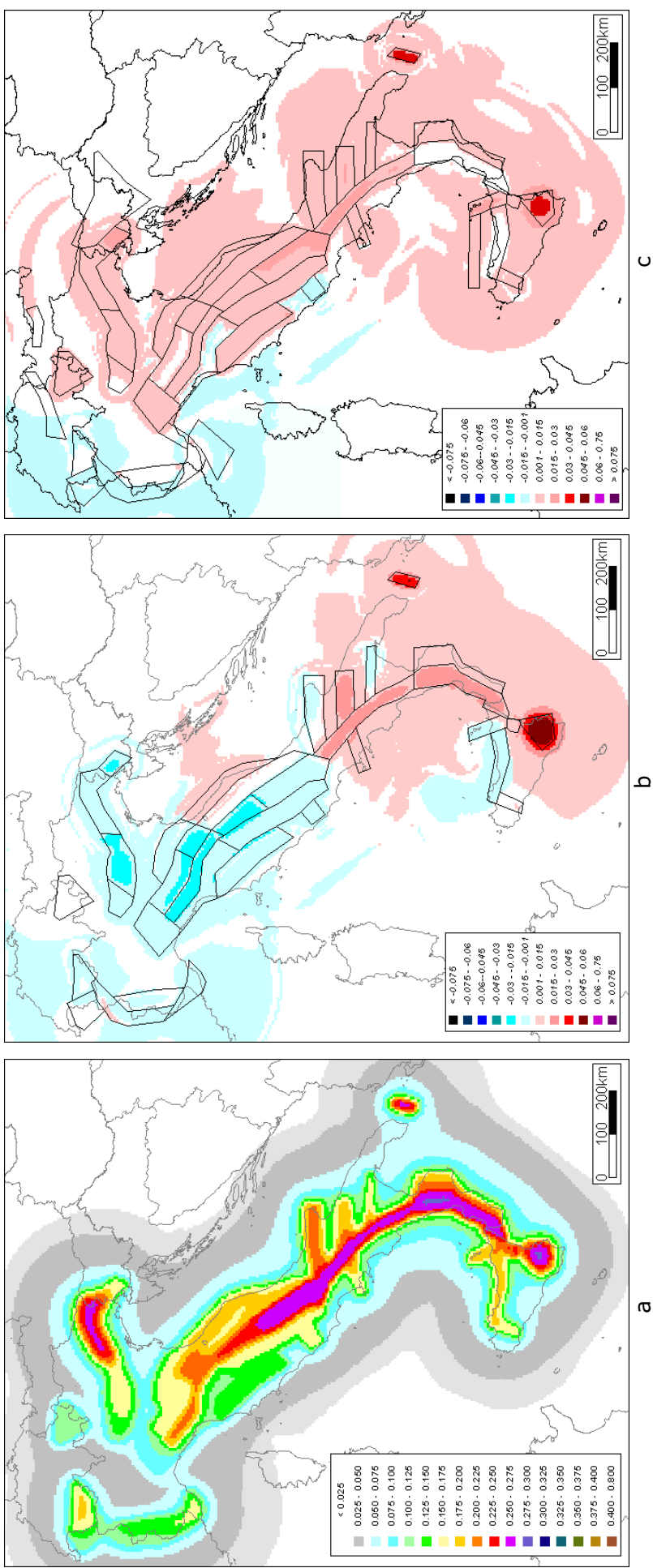


Figura 12. a) MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004); b) differenze tra MPS04 e il test 1; c) differenze tra MPS04 e il test 2.

## 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.

## 2. Analisi dei cataloghi strumentali regionali europei per l'individuazione di eventi non naturali

La presenza di eventi di origine non naturale in catalogo è un argomento affrontato in letteratura, soprattutto per quanto riguarda l'analisi dei singoli sismogrammi (Murphy e Bennet, 1982; Hedlin *et al.*, 1990; Kafka, 1990; Wüster, 1993; Goforth e Bonner, 1995; Musil e Plešinger, 1996; Kim *et al.*, 1997; Koch e Fäh, 2002; Parolai *et al.*, 2002), ma ancora poco approfondito. Lo sviluppo, negli ultimi anni, di analisi di pericolosità e *forecasting* sempre più basate su dati di microsismicità (e.g. Schorlemmer e Wiemer, 2005 ) ha come diretta conseguenza la necessità di un dataset completo già a piccole magnitudo. La discriminazione tra sismicità naturale e sismicità generata dall'attività antropica assume quindi una crescente importanza.

Nonostante le tecniche per la discriminazione tra sismicità naturale e non siano migliorate, le esplosioni generate da test nucleari, scoppi di cava e miniera, costruzione di tunnel e gallerie possono essere erroneamente incluse in un catalogo sismico (es. Giardini *et al.*, 2004). La presenza di un elevato numero di falsi terremoti può alterare le stime di *hazard* -per esempio, essendo eventi a bassa magnitudo, alzare il valore del parametro *b* della relazione di Gutenberg e Richter (1944)- e, in maniera più ampia, rappresenta una fonte di errore per tutti gli utilizzatori dei cataloghi per fini statistici. Sono infatti i prodotti finali, cioè i cataloghi, ad essere generalmente utilizzati e non i singoli sismogrammi. Una semplice risposta è stata suggerita da Habermann (1987): trattandosi di eventi di energia ridotta, l'autore suggerisce il taglio dei cataloghi ad una magnitudo minima,. Ovviamente una scelta di questo tipo comporta la perdita di dati. Nel 2000 Wiemer e Baer hanno proposto un algoritmo che identifica e rimuove gli eventi di origine antropica. Il metodo, puramente statistico, è basato sull'osservazione che questi eventi vengono generati di giorno: un valore del rapporto tra il numero di eventi diurni e il numero di eventi notturni (D/N) superiore a 1.5 evidenzia una probabile anomalia.

L'analisi dei risultati ottenuti ha mostrato un'altra possibile applicazione del metodo: l'individuazione di aree di escavazione abusive.

Nel lavoro che segue (Gulia, 2008), sottomesso alla rivista *Natural Hazards*, vengono analizzati, in maniera sistematica, i cataloghi europei disponibili online, per la ricerca di eventi di origine non tettonica. Alla metodologia di Wiemer e Baer (2000) sono inoltre state apportate delle modifiche al fine di limitare la rimozione di eventi non naturale.

# Detection of quarry and mine blasts contamination in European regional catalogues

*Laura Gulia*

*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via Donato Creti 12 – 40128 Bologna  
tel +39-051-4151451 fax +39-051-4151498  
gulia@bo.ingv.it*

## **Abstract**

The presence of quarry and mine blasts in seismic catalogues is detected using the Wiemer and Baer (2000) algorithm. The procedure is based on the fact that quarry blasts are generally performed during daytime hours: the areas with an high ratio of daytime and nighttime events are likely to be regions with quarry activity. In the first part of this work we tested the method, using both a synthetic and a regional catalogue; in the second part the procedure was applied to some of the European regional catalogues available online. The comparison between the obtained results and the location of known quarries and mines for the analysed catalogues confirms the reliability of the methodology in identifying mining areas.

*Key words: quarry blast, b-value, seismic catalogue*

## **1. Introduction**

Discriminating between naturally occurring seismic events and artificial seismicity is an important issue, as showed by many authors (e.g. Murphy and Bennet, 1982; Koch, 2002; Zhou and Stump, 2007). Furthermore today such topic has a multidisciplinary interest, for example because of the limitation on nuclear testing that requires monitoring of all different types of explosions (Richards and Kim, 1997). Methods for discrimination are based on the spectral analysis (e.g. Murphy and Bennet, 1982; Wüster, 1993; Musil and Plešinger, 1996; Koch and Fäh, 2002; Parolai et al., 2002; Horasan et al., 2009). Kim et al. (1994) found that a high P/S ratio above 10 Hz is a stable characteristic of instantaneous explosion. Other authors (Bath, 1975; Kafka, 1990) suggested to use the presence or absence of the dispersed  $R_g$  to identify explosions and considered the depth as a discriminant but Goforth and Bonner (1995) found no dispersed  $R_g$  in some seismograms from quarries in Central Texas, indeed those events were initially identified as local earthquakes. In any case the obtained results usually indicate that identification success strongly varies from station to station.



For seismic hazard assessment and, in general, for earthquake statistics, seismologists use catalogues, without analysing single event seismograms. Seismicity catalogues often include man-made contaminations, for example the changes in seismic networks operating in the region, the different processing of the data and the inclusion of quarry explosions and marine shots. Installation or closure of seismic stations produce an increase or a decrease in the detection of small events, while quarry blasts or mine explosions artificially enrich catalogues. Despite the best efforts of network operators to identify quarry blasts, finding such events in a catalogue is common (as described in Giardini et al., 2004), as the separation between explosion events and tectonic ones is a difficult task.

Such contaminations represent a source of error and falsify seismicity rates,  $b$ -values of the Gutenberg and Richter (1944) law (in particular an increasing of them; Wiemer and Wyss, 2000) and microseismicity analysis in general and could be misinterpreted as a change in the natural phenomena. The quality of catalogues improves with time owing to recording techniques and station coverage (Zuniga and Wyss, 1995): nowadays artificially events and uncertainties in the hypocenter parameters are less than in the past but did not disappear.

From this point of view, detection, mapping and removing of quarry blasts are a preliminary and important step in analysis based on seismicity catalogues.

Man-made contaminations have small magnitude so a magnitude cut-off of the seismicity data set (Habermann, 1987) could be a solution, but it also implies a loss of good data. Wiemer and Baer (2000) suggested an algorithm, based on a purely statistical criterion, to identify and remove quarry explosions from catalogues: in this work the algorithm (Wiemer and Baer, 2000) is applied to some of the European regional catalogues available on-line.

## 2. Method

The algorithm of Wiemer and Baer (2000) is based on the fact that quarry blasts are generally performed during daytime hours: a map showing the ratio of daytime and nighttime events ( $Rq$ ) identifies regions with quarry activity – areas with a ratio  $>1.5$  -. Indeed, during daytime, ambient noise interferes in the detection of earthquakes and a decrease in the number of them is generally observed: the quarry-rich areas show the opposite. Figure 1 shows the typical *hour histogram* –the histogram of the number of events per hour- of a quarry rich region (Fig. 1a) and the *hour histogram* of the same area after the removing of quarry blasts (Fig. 1b).

Day-night – normalized ratio- is defined by the authors (Wiemer and Baer, 2000) as:

$$Rq = Nd Ln / (Nn Ld)$$

where  $Nd$  is the total number of events in the daytime,  $Nn$  in the nighttime period,  $Ld$  is the number of hours in the daytime period and  $Ln$  in the nighttime period. The ratio is calculated using a regular spaced grid. The software, a part of the open-source software package *ZMAP* (Wiemer, 2001; freely downloadable from the Internet at [www.earthquake.ethz.ch/software/zmap](http://www.earthquake.ethz.ch/software/zmap)), computes a map of  $Rq$  for 8 different sample sizes  $N$

and translates each  $Rq_{(x,y,N)}$  value into a probability of occurrence  $P_{Rq_{(x,y,N)}}$ ; if the value of the most significant node exceeds the 99% confidence level, all daytime events are removed. Inevitably some daytime tectonic earthquakes are also removed.

The removal of all of the daily events in the node represents the limit of the procedure. In order to restrict the removal of tectonic events, we made two changes to the algorithm:

1. the cutting of the catalogue at a upper magnitude threshold (Wiemer, personal communication). In Wyoming, U.S.A., for very large areas with big quarries and mines, Hedlin (2002) found that several hundred industrial blasts have a magnitude greater than 3.5 while Berg and Cook (1961), using the formula given by Gutenberg and Richter (1956) which relates the magnitude of earthquakes to energy, found that the magnitude of nine large quarry blasts detonated in Utah, U.S.A., between November 1956 and February 1959, spanned from 3.9 to 4.6. For Europe a maximum value of 2.5 seems to be probable (Giardini et al., 2004): the catalogues were cut at magnitude 3. For example, the histograms for the hour of the events of the analysed catalogues confirm our choice and figure 2 show an example: the 4 histograms refer to the Romanian catalogue (Onicescu et al., 1999). As the minimum magnitude of the catalogue increases, the number of daily events decreases; at magnitude 3 the number of daily events and the number of nightly events are similar and the events are equally distributed over the 24 hours; for higher magnitudes the events follow no particular trend;
2. the removal of the aftershock sequences using the Reasenberg (1985) method. Actually the Wiemer and Baer (2000) code identifies the aftershocks sequence (more than 20% of daytime events in one day), but the cutting of the catalogue clearly falsifies such sequences.

Before applying the modified Wiemer and Baer (2000) procedure, we check its efficiency simulating a synthetic seismic catalogue with a D/N ratio of 0.6, that is the mean value of the analysed European regional catalogues after the removal of quarry blasts. Synthetic blasts (i.e. daily events) were also added to the synthetic catalogue.

The analysis on the catalogues are performed using the program ZMAP 6.0 (Wiemer, 2001) and the maps are produced by the free software GMT (*Generic Mapping Tools*, Wessel and Smith, 1991). Internet tools, as the software Google Earth® ([http://earth.google.com/intl/en\\_uk/](http://earth.google.com/intl/en_uk/)), are used to investigate the areas with an high D/N ratio.

### **3. The use of explosive in mining industry and civil engineering**

Explosives are the primary source of energy for rock breaking in the mining, quarrying and construction industries (Sanchidrián et al., 2007; Hamdi et al., 2008), in particular for limestone, gypsum, conglomerates, building materials and, in general, to obtain rock fragmentation. Explosives are also employed to excavate underground mines and blasting is

the usually method for ore mining: for example the gold extraction, that is performed creating huge excavations –using 150 kilograms of dynamite per day in Romania (<http://terraii.ngo.ro>; <http://www.rosiamontana.org>)- and processing the metals with cyanide compounds. Also salt and coal basins are mined by blasting.

Finally, explosives are largely employed in civil engineering (e.g. tunnel and subway).

## 4. Testing the algorithm

### 4.1 Testing by a synthetic catalogue

Before applying the Wiemer and Baer (2000) procedure, we tested its capability of quarry blasts detection using a syntetic catalogue with syntetic blasts (i.e daily events). To generate a syntetic catalogue we chose the Northern part of the Italian territory and selected 14.500 epicenters from the Italian instrumental catalogue C.S.I. 1.1 (Castello et al., 2006); the following characteristics were imposed:

- i) the  $b$ -value equal to 1;
- ii) the  $a$ -value calculated from the catalogue;
- iii) the maximum magnitude from the catalogue and the minimum magnitude equal to 1.5;
- iv) the ipocentral depth of 0 km;
- v) the time period of 10 years.

To be sure to generate an ideal catalogue (i.e. without quarry blasts according to the algorithm), we chose the D/N ratio mean value of the analysed European regional catalogues after the removal of quarry blasts: it is 0.6 (original catalogue mean value is about 0.8); in this work the daytime interval spans between 7 a.m. to 18 p.m. The described characteristics were not imposed to the whole catalogue but to smaller areas: a regular grid with 4° spacing and the square vertexes are 42° N, 50° N, 5° E and 21° E (Fig. 3a).

Secondly, this grid was divided in 1° cells and 4 cells were selected to add the synthetic blasts (from now on synthblasts) according to the following rules:

1. one cell containing few ( $\approx 50$ ) and scattered events (43°-44° N, 6°-7° E);
2. one cell containing a greater number of scattered events ( $\approx 150$ ; 46°-47°N, 10°-11°E );
3. one cell containing few and scattered events close to a event rich area (42-43°N, 11°-12°E );
4. one cell containing a great number of events ( $\approx 1500$ ) in an area containing mainshock-aftershocks sequences to test the influence of them on the procedure (44-45°N, 11-12°E ).

The number of synthblasts was the 25% of the number of events in the cells: 465 events in total are added to the synthetic catalogue that contains now 14.965 earthquakes.

The maps of the D/N ratio for the synthetic catalogue and the synthetic catalogue with synthblasts are shown in figures 3b and 3c: the areas containing synthblasts have the higher

D/N ratio values. The algorithm removes 633 earthquakes from the synthetic catalogue: it is important to note that the number of removed events is generally greater than the number of supposed blasts because the algorithm removes all the daily events of the node. The synthblasts in the cells with few and scattered events (cells 1-2) and in the cell close to the event rich area (cell 3) were successfully and easily identified by the algorithm (Fig. 4), only the synthblasts in the area containing mainshock-aftershocks sequences (cell 4) were not totally identified and 39 were erroneously classified as aftershocks. Although not all the synthblasts were identified, the 4 blast rich areas were correctly detected.

This represents the main aim of the present work.

#### *4.2 Testing by a regional catalogue*

A further test were carried out using the regional catalogue of the Czech Republic, where both natural and artificial seismicity is observed. The catalogue is edited by the Geophysical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic, online available at <http://web.ig.cas.cz>. Earthquakes are classified as i) tectonic events, ii) mining induced seismicity, iii) explosions and iv) probably explosions.

Swarms of hundreds to thousands of microearthquakes occurring in every century in the West Bohemia/Vogtland region (Wüster, 1993; Musil and Plešinger, 1996; Mittag, 2003; Neunhöfer and Meier, 2004) but in the area there is also a great number of quarries and mines: the distinction between natural events and industrial blasts is a daily problem. Czech Republic, since the mid-80s, has focused on developing different types of monitoring systems to automatically detect and analyse seismic events even to prevent rockbursts in coal mines (Holub, 2007) and the mining induced seismicity is another incentive to improve their networks.

We selected the 634 events, 21 of which are marked as explosions, recorded only by the Czech Republic local network from 1996 to 2006, with a minimum local magnitude of 1.5 (Fig. 5a). All of the events are shallow (depth  $\leq 30$  km). The D/N ratio was computed using a  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  spaced grid and the 50 nearest events to each node.

The Wiemer and Baer algorithm (Wiemer and Baer, 2000) removes 38 blasts: 18 out of 21 marked explosions were correctly identified (Fig. 5b); other 2 out of the 21 explosions took place during the night (3 a.m. and 7 p.m.), out of the chosen daily range, so they do not fit the procedure. Only one was not identified. As for the previous test (i.e. the synthetic catalogue) the number of removed events is greater than the number of explosions in the catalogue because of the algorithm removes all the daily events of the node. Furthermore, the map (Fig. 5b) shows the closeness of the other removed events to the locations of known quarries and mines:

- Musil and Plešinger (Musil and Plešinger, 1996) studied the West Bohemian/Vogtland region (the red area in figure 5b) to discriminate microearthquakes from quarry and

mining blasts selecting explosions from 9 quarries: the location of such quarries is shown in the map (red stars);

- the marlstone quarry of Přední Kopanina, west of Prague (Přikryl et al., 2003; blue-sky star);
- Karlovy Vary, location of mine and quarry blasts (Wúster, 1993; green star);
- 3 big quarries at 16.7 E - 49.2 N, clearly observable by the Google Earth® ([http://earth.google.com/intl/en\\_uk/](http://earth.google.com/intl/en_uk/)) tool (brown stars);
- the underground gas storage of Hájek: it is the first commercial storage constructed in crystalline structures. The storage is located approximately at 1350 meters away and the system of underground tunnels has a total length of about 45 km (<http://www.rwe-gasstorage.cz>). A local seismic network is maintained in the underground part of the area with seven stations to record both local and regional seismic effect (Málek and Brokešová, 2003; blue star);
- the Dlouhé Strane Hydro Power Station, commissioned in 1996: the largest power generating waterworks in the Czech Republic. The reservoir is at 1350 m above sea level and water from this reservoir is brought to the turbines by two penstock shafts of diameter 3.6 m and length 1.5 km (<http://www.sez.cz>; orange star);
- the brown coal basin around the city of Sokolov, western Bohemia, that is one of most important brown coal mining areas in the Czech Republic (Sklenicka and Charvatova, 2003; <http://eurocoal.be>; <http://www.envir.ee>; yellow star).

## 5. Datasets and results

We consider some European regional catalogues (Romania, Spain and Portugal, Czech Republic, France, Hungary, Greece) to demonstrate that presence of artificially events in catalogues is an existing problem that has to be considered before any seismic analysis.

According to Wiemer and Baer (2000), an indicative value for the D/N ratio is  $\geq 1.5$ : in this work we report only on the most significant results. The used sample size is generally 100 events and the node spacing  $0.1^\circ$ ; all of the catalogues was cut at the a 30 km depth because of possible large inaccuracies in hypocentral depth estimation. The use of the EMR method (Entire Magnitude Range, Woessner and Wiemer, 2005) and of the maximum curvature method (Wiemer and Wyss, 2000) to determine the magnitude of completeness  $-M_c$  of each catalogue was not possible since the outcoming values were generally about 3, that is also the imposed upper threshold for the catalogues.  $M_c$  was empirically determined for each catalogue through a roughly analysis of the plot of the magnitude distribution in time.

### 5.1 Romania

The Romanian Catalogue, named ROMPLUS and edited by the National Institute of Research and Development for Earth Physics (NIEP) of Bucharest, was first published in 1999 (Oncescu

et al., 1999); the catalogue is under continuous update and online available at <http://www.infp.ro/catal.php>. We selected the 6605 events recorded from 1982 to 2006, with a minimum magnitude of 2.

The first step in detection of quarry blasts is the plot of the hour of the day histogram (Fig. 6): the histogram reveals a typical pattern for a quarries (or mines) rich region, with a very large number of events during daily hours.

The D/N ratio analysis was performed using a  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  spaced grid and the 100 nearest events to each node: about 18% of the total number of the events was removed by the algorithm (Wiemer and Baer, 2000); the figure 7 shows the resulting map. 5 areas has a very high D/N ratio value:

1. Rosia Montana (D/N about 30), the largest gold deposit in all of Europe, set in Metaliferi Mountains (Buza et al., 2001; Bird et al., 2005; Florea et al., 2005), where also copper mines are present (Steblez, 2007a) and the mining area of Bucium (Bird et al., 2005);
2. the copper deposit of Rosia Pieni (Florea et al., 2005; Steblez, 2007a), Humedoara, iron mine (Steblez, 2007a; Romanian Government, 2006) and the big excavation area in Cainelu de Jos, clearly visible by Google Earth<sup>®</sup>: in these regions the D/N ratio is about 25;
3. the Dambovita region (D/N > 60), that borders on Vrancea region, one of the most seismic active zone in Europe and mantle (70–200 km) earthquakes of magnitude in excess of  $M_w=7.0$  occur with relative frequency in a geographically restricted area (Knapp et al., 2005; Ardeleanu et al., 2005; Cadicaneanu et al., 2007). In this study we selected only the shallow earthquakes (depth < 30 km). Most of events are located in the northern part of the city of Tirgoviste, that is a petroleum-producing region (Steblez, 2002);
4. the area around the city of Tulcea (D/N > 60), a known excavation area (Government of Romania, Ministry of European Integration, 2007), sets in the the eastern part of Romania;
5. the Basarabi gypsum quarry and the mining area around Navodari (Komnistas et al., 1998), also set in the eastern part of Romania, where the D/N ratio is about 45.

## 5.2 Italy

The last version of the Italian Seismicity Catalogue (C.S.I. 1.1; Castello et al., 2006; <http://www.ingv.it/CSI/>), contains 99.780 earthquakes – 91.797 located- during the period 1981 - 2002, with a maximum depth of 483 km and a magnitude  $-M_l$  for shallow earthquakes and  $M_b$  or  $M_w$  for deep ones- range from 0.1 to 5.9. The earthquakes with no associated magnitude were removed and a preliminary analysis of the catalogue suggests a cut at the year 1986. We decide to test the algorithm to the entire catalogue, without cutting at a minimum magnitude of completeness. The final catalogue contains 37.169 earthquakes recorded during the period 1986-2002. The histogram of the number of events per hour (Fig. 6) suggests a

minimum explosion contamination: the number of nightly events is greater respect to the number of daily events.

The mining industry is an important Italian economic resource and 5725 quarries was active in 2008 (Legambiente, 2008), both underground and opencast. In terms of world production, the Country is still a significant producer of cement (Steblez, 2008). The D/N ratio map is computed using a sampling size of 100 events and a node spacing of  $0.1^\circ$ : 1998 events were classified as probably blasts and removed from the catalogue.

The following list enumerates the areas with the higher D/N ratios (Fig. 8); many are known Italian excavation areas:

1. the Liguria region and the southern part of the Piemonte region, where the D/N ratio is greater than 20. In particular the Cuneo province. The hour histogram (Fig. 8) of the Cuneo province, for example, reveals the typical quarry rich area trend: most of the events are registered between 8 a.m and 11 a.m.. Furthermore, in some of the smaller selections of the area, the daily events happened only during working days;
2. the Marche region ( $D/N > 20$ ): this is one of the most seismically active region as well as one of the wider excavation areas of the Country. 86 quarries are located only in the municipal district of Fabriano (<http://www2.comune.fabriano.an.it>) and limestone and gravel pits are all over the region ([www.ambiente.regione.marche.it](http://www.ambiente.regione.marche.it)). The histogram of the hour of day of the events shows the particular trend of daily events of the area: they seem to follow the human lunch break! The applied algorithm (Wiemer and Baer, 2000) identified a lot of possible quarry blasts and the same result –around Cingoli, Genga and Cantiano towns- was obtained in 2002 by Parolai et al. (Parolai et al., 2002) through a sonogram correlation approach for the seismic source classification;
3. potential blasts are centered close to the Arcichiaro dam ( $D/N$  ratio is about 3): the building of the dam started in the second half of nineties and finished at present (<http://www.astaldi.com>). The CSI 1.1 (Castello et al., 2006) cut catalogue contains events from 1986 to 2002: 58 events out of 63 were registered from 1996 to 2002 (i.e. the end of the catalogue);
4. the sea area located in the eastern part of the Sicily island: about 1/3 of the events were recorded between 8 a.m. and 10 a.m.. Unfortunately we found no information about the presence of quarries or mines in the area.

Quarry blasts were not identified in the most known and important Italian excavation site, the Carrara province, worldwide marble export region: in the last twenty years the explosive has been completely abandoned (<http://portale.provincia.ms.it>). On the contrary, probably quarry blasts were identified in the Murgia district (black circle in figure 8) where, besides of lawful mining –for example the three calcarenite areas described in Adriani a Walsh (2002)-, unauthorized mining is a real problem (Legambiente, 2008) and it affects the whole Puglia region. This result shows another possible use of the algorithm: the localization of unknown or illegal excavation areas.

### 5.3 France

French Catalogue, compiled by the Universite Louis Pasteur (Strasbourg 1), the Reseau National de Surveillance Sismique and the Ecole et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg, is online available at <http://renass.u-strasbg.fr/>. We analysed the 14.263 events recorded from 1993 to 2005 in the area with vertexes 41 N, 52 N, 5 W and 10, with a minimum magnitude  $-Ml-$  of 2. The hour histogram (Fig. 6) seems to have a very small blast contaminations, except for the 8 a.m.-10 a.m. interval. Artificial events represent 90% of the recorded seismic events in France (Nicolas et al., 1998): these events are identified thanks to the characteristics of the signal and location, but some quarry blasts and marine shots could not totally disappear in a catalogue. In 2005, France was a major European producer and the world's sixth ranked industrialized economy in terms of the gross domestic product (Newman, 2007a).

The D/N ratio map (Fig. 9) shows a maximum value of 4 and the comparison between the areas with a D/N ratio  $>1.5$  and the location of known quarries and excavation sites confirms that those areas are probably locations for blasts. The regions with the higher D/N value are the following:

1. the Navarra Region, northern Spain, where the Itioz dam and the artificial lake are located (D/N ratio is about 4). The lake is a 418 cu water reservoir and was finished in 2005 and the building of 3 tunnels and an hydroelectric plant was planned; one of the tunnels, 4300 metres long, links Campanas to Pamplona, to connect the artificial lake to the city of Pamplona and its environs: its building started on August 2005 and finished on February 2006 (<http://www.tunnelbuilder.com>);
2. the Llobregat basin, northern Spain, where several potash minings exist (Otero and Soler, 2002; D/N ratio is about 3.5);
3. the Provence region, south-eastern France, close to the city of Marseille; the mining activity is centered in Gardanne, where there are both open pits (<http://www.durence-granulats.fr>: blasting is the usual mining method; Newman, 2007a) and underground coal mines (Carnec and Delacourt, 2000; Blachère et al., 2005; Adbul-Wahed et al., 2006). The D/N ratio is about 2. A micro-seismic network –five surface stations and four underground stations in old galleries- is systematically used to monitor coal extraction; a very large number of seismic events is recorded during mining operation: between January 1998 and July 2000, the network recorded 17.661 micro-seismic events and their hypocenters follow the working face and they are located where the mining is carried out (Adbul-Wahed et al., 2006). 315 events out of 323 were recorded during working days;
4. the Piemonte (4a) and the Liguria (4b) Regions, northern Italy, Western Alps: the same areas highlighted for the Italian Seismicity Catalogue C.S.I. 1.1 (Castello et al., 2006). The D/N ratio of the two areas is about 2. Nicolas et al. (1998) found quarry blasts in



the analysis of 32 years of instrumental seismicity recorded by the French networks in the Western Alps and southern of France (1962-1993);

5. the area centered at 46° N and 7° E. The D/N ratio is about 1.5, as many others French areas, but this is the same mining area described in Giardini et al. (Giardini et al., 2004), that followed the iterative approach of Wiemer and Baer (Wiemer and Baer, 2000) for the seismic hazard assessment in Switzerland. They reported the personal communication by J.P. Burg in 2002 (see Giardini et al., 2004) about the seismicity of the area, entirely related to the mining activity;
6. the area located between the France (Lorraine) and German (Saarland) border: the Lorraine coal Field was exploited till May 2004 (Blachère et al., 2005). D/N ratio of the area is about 2.

#### *5.4 Spain and Portugal*

Spanish catalogue is online available at the Instituto Geográfico National website (IGN, <http://www.ign.es>) and contains earthquakes from 944. The events recorded in Portugal are also included in the catalogue and the magnitude type is not clearly indicated. 10.114 events, recorded from January 1994 to March 2007, with a minimum magnitude of 2, were analysed to detection of quarry blasts. The histogram of the hour of the day is shown in figure 6.

Spain has some of the most mineralized territory in Western Europe, including the volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt of southern Spain; the Country has a long history of mining, even for gold and metals (Newman, 2007b). Portugal is one of the Europe's leading copper producers and the dimension stone industry is an important segment of his mining industry. It is also an important producer of salt rock (Gurmendi, 2007).

The D/N map is shown in figure 10: most of the probably blasts are located in excavation areas. The higher value of the ratio is about 2; these areas are located in:

1. the Rio Tinto mining district (Huelva province, SW Spain), that is a part of the Iberian Pyrite Belt and extends for 230 km NW of Seville, Spain, to South of Lisbon, Portugal (Saez et al., 1996; Hudson-Edwards et al., 1999; Gurmendi, 2007; Neumann, 2007b). It is the world's oldest continuously opening mine (Wilson, 1981) where copper, gold, silver and pyrite are mined from approximately 2500 BP to the present (Pinedo, 1963; Strauss et al., 1977) using both opencast and underground mines;
2. the Malaga mining district (Galàn et al., 1999; Lapuente et al., 2000), the Ossa Morena and the Almeria mining districts (Lapuente et al., 2000). These are also seismically active regions and 3 seismic series were recorded starting from 1985: la Loja (1985), Antequera (1989) and Alborean Sea (1997-1998; Posadas et al., 2002);
3. the Catalugna region, with few probably blasts: scattered quarries were pointed out in the area using the software Google Earth®;

4. the areas located in the Southern part of the Pyrénées: this area is also evidenced by the French catalogue and described in the previous paragraph.

### **5.5 Greece**

Greek seismicity catalogue is online available at the National Observatory of Athens website (NOA, <http://www.gein.noa.gr>). 49,497 earthquakes were recorded from January 1984 to March 2007, with a local magnitude spanning from 1 to 6.6 and a maximum depth of 230 km. The frequency-magnitude distribution as well as the analysis of the magnitude during time show an uneven behaviour for the low magnitudes and the EMR (Woessner and Wiemer, 2005) method warrants a magnitude of completeness of 3.1, that is higher respect to the chosen maximum magnitude value for all the catalogues:  $M_c$  was empirically determined through a rough analysis of the plot of the magnitude distribution in time and earthquakes with  $M_l \geq 2$  were selected. The histogram of the hour of the day is shown in figure 6.

The mineral industry is a small but important segment of Greek economy and Greece is a leading producer of bauxite, magnesite, nickel and perlite (Newman, 2007c), while the aggregate market plays an important role in the economy of the Country and represents 45% of the entire mineral production (Benardos et al., 2001). Marble and stone in general is another important and widespread activity that exists since historical time and extraction generally takes place at open-pit quarries (Mouflis et al., 2008): 300 marble quarries were currently in operation at 2006 (Kalimpakos and Mavrikos, 2006).

The area with an high D/N ratio value are shown in figure 11 and the comparison with the location of known excavation areas confirms the likely presence of quarry blasts. The difference between the Greek alphabet and the European one often interfered with the search for information about many areas. However, the higher values are obtained in:

1. Athens: the main volume of the aggregate production of Greece is located in the area around the Greek capital (Newman, 2007c). Many open-pit quarries are situated close to the urban fabric. Hymettus mountain, another Mediterranean classical marble quarry area (Polikreti and Maniatis, 2004; Brill et al., 2005), is located east of Athens;
2. in the western coast of Peloponnese: an excavation area is clearly observable by Google Earth® (37.8 N – 21.4 E);
3. the sea area located North of Crete island: no information was found about the area, but the histogram of the hour, besides of the peak in daily hours, shows the same trend observed in other excavation areas (e.g. Italy, area 2): the human lunch-break time.

### **5.6 Hungary**

The Hungarian catalogue, edited by the Earthquake Research Institute and online available at <http://www.georisk.hu/>, contains 563 earthquakes from 1995 to 2006 with a minimum magnitude of 1.7 (EMR method; Woessner and Wiemer, 2005); the maximum depth of events is 34 km. Figure 6 shows the histogram of the hour of the day.

Hungary produces modest amounts of fossil fuel and industrial minerals and the production of coal, gas and petroleum is sufficient to satisfy only about one-third of the Country's annual energy needs (Steblez, 2007b); bauxite is the major nonfuel mineral produced. Bauxite exploitation began in 1926 and nowadays only one mining company is active in the Country (Duracan et al., 2006).

The area with the highest value of the D/N ratio (about 13) is located in the Northeast part of the Country (Fig. 12): it is the bauxite districts of Bakony and Vértes Hills (Germán-Heins, 1994; Duracan et al., 2006; Steblez, 2007b). In particular, the area is centered in the Gant bauxite deposits, where the total production between 1926 and 2002 exceeded 105 Mt and the annual production of about 3 Mt of the 1970s and 1980s decreased to annual levels below 1 Mt in recent years (Duracan et al., 2006).

## **6. Discussion and Conclusion**

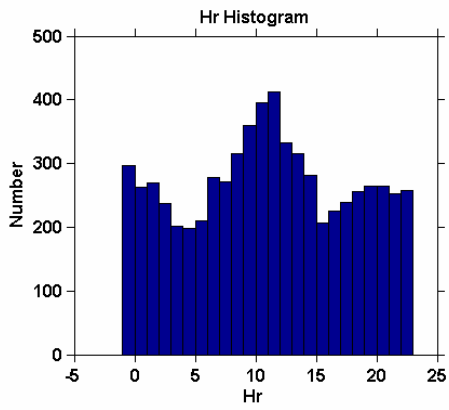
Explosives are the primary source of energy for rock breaking in the mining, quarrying and construction industries (Sanchidrián et al., 2007; Hamdi et al., 2008); they are also employed in salt, coal and ore mining, to excavate underground mines and in civil engineering (e.g. tunnel and subway). Despite the best efforts of network operators to identify quarry blasts, finding artificial events in a catalogue is common (e.g. Wiemer and Baer, 2000; Giardini et al., 2004). Methods for discriminating between natural and non-natural events are widely based on the spectral analysis (e.g. Murphy and Bennet, 1982; Hedlin et al., 1990; Wüster, 1993; Kim et al., 1994; Musil and Plešinger, 1996; Koch and Fäh, 2002; Parolai et al., 2002), but seismologists generally use final catalogues, not seismograms. The Wiemer and Baer (Wiemer and Baer, 2000) algorithm, based on a statistical criterion, allows the operators to identify the areas that are likely locations for quarry and mine blasts. The spatial mapping of the ratio between the number of daily and nightly events is indeed a performant indicator of the presence of artificial events in a catalogue. In the first part of this work we introduced two modifications to the algorithm of Wiemer and Baer (2000): the declustering of the catalogue using the Reasenberg (1985) method before applying the algorithm and the cut of the catalogue at a maximum magnitude threshold. As Giardini et al. (2004) indicates a maximum value of 2.5 for the European quarry blast, we adopted a conservative threshold of 3. Afterwards we tested the method, using both a synthetic and a regional catalogue (Czech Republic, where explosions are clearly indicated): the known excavation and mining areas were successfully identified.

In the second part of the work we applied the modified algorithm to other 6 European regional catalogues online available: Romania, France, Italy, Spain and Portugal, Greece, Hungary. Mining areas were easily identified too.

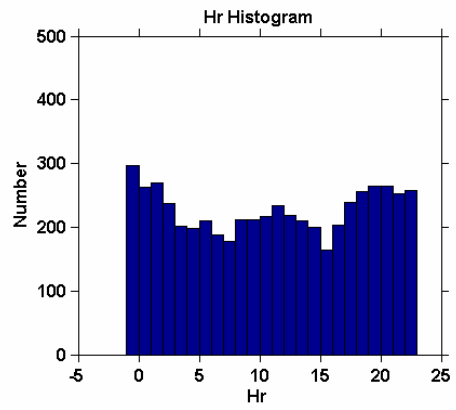
The obtained results confirm the reliability of the methodology in identifying mining areas but, as Wiemer and Baer (2000) suggest, the removal of all of the daily events inevitably involves

also the removal of some tectonics events. According to Wiemer and Baer (2000) the method can be used to locate such regions and further investigations using waveform based techniques, for example the technique proposed by Parolai et al. (2002), may be applied to detect the quarry blasts.

The presence of non-natural events is a real problem that has to be considered before any analysis based on seismic catalogues. This method also represents a valuable tool to detect areas where unauthorized mining is carried out.

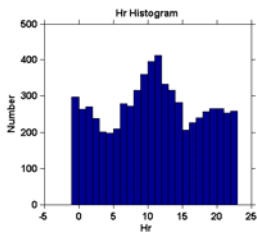


a)

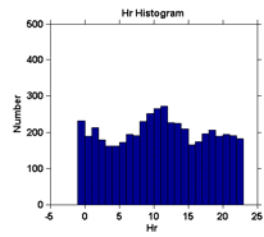


b)

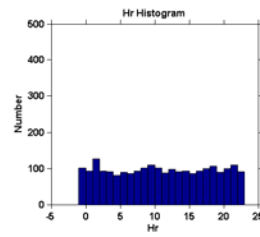
Fig. 1



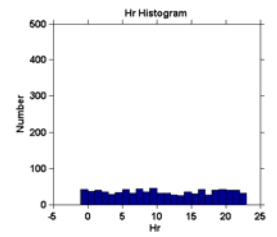
a)



b)



c)



d)

Fig. 2

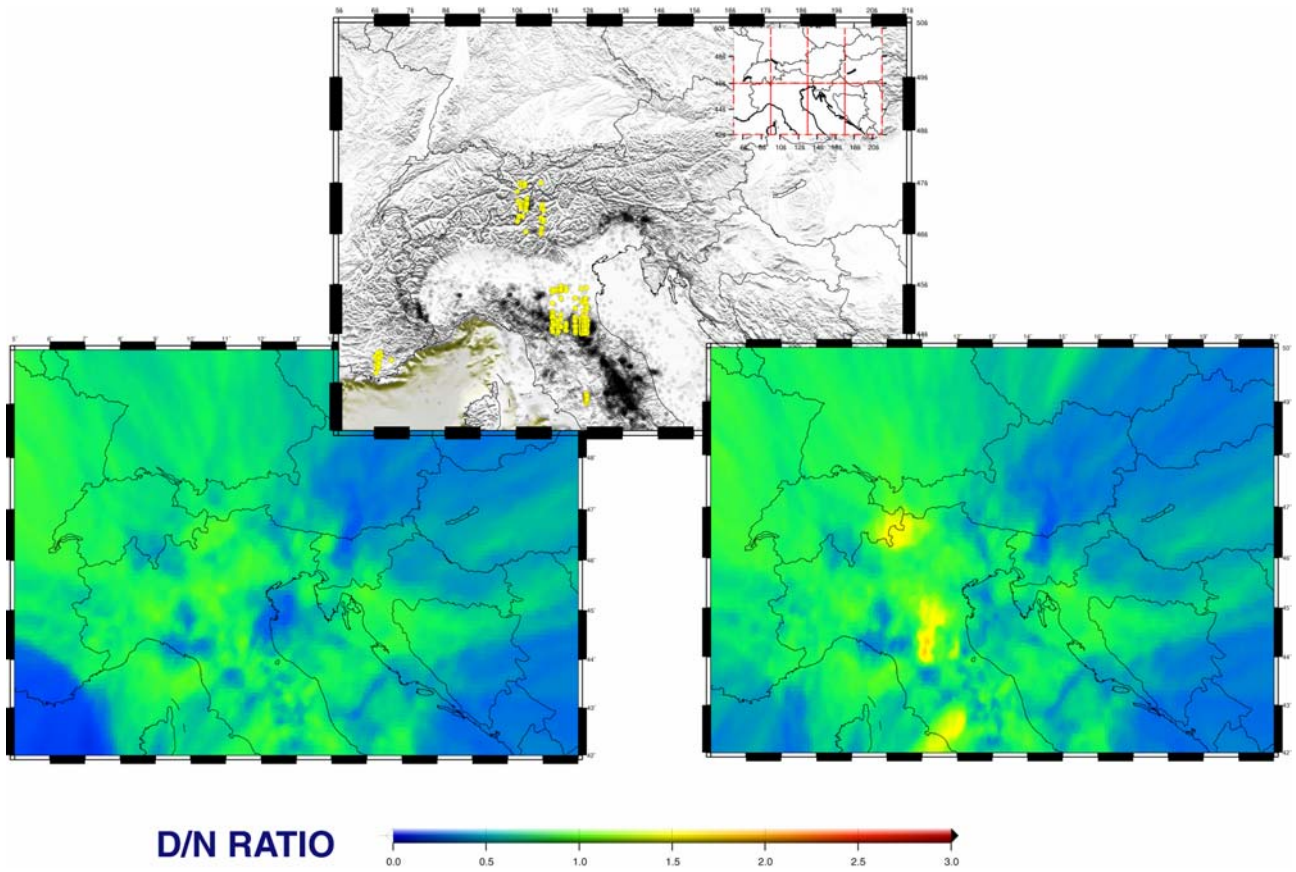


Fig. 3 a-b-c

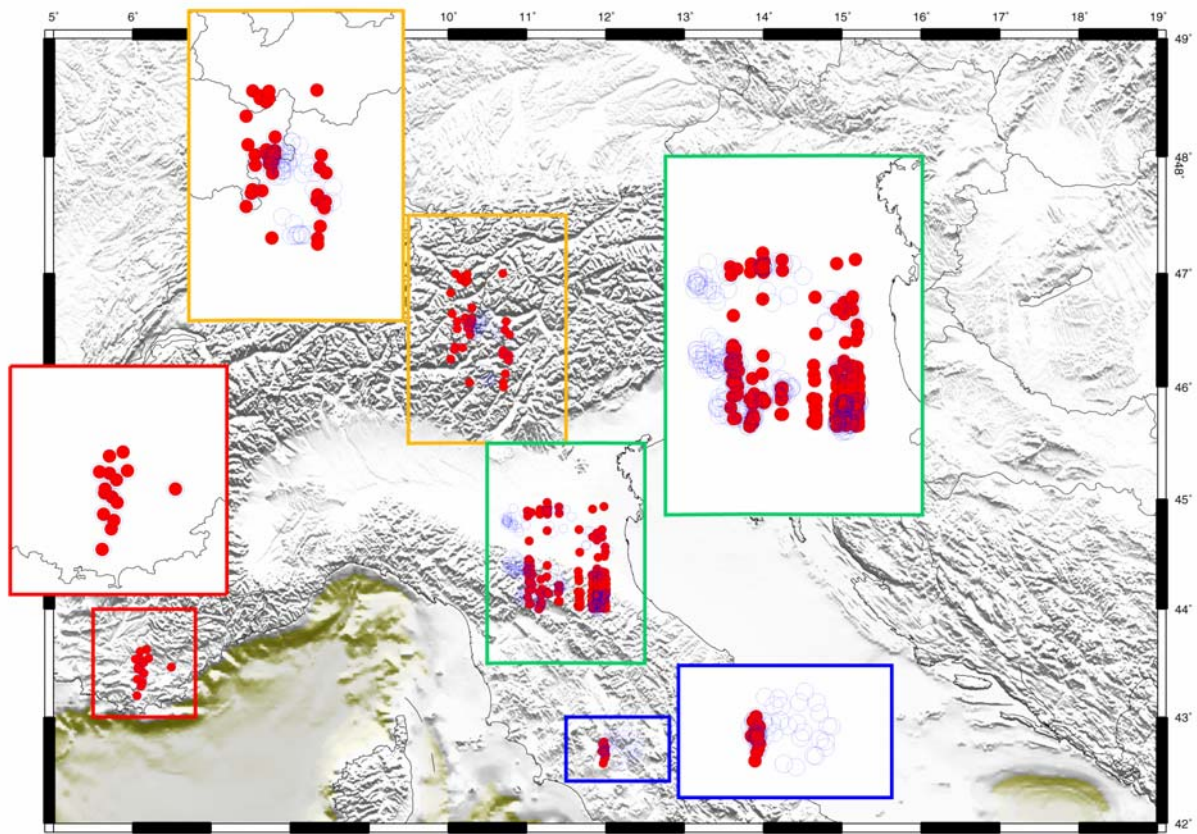


Fig. 4



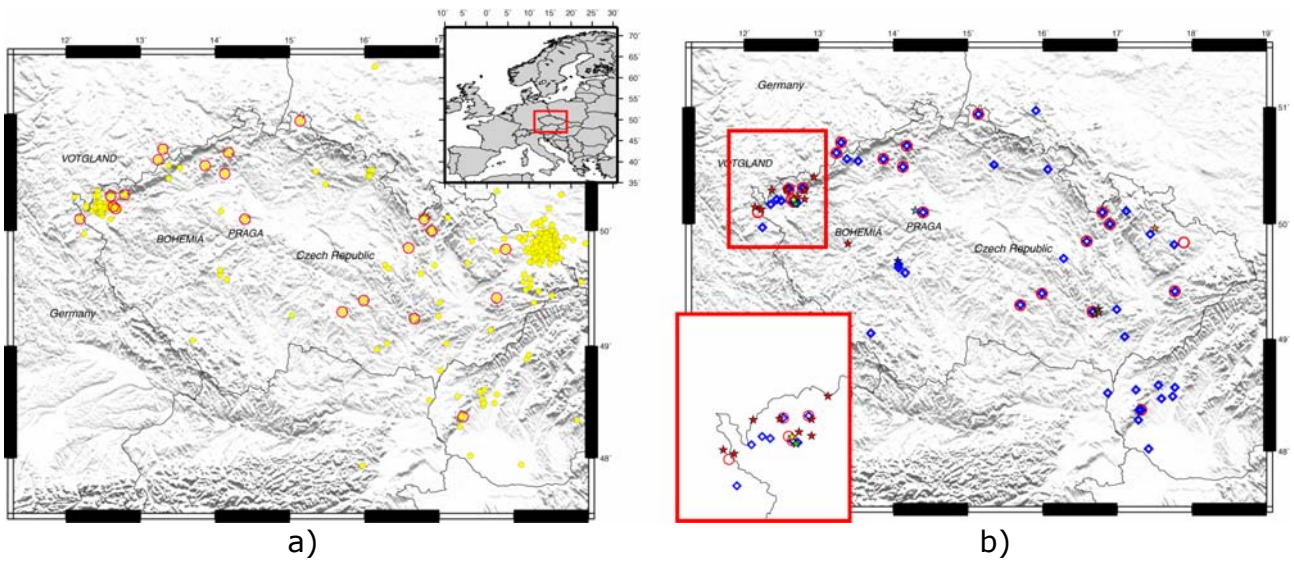


Fig. 5 a-b

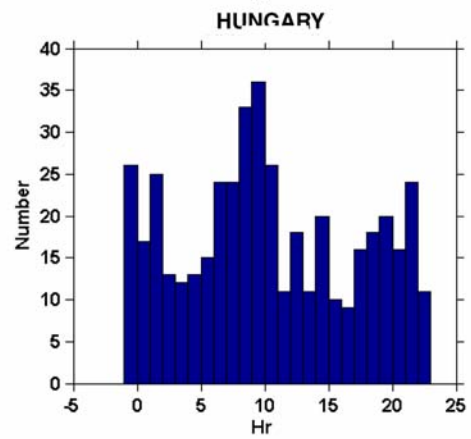
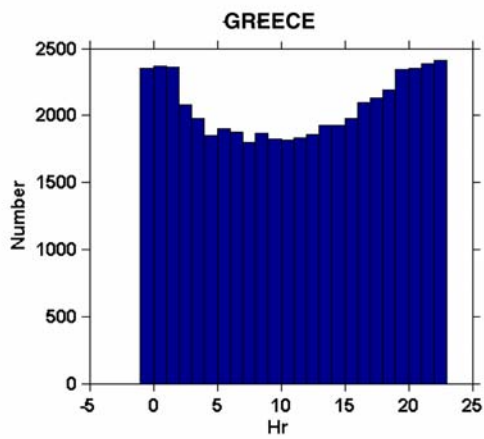
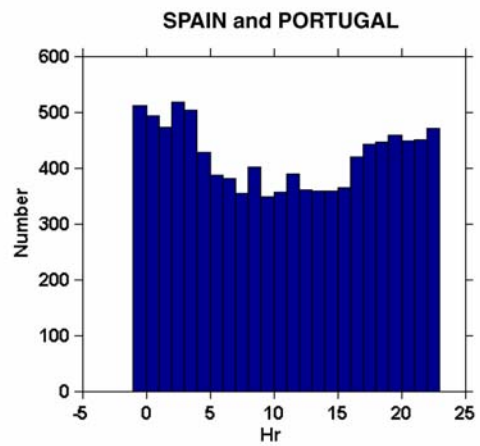
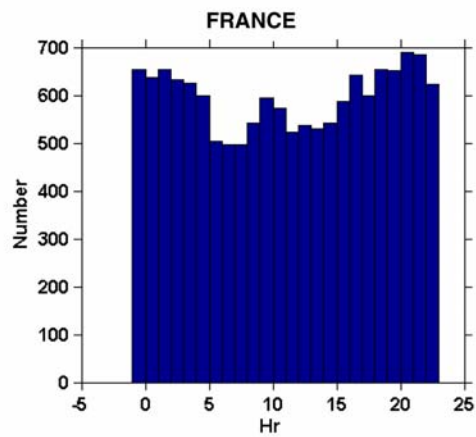
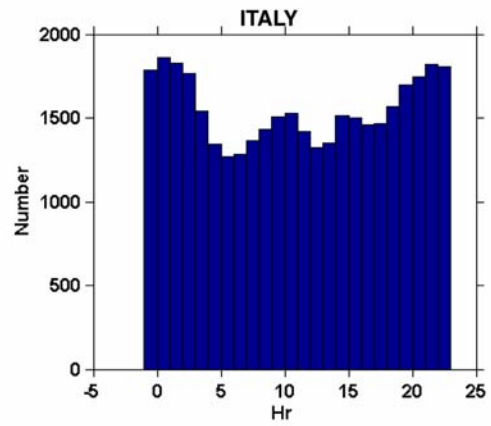
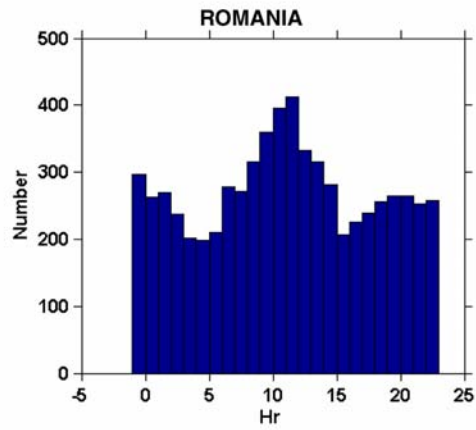


Fig. 6

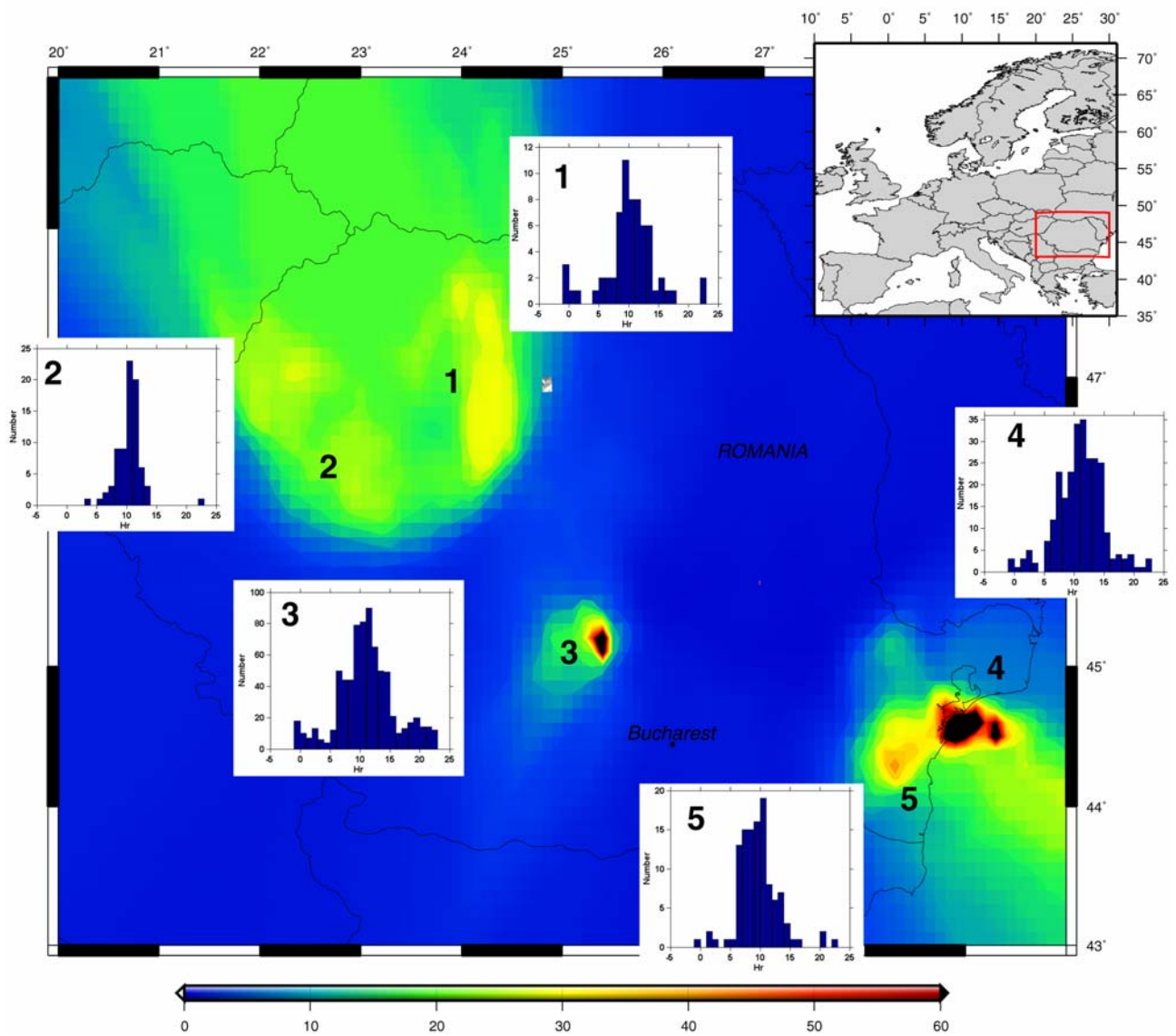


Fig. 7

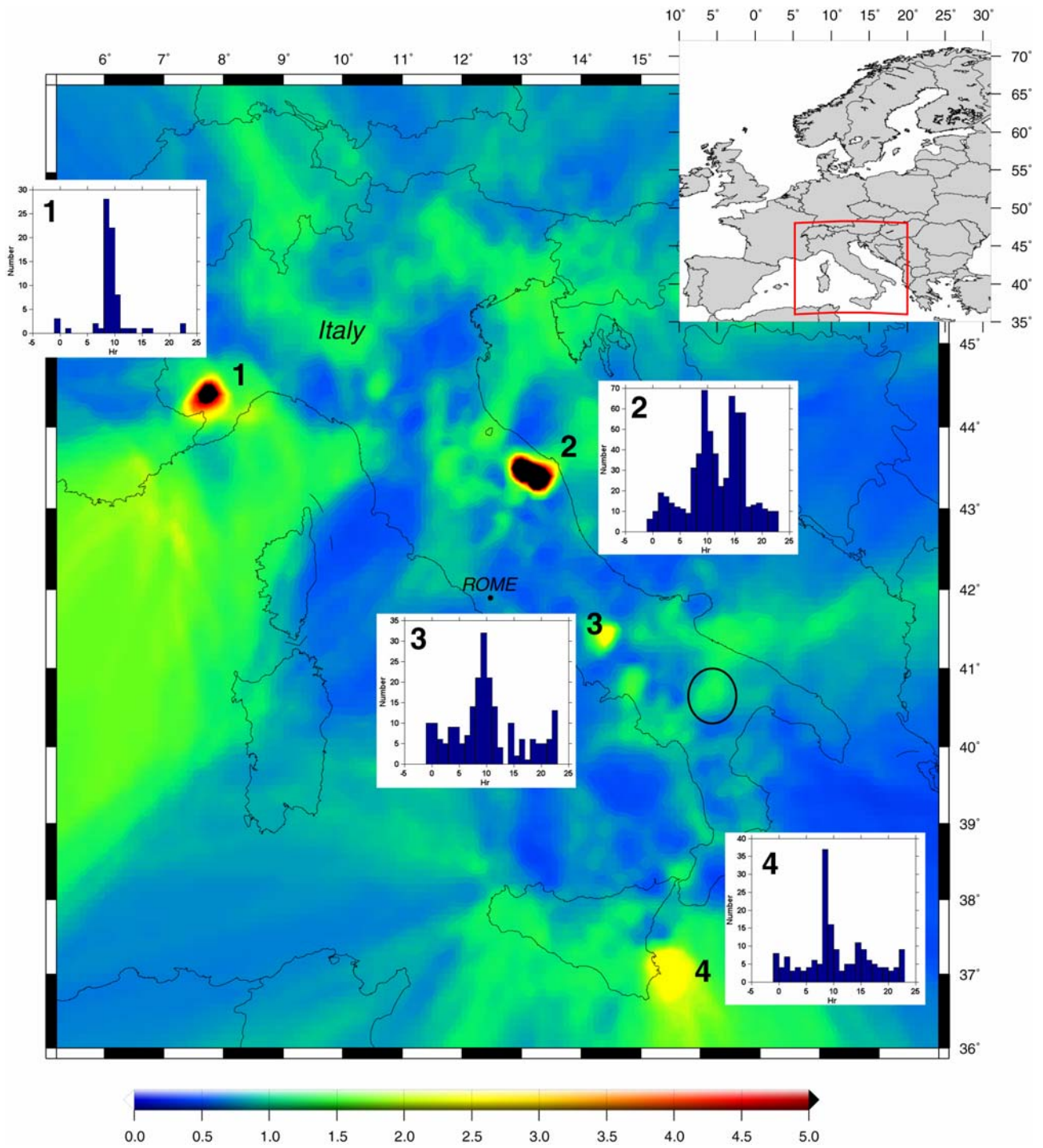


Fig. 8

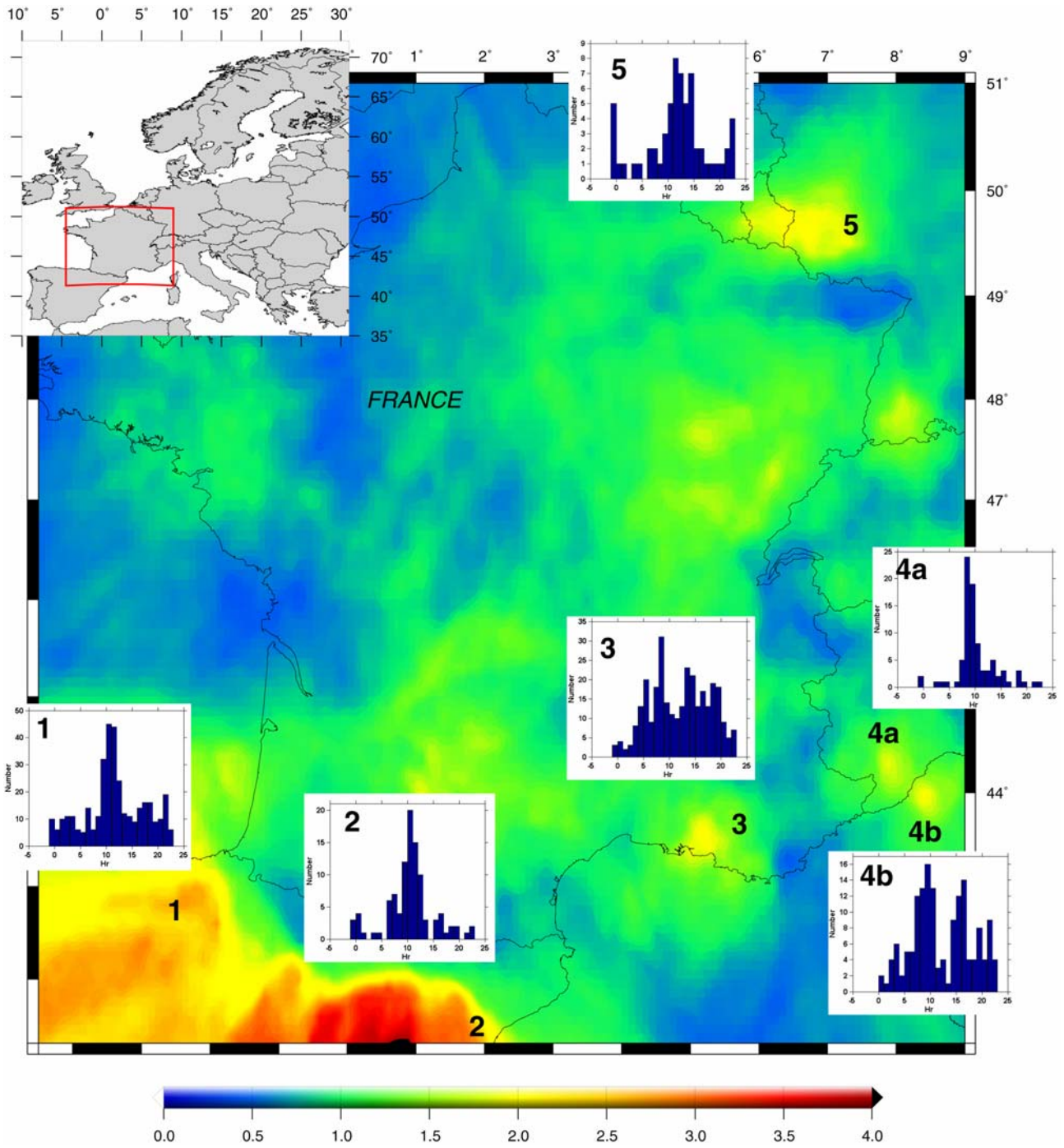


Fig. 9

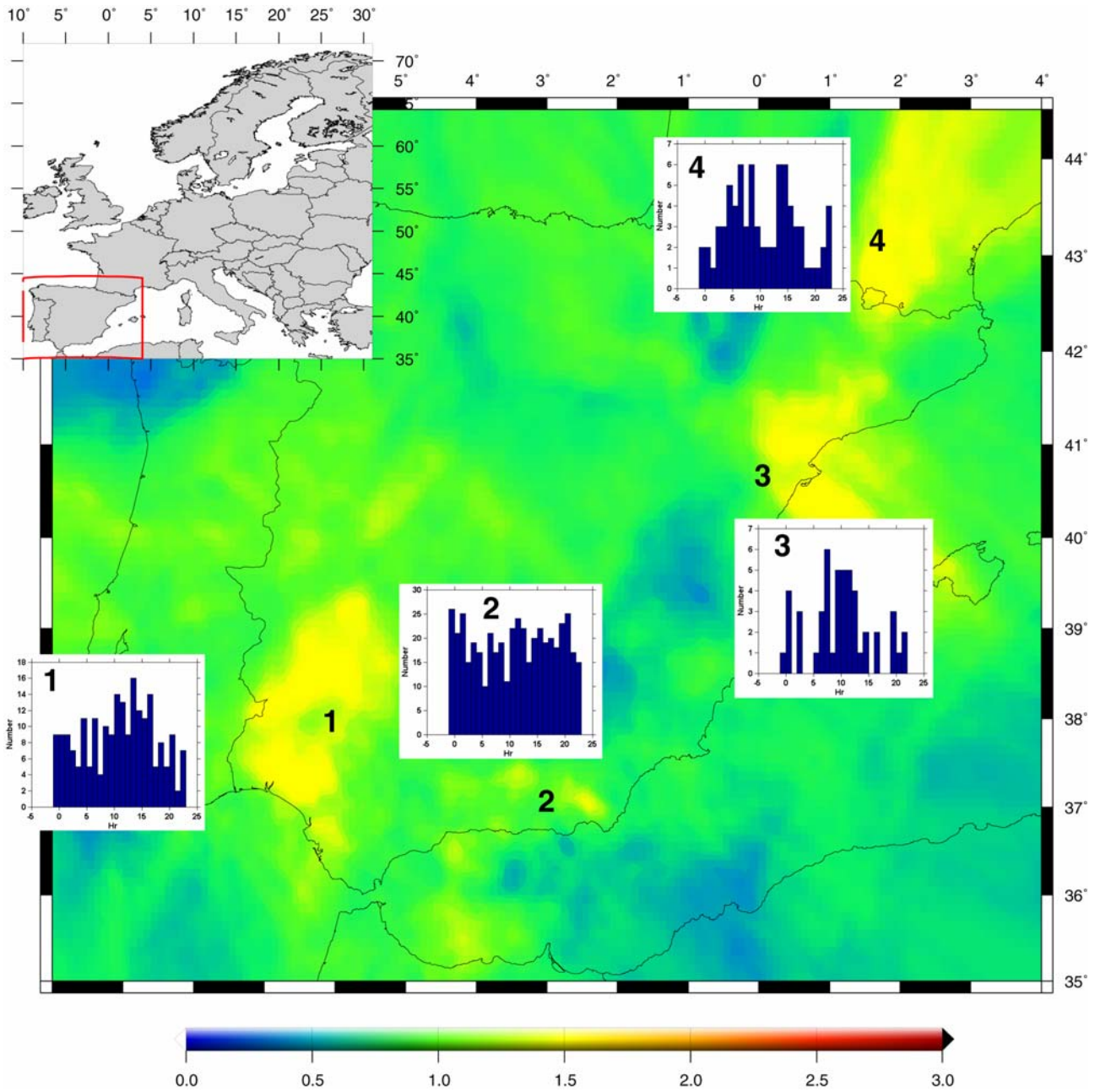


Fig. 10

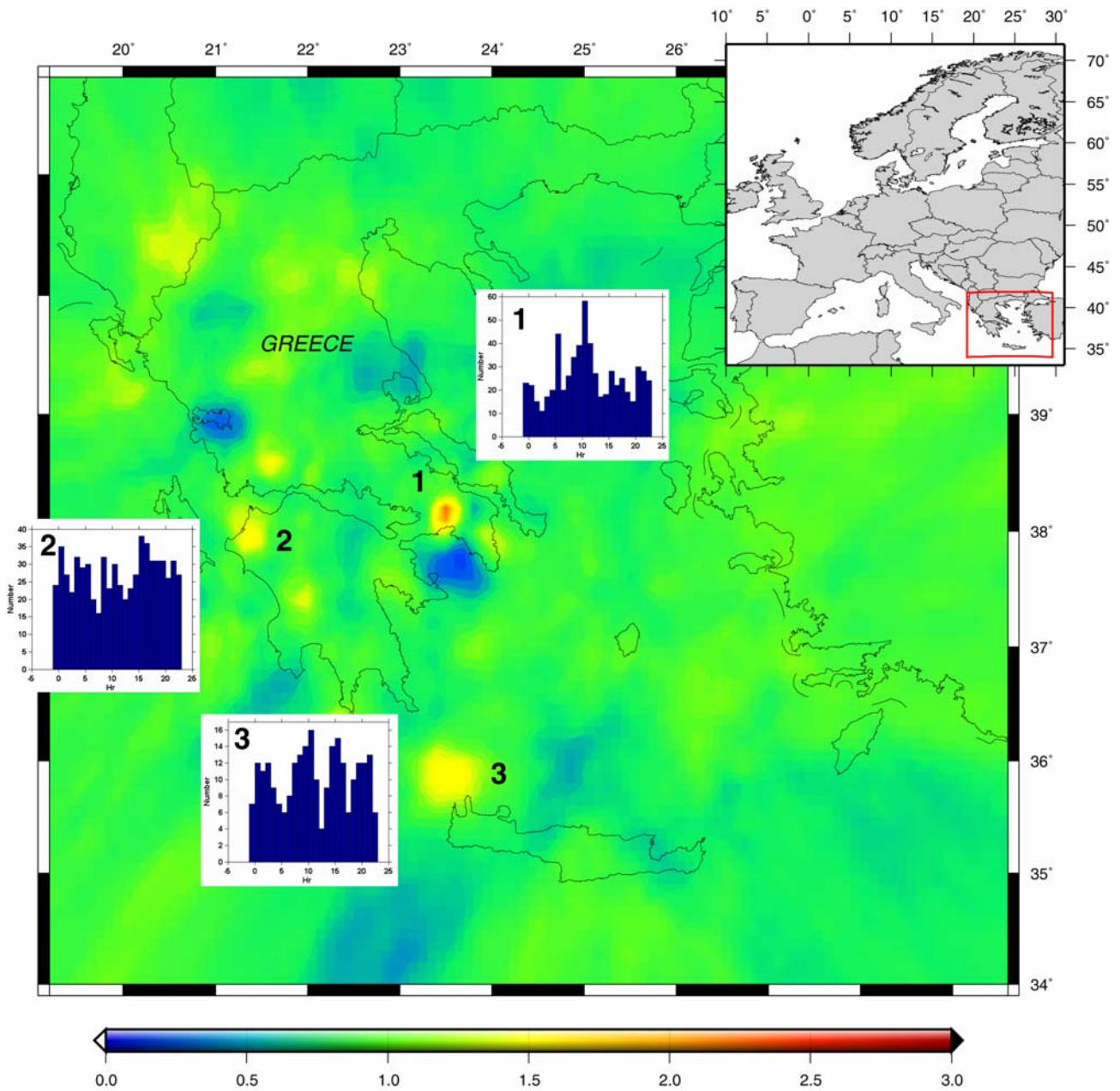


Fig. 11

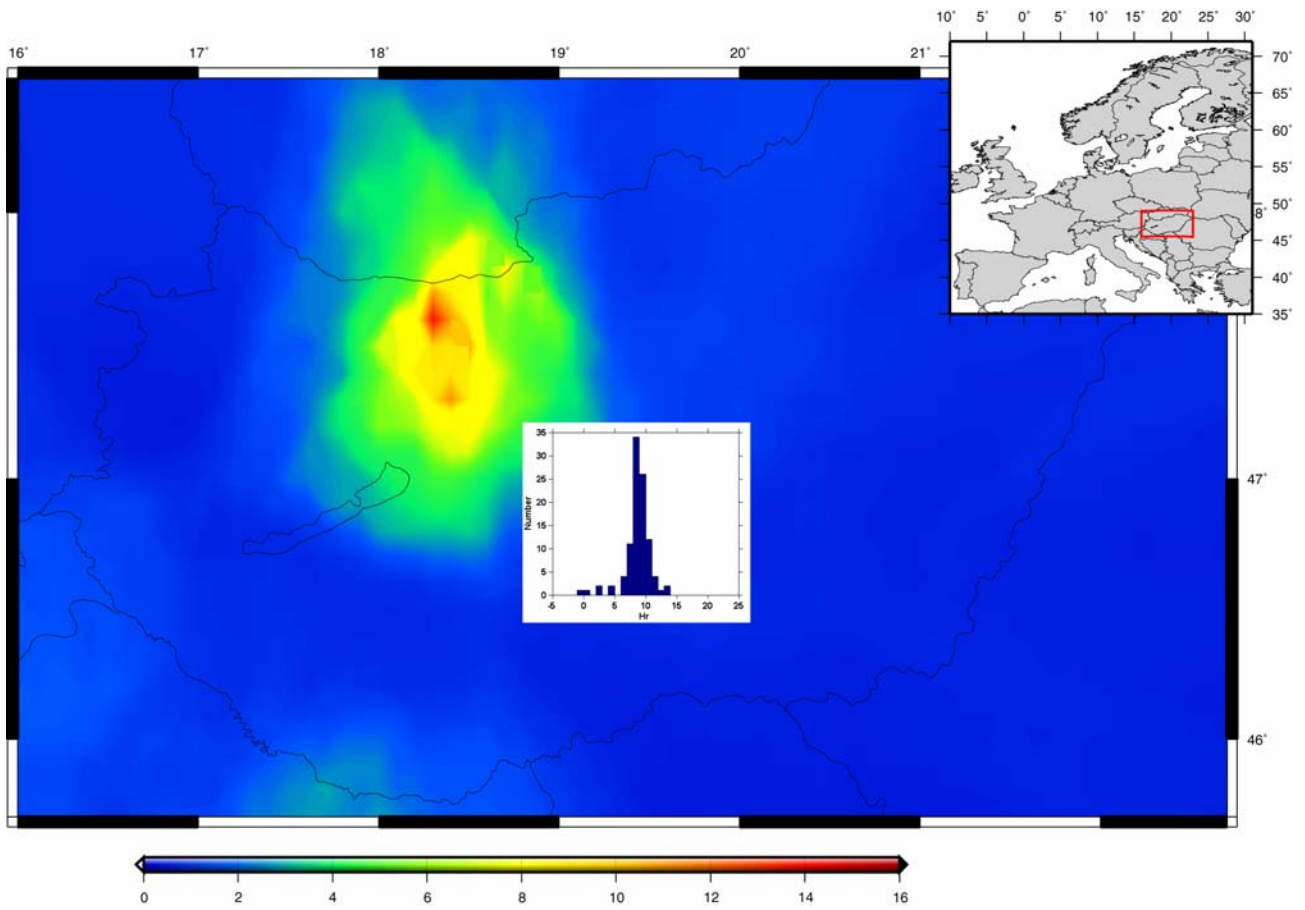


Fig. 12



## Captions

Fig. 1 a-b. Histograms of the number of events per hour in a) a quarry rich region and b) the same region after the removing of quarry blasts.

Fig. 2 The comparison between the histograms of the number of events per hour for the Romanian catalogue for different minimum magnitude: a)  $M \geq 2$ ; b)  $M \geq 2.5$ ; c)  $M \geq 3$ ; d)  $M \geq 3.5$ .

Fig. 3 a-b-c. Maps of the synthetic catalogue: a) the epicenters (black circles) of the generated events and the synthetic blasts (yellow circles); b) the ratio between daily and nightly events for the synthetic blasts without the synthetic quarry blasts; c) the ratio between daily and nightly events for the synthetic blasts with added the synthetic quarry blasts. The ratios are performed using a  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  spaced grid and the 100 nearest events to each node.

Fig. 4 The comparison between the synthetic blasts (red circles) added to the synthetic catalogue and the events (blue circles) removed by the algorithm (Wiemer and Beier, 2000). Contoured frames refers to the areas with same border colour.

Fig. 5 a-b. a) Plot of the epicenters (yellow circles) of the Czech Republic regional catalogue (<http://web.ig.cas.cz>); the red circles border the 21 explosions; b) comparison among the epicenters of the Czech Republic regional catalogue (<http://web.ig.cas.cz>), the 21 explosions contained in the catalogue and the potential quarry blasts evidenced by the algorithm of Wiemer and Bear (2000). The stars indicate the locations of possible blast sources: quarries from Musil and Plešinger (1996; red stars); quarries of Přední Kopanina (blue-sky star) and Karlovy Vary (green star); the 3 big quarries observable by Google Earth® ([http://earth.google.com/intl/en\\_uk/](http://earth.google.com/intl/en_uk/); brown stars); the underground gas storage of Háje (blue star); the brown coal basin around the city of Sokolov (yellow star) and the Dlouhé Strane Hydro Power Station (orange star). The West Bohemia/Votgland (see text) region is enlarged in the red frame.

Fig. 6 The histogram of the hour of the day for the events in the 6 analysed regional seismic catalogues.

Fig. 7 Map of the ratio between daily and nightly Romanian events and the histograms of the hour of the day of the total number of events for the areas with the higher ratios.

Fig. 8 Map of the ratio between daily and nightly Italian events and the histograms of the hour of the day of the total number of the events for the areas with the higher ratios.

Fig. 9 Map of the ratio between daily and nightly French events and the histograms of the hour of the day of the total number of the events for the areas with the higher ratios.

Fig. 10 Map of the ratio between daily and nightly Iberian events and the histograms of the hour of the day of the total number of the events for the areas with the higher ratios.

Fig. 11 Map of the ratio between daily and nightly Hungarian events and the histograms of the hour of the day of the total number of the events for the areas with the higher ratios.

## References

- Abdul-Wahed M K, Heib M A, Senfaute G (2006) Mining induced seismicity: Seismic measurement using multiplet approach and numerical modeling. *Int J Coal Geol* 66:137-147
- Adriani G F, Walsh N (2002) Physical properties and textural parameters of calcarenitic rocks: qualitative and quantitative evaluations. *Eng Geol* 67:5-15
- Ardeleanu L, Leydecker G, Bonjer K-P, Busche H, Kaiser D, Schmitt T (2005) Probabilistic seismic hazard map for Romania as a basis for a new building code. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 5:679-684
- Bath M (1975) Short-period Rayleigh waves from near-surface events. *Phys Earth Planet Inter* 10:369-376
- Benardos A G, Kalimpakos D C, Prousiotis J G, Mavrikos A A, Skoparantzios K A (2001) Underground aggregate mining in Athens: a promising investment plan. *Tunn Undergr Sp Tech* 16:323-329
- Berg J W, Cook K L (1961) Energies, Magnitudes and Amplitudes of Seismic Waves from quarry blasts at Promontory and Lakeside, Utah. *Bull Seism Soc Am* 51(3):389-399
- Bird G, Brewera P A, Macklina G, Serbanb M, Balteanu D, Drigab B (2005) Heavy metal contamination in the Arieş river catchment, western Romania: Implications for development of the Roşia Montană gold deposit. *J Geochem Explor* 86:26-48
- Blachère A, Morel S, Lefort D (2005) France. In: Wolkersdorfer C., Bowell R. (eds.) *Contemporary Reviews of Mine Water Studies in Europe, Part 2. Mine Water Environ.*, 24: 2-37
- Brilli M, Cavazzini G, Turi B (2005) New data of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in classical marble: an initial database for marble provenance determination. *J Arch Sci* 32:1543-1551
- Buza M, Dimen L, Pop G, Turnock (2001) Environmental protection in the Apuseni Mountains: The role of Environmental Non-Governmental Organisations (ENGOS). *GeoJournal* 54:631-653
- Cadicheanu N, van Ruymbeke M, Zhh P (2007) Tidal triggering evidence of intermediate depth earthquakes in the Vrancea zone (Romania). *Nat Hazards Earth Syst Sci* 7:733-740
- Carnec C, Delacourt C (2000) Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, near Gardanne, France. *J Appl Geophys* 43:43-54
- Castello B, Selvaggi G, Chiarabba C, Amato A (2006) *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002*, versione 1.1. INGV-CNT, Roma, Available via DIALOG: <http://www.ingv.it/CSI/>
- Durucan S, Korre A, Munoz-Melendez G (2006) Mining life cycle modelling: a cradle-to-gate approach to environmental management in the mineral industry. *J Clean Prod* 14:1057-1070
- Florea R M, Stoica AI, Baiulescu G E, Capotă P (2005) Water pollution in gold mining industry: a case study in Roşia Montană district, Romania. *Environ Geol* 48:1132-1136
- Galán E, Carretero M I, Mayoral E (1999) A methodology for locating the original quarries used for constructing historical buildings: application to Málaga Cathedral, Spain. *Eng Geol* 54:287-298
- German-Heisn J (1994) Iron-rich encrustation on the footwall of the Gánt bauxite (Vértes Hills Hungary) – evidence for preservation of organic matter under exceptional conditions? *Sed Geol* 94:73-83

- Giardini D, Wiemer S, Fäh D, Deichmann D (2004) *Seismic Hazard Assessment of Switzerland*. Report, Swiss Seismological Service, ETH Zurich, 88 pp.
- Goforth T T, Bonner J L (1995) Characteristics of Rg Waves Recorded from Quarry Blasts in Central Texas. *Bull Seism Soc Am* 85(4):1232-1235
- Gurmendi A C (2007) The Mineral Industry of Portugal. 2006 Mineral Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Gutenberg B, Richter C F (1944) Frequency of earthquakes in California. *Bull Seismol Soc Am* 34:185-188
- Gutenberg B, Richter C F (1956) Earthquake, Magnitude, Intensity and Acceleration (second paper). *Seismol Soc Am* 46:105-143
- Hamdi E, Bouden Romdhane N, du Mouza J, Le Cleac'h J M (2008) Fragmentation Energy in Rock Blasting. *Geotech Geol Eng* 26:133-146
- Habermann R E (1987) Man-made changes of seismicity rates. *Bull Seism Soc Am*, 77:141-159
- Hedlin M A (2002) Identification of Mining Blasts at Mid- to Far-regional Distances Using Low Frequency Seismic Signals. *Pure appl geophys* 159:831-863
- Holub K (2007) A study of mining-induced seismicity in Czech mines with longwall coal exploitation. *J Min Science* 43(1):32-39
- Horasan G, Güney A B, Küsmezer A, Bekler F, Öğütçü Z, Musaoğlu N (2009) Contamination of seismicity catalogs by quarry blasts: An example from İstanbul and its vicinity, northwestern Turkey. *J Asian Earth Sci* 34(1):90-99
- Hudson-Edwards K A, Schell C, Macklin M G (1999) Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining in the Rio Tinto area, southwest. Spain *Appl Geochem* 14:1015-1030
- Kafka A L (1990) Rg as a depth discriminant for earthquakes and explosions: a case study in New England. *Bull Seism Soc Am* 80(2):373-394
- Kalimpakos D C, Mavrikos A A (2006) Introducing a new aspect in marble quarry rehabilitation in Greece. *Environ Geol* 50:353-359
- Kim W Y, Simpson D W, Richards P G (1994) High-Frequency Spectra of Regional Phases from Earthquakes and Chemical Explosions. *Bull Seism Soc Am* 84(5):1365-1386
- Knapp J H, Knapp C C, Raileanu V, Matenco L, Mocanu V, Dinu C (2005) Crustal constraints on the origin of mantle seismicity in the Vrancea Zone, Romania: The case for active continental lithospheric delamination. *Tectonophysics* 410:311-323
- Koch K, Fäh D (2002) Identification of Earthquakes and Explosions Using Amplitude Ratios: The Vogtland Area Revisited. *Pure appl geophys* 159:735-757
- Koch K (2002) Seismic Event Identification of Earthquakes and Explosions in Germany Using Spectral Lg Ratios. *Pure appl geophys* 159:759-778
- Komnitsas K, Kontopoulos A, Lazar I, Cambridge M (1998) Risk Assessment and Proposed Remedial Actions in Coastal Tailings Disposal Sites in Romania. *Miner Eng* 11 (12):1179-1190

- Lapiente M P, Turi B, Blanc P (2000) Marbles from Roman Hispania: stable isotope and cathodoluminescence characterization. *Appl Geochem* 15:1469-1493
- Legambiente (2008) Il punto sulle cave in Italia. I numeri, le leggi e i piani, le buone e cattive pratiche. Rapporto di Legambiente sulla gestione dell'attività estrattiva nel territorio italiano. 29 pp.
- Málek J, Brokešová J (2003) Seismic event location in the vicinity of the underground gas storage Háj-Příbram. *Acta Montana*. 22(129):65 – 73
- Mittag R J (2003) Fractal analysis of earthquake swarms of Vogtland/NW-Bohemia intraplate seismicity. *J Geodyn* 35:173-189
- Mouflis G D, Gitas I Z, Iliadou S, Mitri G H (2008) *Assesmenet of the visual impact of marble quarry expansion (1984-2000) on the landscape of Thassos island, NE Greece* Landscape. *Urban Plann* 86:92-102
- Musil M, Plešinger A (1996) Discrimination between local Microearthquakes and Quarry Blasts by Multi-Layer Perceptrons and Kohonen. *Maps Bull Seism Soc Am* 86(4):1077-1090
- Murphy J R Bennet T J (1982) Analysis of Seismic Discrimination capability Using Regional Data from Western United States Events. *Bull Seism Soc Am* 76:1069-1086
- Neunhöfer H, Meier T (2004) Seismicity in the Vogtland/Western Bohemia earthquake region between 1962 and 1998. *Stud Geophys Geod* 28:539-562
- Newman H R (2007a) The Mineral Industry of France. 2005 Minerals Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Newman H R (2007b) The Mineral Industry of Spain. 2005 Minerals Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Newman H R (2007c) The Mineral Industry of Greece. 2005 Minerals Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Nicolas M, Bethoux N, Madeddu B (1998) Instrumental Seismicity of the Western Alps: A Revised Catalogue. *Pure appl Geophys* 152:707-731
- Oncescu M C, Marza V I, Rizescu M, Popa M (1999) *The Romanian Earthquake Catalogue between 984-1997*, In: F. Wenzel, D. Lungu (eds.) and O. Novak (co-ed), *Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 43-47
- Otero N, Soler A (2002) Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salination in the Llobregat Basin (NE Spain). *Water Res* 36:3989-4000
- Parolai S, Trojani L, Frapiccini M, Monachesi G (2002) Seismic Source Classification by Means of a Sonogram-Correlation Approach: Application to Data of the RSM Seismic Network (Central Italy). *Pure appl Geophys* 159:2763-2788
- Pinedo V I (1963) *Piritas de Huelva: su historia, mineria y aprovechamiento* Ed Sucesores de Rivadenegra, Madrid, 1003 pp
- Polikreti K, Maniatis Y (2004) Distribution changes of Mn<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> on weathered marble surfaces measured by EPR spectroscopy. *Atmos Environ* 38:3617-3624
- Posadas A, Morales J, Vidal F, Sotolongo-Costa O, Antoranz J C (2002) Continuous time random walks and south Spain seismic series. *J Seism* 6:61-67

- Přikryl R, Lokajíček T, Svobodova J, Weishauptová Z (2003) Experimental weathering of marlstone from Přední Kopanina (Czech Republic) –historical building stone of Prague. *Build Environ* 38:1163-1171
- Reasenber P (1985) Second-order moment of central California seismicity: 1969–1982. *J Geophys Res* 90:5479–5495
- Regione Umbria (2007) Relazione informativa sull'attività di cava (par. 2.5.10 PRAE). 17 pp
- Richards P G, Kim W-Y (1997) Testing the Nuclear Test-Ban Treaty. *Nature* 389:781–782
- Romanian Government (2006) Regional Operational Programme 2007-2013. Revised Official Proposal. Ministry of European Integration. 246 pp
- Sáez R, Amodóvar G R, Pascual E (1996) Geological constraints on massive sulphide genesis in the Iberian Pyrite Belt Ore. *Geol Rev* 11:429-451
- Sanchidrián J A, Segarra P, López L M (2007) Energy components in rock blasting. *Int J Rock Mech Min Sci* 44:130-147
- Sklenicka P, Charvatova E (2003) Stand continuity –a useful parameter for ecological networks in post-mining landscapes. *Ecol Eng* 20:287-296
- Steblez W G (2008) The Mineral Industry in Italy. 2006 Mineral Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Steblez W G (2007a) *The Mineral Industry of the Northern Balkans. Bulgaria and Romania.* 2005 Minerals Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Steblez W G (2007b) *The Mineral Industry of Central Europe. Czech Republic, Hungary, Poland and Slovakia.* 2005 Minerals Yearbook, USGS. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Steblez W G (2002) *The mineral industry of Bulgaria and Romania.* 2000 Minerals Yearbook. Available via DIALOG: <http://minerals.usgs.gov>
- Strauss G K, Madel J, Alonso F F (1977) Exploration practice for strata-bound volcanogenic sulphide deposits in the Spanish-Portuguese pyrite belt. In: Klemm D.D., Schneider H.J. (Eds.), *Time and Strata-bound ore deposits.* Springer-Verlag, Berlin, pp. 55-93
- Wessel P, Smith W H F (1991) Free software helps map and display data, *Eos. Trans. AGU*, 72 (41):573-600
- Wiemer S (2001) A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismol Res Lett* 92:373-382
- Wiemer S, Baer M (2000) Mapping and Removing Quarry Blast Events from Seismicity Catalogs. *Bull Seism Soc Am* 90(2):525-530
- Wiemer S, Wyss M (2000) Minimum Magnitude of Completeness in Earthquake Catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan. *Bull Seism Soc Am* 90(4):859-869
- Wilson A J (1981) Archaeologists find 'missing link' in Rio Tinto mining history. *Queensland Gov. Min. J.*, 82: 32-33.

Woessner J, Wiemer S (2005) Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty. *Bull Seism Soc Am* 95(2):684-698

Wüster J (1993) Discrimination of chemical explosions and earthquakes in Central Europe – a case study. *Bull Seism Soc Am* 83(4):1184-1212

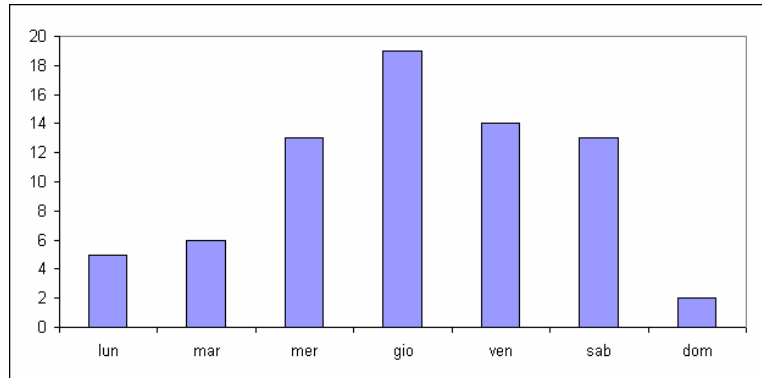
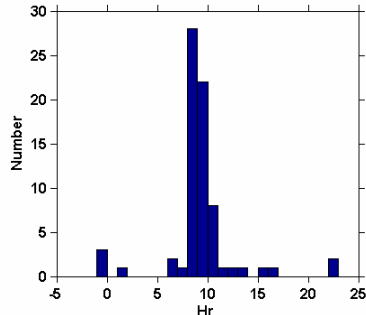
Zhou R M, Stump B B (2007) Frequency-Domain Scaling of Single-Fired Mining Explosions with Different Confinements and Explosive Weights Detonated in Porphyry Granite. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 97(6): 1862-1879.

Zuniga F R, Wyss M (1995) Inadvertent Changes in Magnitude Reported in Earthquake catalogs: Their Evaluation through b-Value Estimates. *Bull Seism Soc Am* 85(6):1858-1866

*Alcune tra le analisi non inserite nell'articolo*

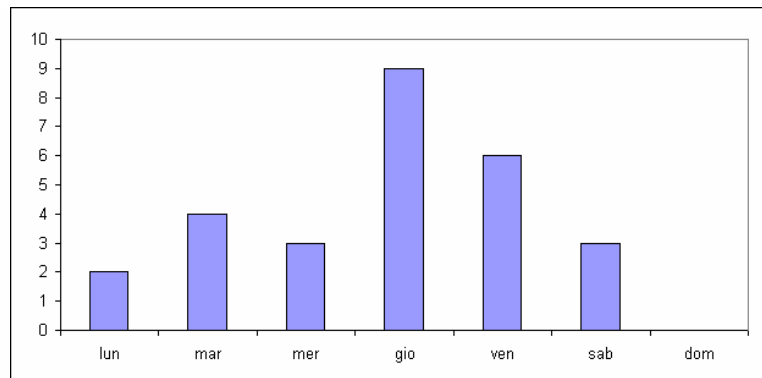
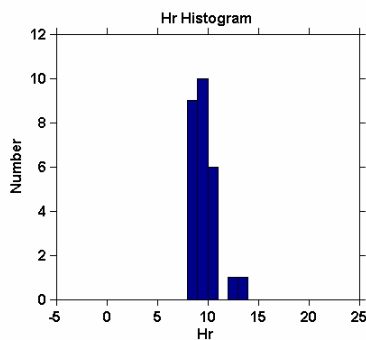
**ITALIA Area 1 (Cuneo, Piemonte)**

72 terremoti: solo 2 avvenuti di domenica.



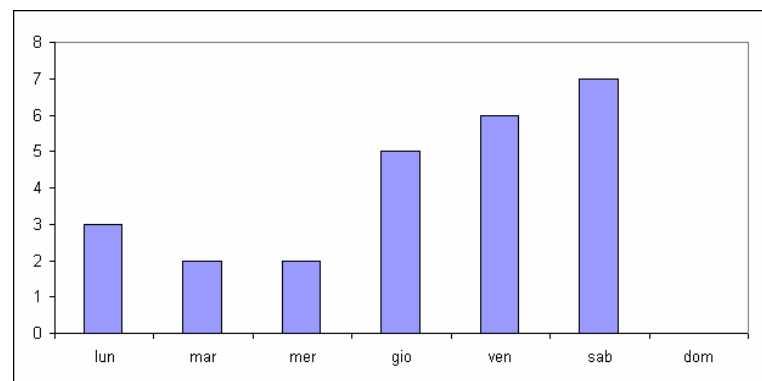
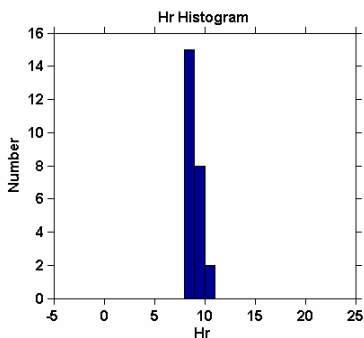
In particolare gli eventi sono raggruppati in due aree, centrati nei punti di coordinate 44.36 N e 7.49 E (area 1A) e 44.27 N e 7.47 E (area 1B).

- Area 1A (centrata 3 km a nord del comune di Borgo San Dalmazzo, Piemonte)



Tutti gli eventi registrati nell'area sono diurni e sono avvenuti esclusivamente in giorni feriali.

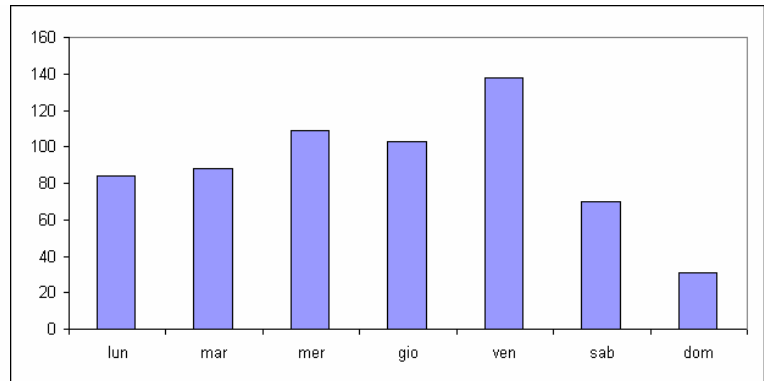
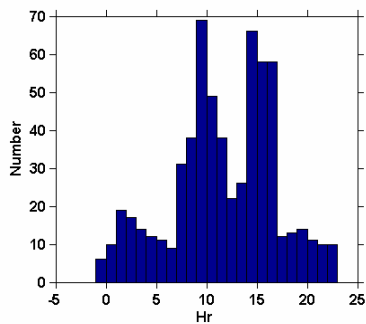
- Area 1B (centrata tra i comuni di Valdieri, Entraque,, Tetto Snive, Roccavione e Robilante, in Piemonte).



Anche in quest'area, tutti gli eventi registrati sono diurni e sono avvenuti esclusivamente in giorni feriali.

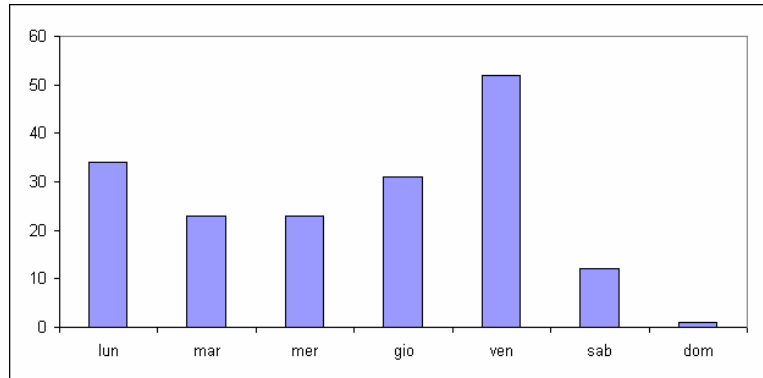
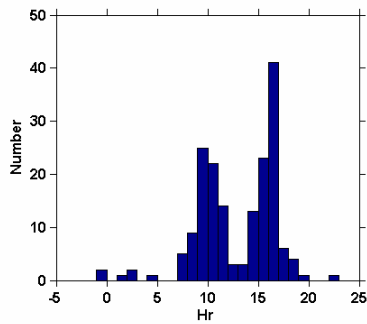
## ITALIA Area 2 (Umbria-Marche)

623 terremoti, 31 di domenica. Da notare la 'pausa pranzo' verso le 13...

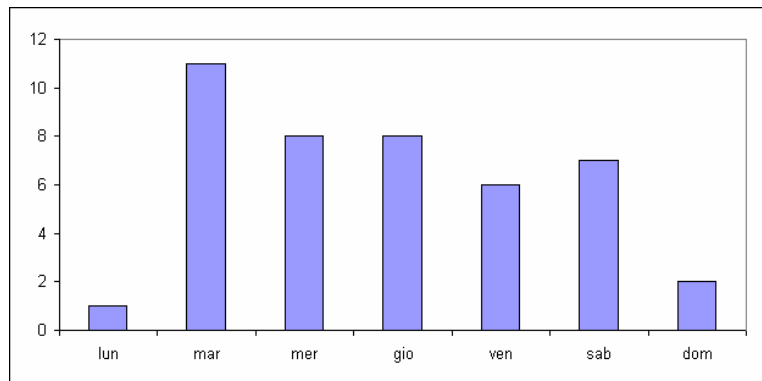
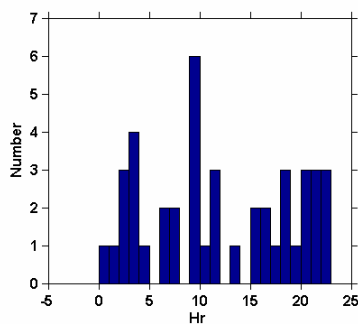


Selezioni centrate sui comuni di Cingoli, Genga e Cantiano (i comuni presenti anche in Parolai et al., 2002).

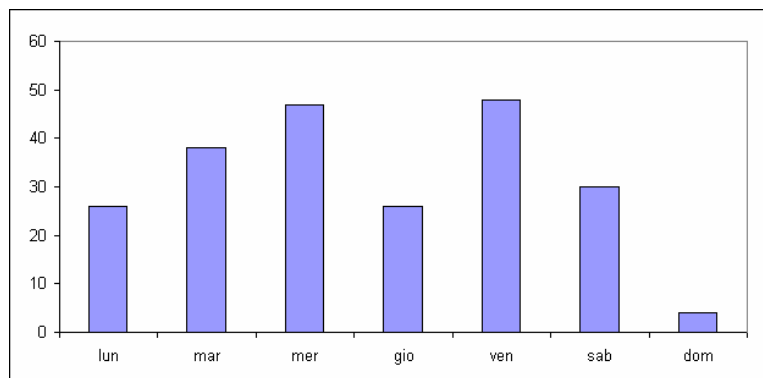
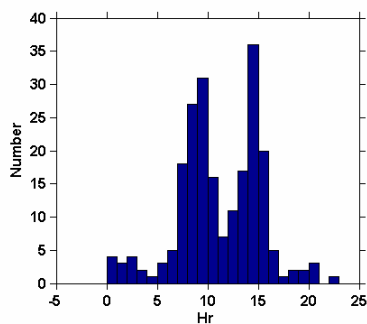
- Cingoli:



- Cantiano

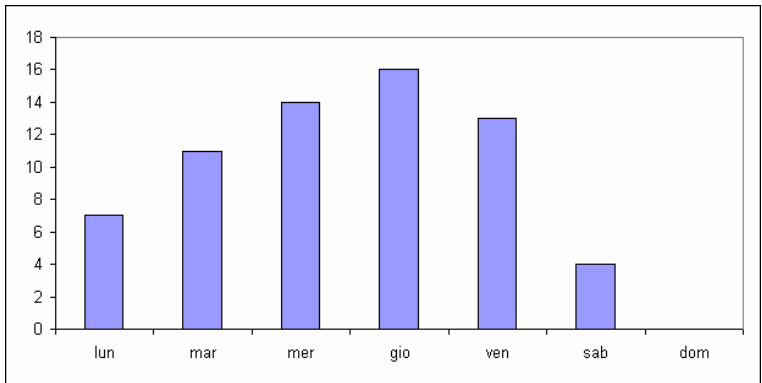
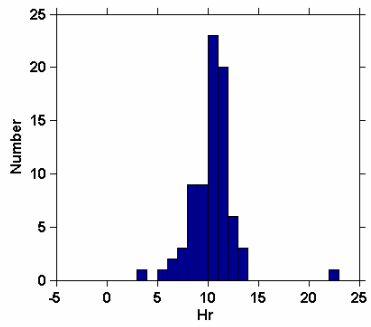


- Genga

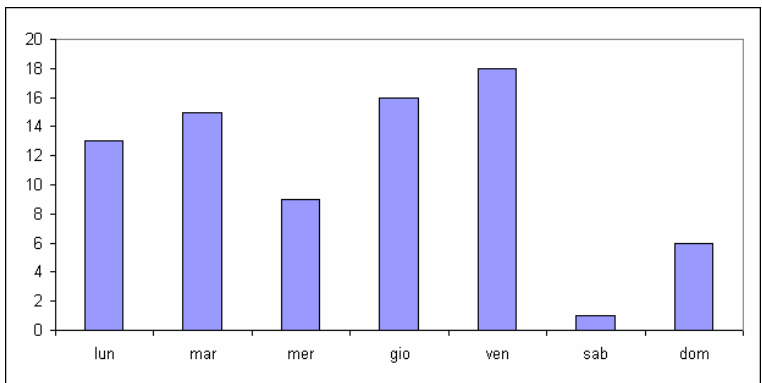
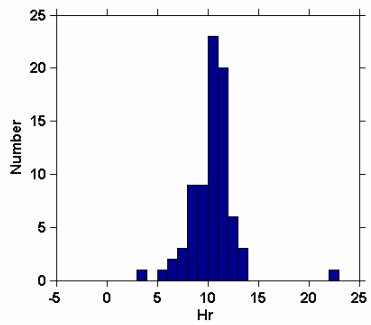




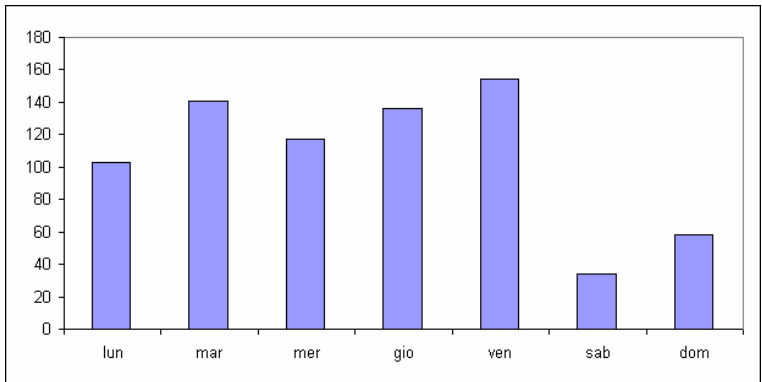
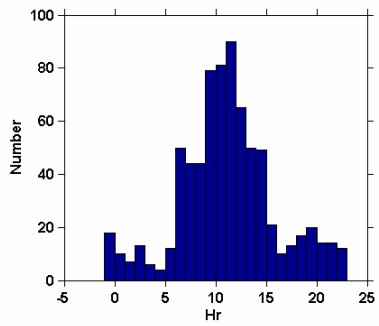
### ROMANIA Area 1



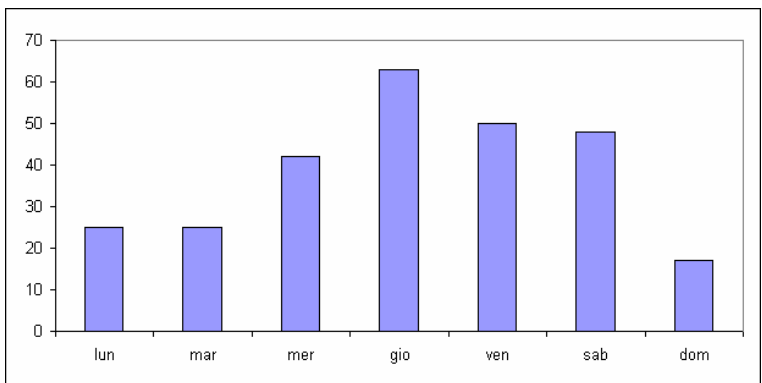
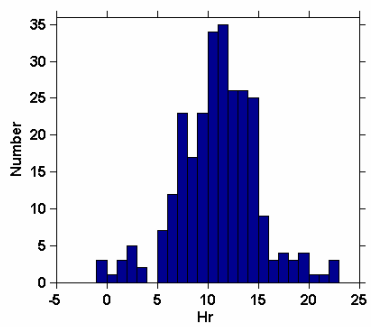
### ROMANIA Area 2



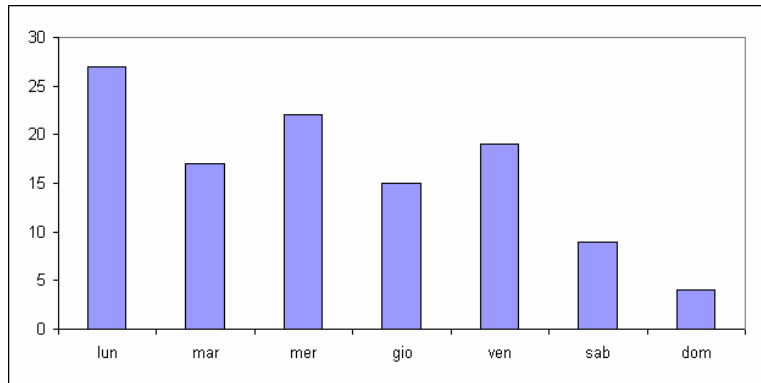
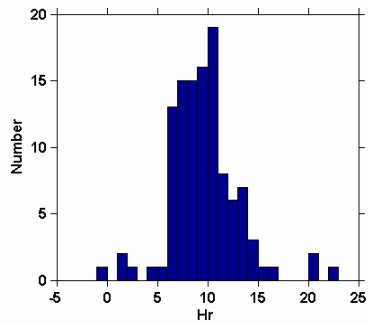
### ROMANIA Area 3



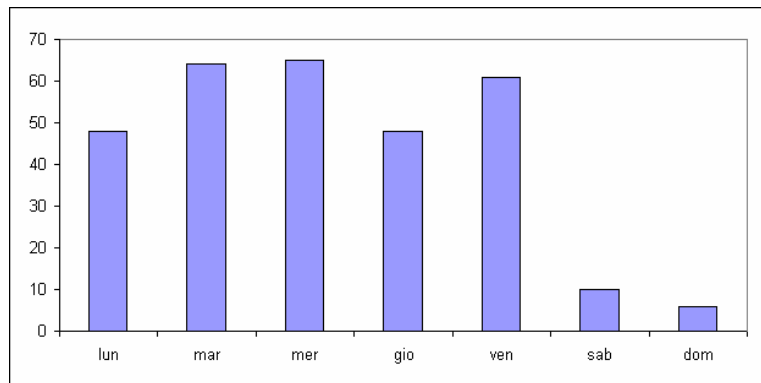
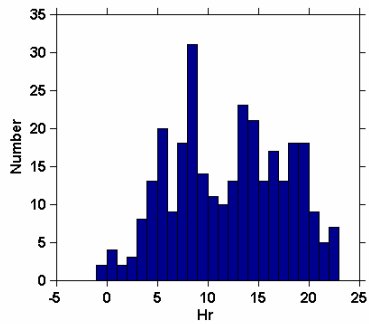
### ROMANIA Area 4



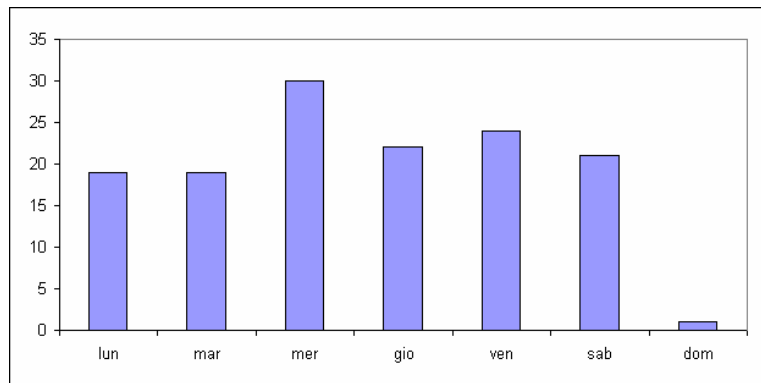
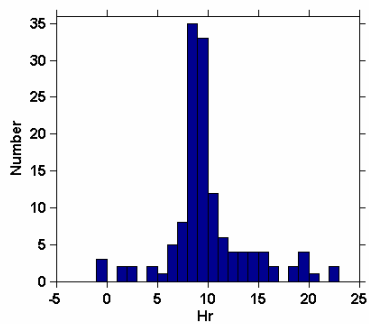
### ROMANIA Area 5



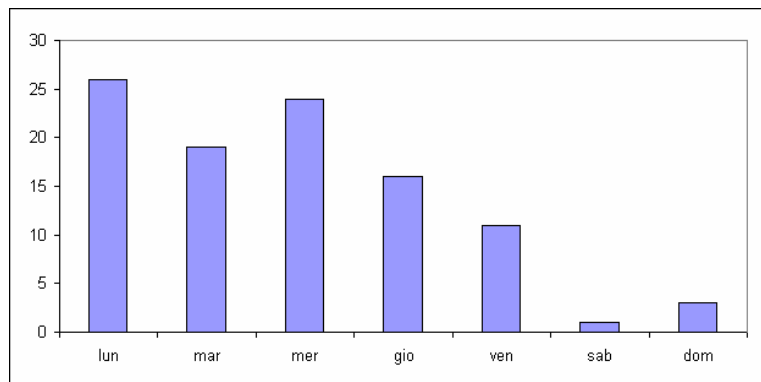
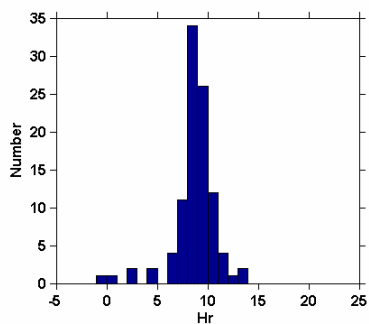
### FRANCIA Area 3



### FRANCIA Area 4a



### UNGHERIA





### 3. Possibili relazioni tra $b$ -value e meccanismi di fagliazione

Il valore del parametro  $b$  della relazione di Gutenberg e Richter (1944; d'ora in poi GR), e quindi la sua variabilità spaziale e temporale, è direttamente connesso alle stime di pericolosità: un esempio sono i modelli che hanno come base il calcolo dei tassi di sismicità di una regione e che impiegano la GR per la modellizzazione di questa. In particolare il modello di Cornell (1968) prevede l'identificazione di aree omogenee dal punto di vista tettonico (definite *zone sorgente*) nelle quali i terremoti sono equiprobabili nello spazio e la modalità di rilascio nel tempo è Poissoniana, cioè i singoli eventi sono indipendenti tra loro e stazionari nel tempo. Quest'ultima assunzione implica la possibilità di stimarne l'occorrenza futura attraverso la ricorrenza osservata in passato. Per la redazione della Mappa di Pericolosità Sismica Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) i tassi sismici sono stati calcolati scegliendo due opzioni epistemicamente alternative: tassi osservati (*activity rates*) e tassi ricavati dalla distribuzione di tipo GR, come ampiamente descritto nel Capitolo 1. In questo caso è stato adottato un  $b$ -value differente per ognuna delle zone della zonazione sismogenetica adottata, ZS9 (Meletti *et al.*, 2008).

#### 3.1 Stato dell'arte

Kagan (1999; 2002) afferma che il processo di generazione dei terremoti non dipende dalla scala adottata: non si tratterebbe, quindi, solo di un fenomeno self-similare ma anche invariante a scala globale. Di conseguenza il parametro  $b$ , per l'autore, ha un valore universale e costante uguale a 1. Al contrario, un'ampia serie di lavori, pubblicati in particolare nell'ultimo ventennio (per es. Pacheco *et al.*, 1992; Lomnitz-Adler, 1992; Lopez-Casado *et al.*, 1995; Shanker e Sharma, 1998; Schorlemmer *et al.*, 2005; Schorlemmer e Wiemer, 2005; Wiemer e Schorlemmer, 2007) cerca di dimostrare la variabilità spaziale e/o temporale del parametro, correlandola per lo più a fattori fisici e tettonici.

Il principale limite in questo dibattito è probabilmente rappresentato dall'inevitabile incompletezza dei cataloghi. Ad esempio, una stima affidabile del *b*-value attraverso il metodo della massima verosimiglianza (Tinti e Mulargia, 1985; 1987; Bender, 1983; Aki, 1965; Utsu, 1965) richiede una differenza minima di 3 gradi di magnitudo (e.g. Marzocchi e Sandri, 2003) oltre che a un ampio intervallo temporale. Se si considerano i cataloghi storici, le distribuzioni magnitudo-frequenza non sono in grado di coprire un intervallo di magnitudo affidabile perfino in Italia, in cui la vasta documentazione storica permette oltre a un'analisi accurata anche un'ampia copertura temporale. Di seguito, in tabella 1, sono riportate le completezze storiche e statistiche adottate per MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004): al valore minimo di magnitudo adottato,  $4.76 \pm 0.23$ , corrispondono, rispettivamente, gli anni 1871 e 1910.

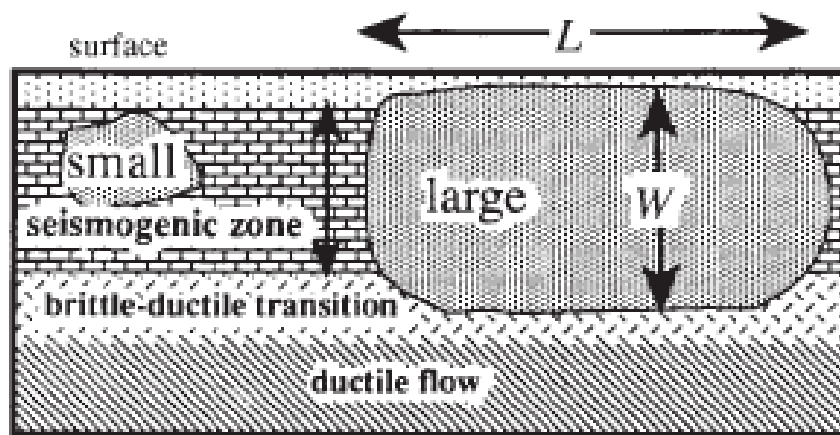
	<b>4.76</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>4.99</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>5.22</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>5.45</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>5.68</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>5.91</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>6.14</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>6.37</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>6.60</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>6.83</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>7.06</b> $\pm$ <b>0.23</b>	<b>7.29</b> $\pm$ <b>0.23</b>
<b>Compl. storica</b>	1871	1871	1700	1700	1530	1530	1300	1300	1300	1300	1300	1300
<b>Compl. statistica</b>	1910	1871	1871	1700	1700	1530	1530	1300	1300	1300	1300	1300

**Tabella 1.** Intervalli di completezza storica e statistica adottati per la redazione della Mappa di Pericolosità Sismica Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

Se invece si considerano i cataloghi strumentali, la magnitudo di completezza è certamente inferiore, ma gli intervalli temporali si riducono drasticamente, fornendo quindi una rappresentazione solo parziale del fenomeno da indagare.

Abercrombie (1996) afferma che il ridotto numero di eventi a bassa magnitudo non debba essere attribuito ad incompletezza di cataloghi, ma al fatto che il loro numero è in realtà minore di quanto il *b* estrapolato dalle alte magnitudo potrebbe far pensare. Viceversa, un elevato numero di eventi ad alta magnitudo potrebbe essere imputato ad una saturazione della scala. Inoltre la presunta incompletezza dei cataloghi è ritenuta spesso una delle cause della rottura che si osserva spesso nella distribuzione magnitudo-frequenza; tale rottura è invece attribuita da Pacheco *et al.* (1992) allo spessore dello strato sismogenetico: mentre, infatti, una faglia di dimensioni ridotte può svilupparsi in tutte e tre le dimensioni, una faglia di dimensioni maggiori sarebbe limitata in una delle

dimensioni dalla profondità dello strato sismogenetico e potrebbe quindi crescere solo in due dimensioni (Fig. 1). Da qui la mancanza di alcune magnitudo.



**Fig. 1** Relazione tra lo spessore dello strato sismogenetico e le dimensioni di una faglia di ridotte dimensioni e una di dimensioni maggiori;  $W$  ed  $L$  sono, rispettivamente, lunghezza e larghezza della rottura (da Pacheco *et al.*, 1992)

Tra i primi lavori circa la variabilità spaziale del  $b$ -value, quelli di Mogi (1962), di Scholz (1968) e di Wyss (1973) fanno riferimento allo stress differenziale e alla eterogeneità della crosta. Mori e Abercrombie (1997) descrivono variazioni sistematiche del  $b$ -value proprio in relazione alla profondità in California, utilizzando differenti tipi di *dataset*, completi già a magnitudo 2 e con una vasta copertura spaziale: partendo dalla constatazione di Mogi (1962) secondo la quale un numero maggiore di eventi a piccola magnitudo si verificherebbe a profondità superficiali, spiegano come la causa possa essere imputata all'eterogeneità del materiale, che sarebbe quindi anche la responsabile della dimensione del terremoto. Infatti, secondo gli autori, le dimensioni finali di un terremoto sarebbero determinate dal punto in cui la rottura subisce l'arresto. Con l'aumentare della profondità aumenterebbe anche l'omogeneità del materiale, la quale faciliterebbe la propagazione dell'evento, permettendo lo sviluppo di dimensioni maggiori. Come precedentemente già affermato da Scholz (1988), infatti, superficialmente la crosta ha un numero elevato di fratture mentre in profondità, a causa dell'aumento dello stress normale, le fratture tendono a chiudersi. Altri test sulla variazione del  $b$ -value con la profondità sono stati condotti da Gerstenberger *et al.* (2001) ottenendo i medesimi risultati; inoltre, le

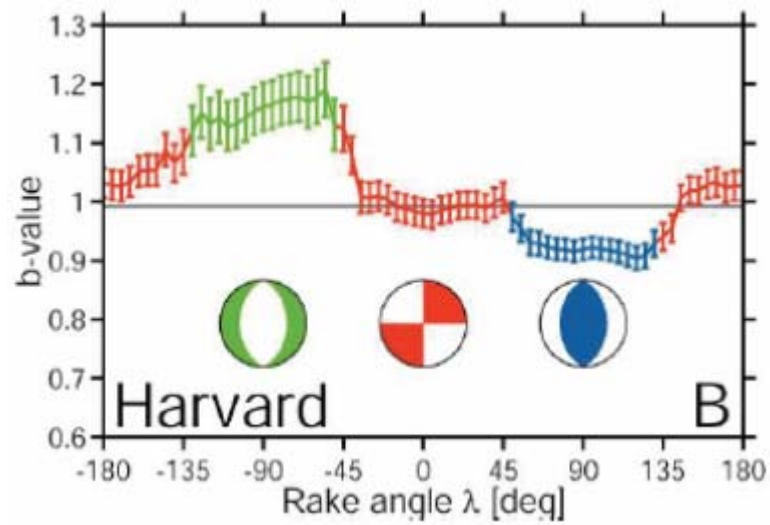
aree analizzate nelle quali il parametro non presenta variazioni corrispondono a zone in cui sono state osservate anomalie nella distribuzione dello stress.

I diversi esperimenti condotti in laboratorio da Amitrano (2003) attribuiscono invece il decrescere con la profondità del  $b$ -value al passaggio fragile-duttile. I valori ottenuti in laboratorio dimostrano che in circa 3 km di profondità il  $b$ -value può diminuire di 0.5. e, secondo l'autore, confermano il ruolo predominante del comportamento macroscopico dei materiali (cioè duttile/fragile) piuttosto che della pressione confinante o delle eterogeneità. Inoltre un uguale comportamento è osservato per differenti meccanismi di fagliazione. Ovviamente resta il dubbio sull'esatta riproducibilità in laboratorio delle condizioni fisiche al contorno.

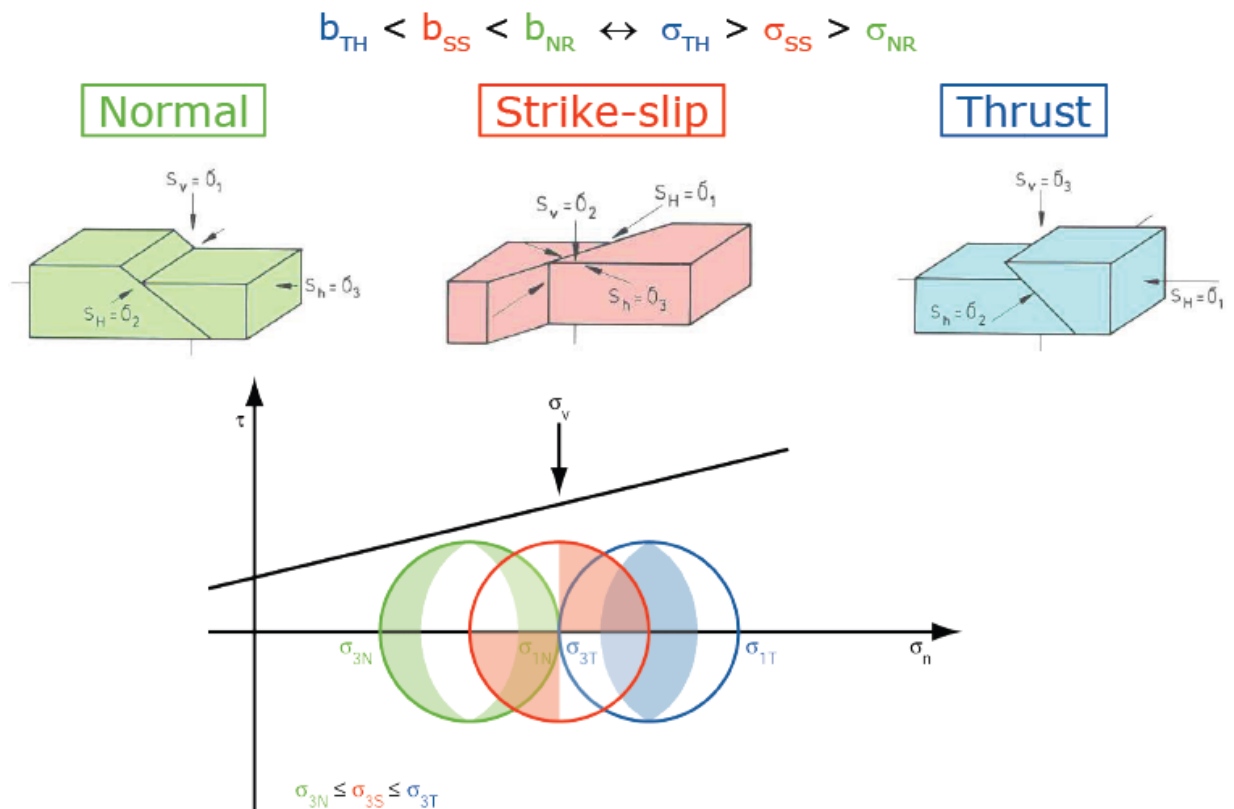
Seguendo le indicazioni scaturite dai lavori elencati precedentemente e dai risultati dei test di laboratorio, nel 2005 Schorlemmer *et al.* hanno analizzato la distribuzione delle magnitudo a livello mondiale in relazione allo stile di faglia. I singoli eventi sono stati definiti come *normali*, *trascorrenti* e *inversi* utilizzando l'angolo di *rake* e 5 differenti cataloghi: il catalogo CMT di Harvard (Global Centroid Moment Tensor, <http://www.globalcmt.org/>); il catalogo SCSN, contenente eventi rilocalizzati per la California del sud (Southern California Seismic Network, <http://www.scsn.org/>); the NCSN catalogue for California (Northern California Seismic Network, <http://www.ncedc.org/ncsn/>); il catalogo F-Net (Full Range Seismograph Network of Japan, <http://www.fnet.bosai.go.jp/>) per il Giappone e un dataset per la sola regione del Kanto-Tokai. Nonostante i cinque cataloghi siano differenti per profondità, range di magnitudo e ambiente tettonico, i risultati finali concordano e dimostrano una diretta correlazione tra  $b$ -value e meccanismo focale: infatti per tutti i cataloghi i valori maggiori del  $b$ -value sono associati alla distribuzione dei terremoti generati da faglie dirette, i valori intermedi dalle trascorrenti e i minori dalle inverse (fig. 2). Secondo gli autori ciò proverebbe la relazione inversa tra stile di faglia e distribuzione della magnitudo a tutte le scale: non solo, cioè, alla scala millimetrica dei test di laboratorio ma per tutte le possibili dimensioni di rottura di una faglia.

La figura 3 mostra schematicamente l'idea degli autori che considerano il  $b$ -value come uno *stress-meter*. In tutti i tipi di faglia, uno degli stress principali è orientato verticalmente: nelle normali il maggiore ( $\sigma_1$ ); nelle trascorrenti il medio ( $\sigma_2$ ); nelle inverse il minimo ( $\sigma_3$ ). Lo stress verticale può essere considerato costante e uguale al peso della colonna di roccia per unità di area: ciò significa

che lo stress differenziale, necessario per la rottura, è maggiore nei thrust, minore nelle faglie dirette, intermedio nelle trascorrenti.



**Fig. 2** Plot dei valori del  $b$ -value in funzione dell'angolo di rake ottenuti da Schorlemmer *et al.* (2005) per il catalogo di Harvard (da Schorlemmer *et al.*, 2005).



**Fig. 3** Rappresentazione schematica della relazione inversa tra stress e  $b$ -value (da [http://www.earthquake.ethz.ch/docs/presentations/talk\\_schorlemmer2005a](http://www.earthquake.ethz.ch/docs/presentations/talk_schorlemmer2005a)).



Un'ulteriore conferma è data dalla distribuzione del  $b$ -value lungo una stessa struttura: nelle parti bloccate, dove lo stress è maggiore, si hanno i valori minori; al contrario, nelle parti in creeping i maggiori.

Lo stress differenziale sarebbe quindi il fattore che controlla maggiormente la magnitudo, mentre la profondità non avrebbe influenza: in Giappone e in California, per esempio, si ottengono risultati opposti in profondità. Lo stesso per le eterogeneità della crosta: anche in questo caso i risultati non mostrano alcuna dipendenza dalla scala.

In questo capitolo verrà analizzata la variabilità del  $b$ -value in Italia, per la ricerca di eventuali correlazioni con il regime tettonico.

Appare a questo punto doveroso sottolineare che una corretta stima dei parametri della GR può essere alterata da eventi di natura differente quali, ad esempio, la copertura spaziale offerta dalla rete sismica, la rimozione o l'aggiunta di nuove stazioni (Zuñiga e Wyss, 1995), l'introduzione di differenti *software* per le analisi, la scelta della dimensione del campione. In generale, è la qualità del *dataset* a determinare la qualità del risultato. Le scale di magnitudo riportate all'interno di uno stesso catalogo sono spesso differenti o sono state omogeneizzate partendo da più scale: si tratta di conversioni che possono avere ripercussioni dirette sulla determinazione dei parametri della relazione di Gutenberg e Richter (1944). Nel 2006, Castellaro *et al.* hanno analizzato questo problema e le implicazioni che ne derivano sulle stime di pericolosità sismica: tutte le regressioni lineari proposte in letteratura per la conversione delle magnitudo sono infatti basate sulla regressione dei minimi quadrati standard. Tale regressione assume che l'errore sulla variabile indipendente ( $x$ ) sia zero e quello sulla variabile dipendente ( $y$ ) sia distribuito in maniera normale e costante nell'intervallo. Gli autori sottolineano la non idoneità di una regressione di questo tipo in quanto anche la variabile indipendente può essere affetta da errore; suggeriscono quindi l'impiego di una regressione ortogonale nella sua forma generale -*GOR, General Orthogonal Regression*-.

### 3.2 Metodo

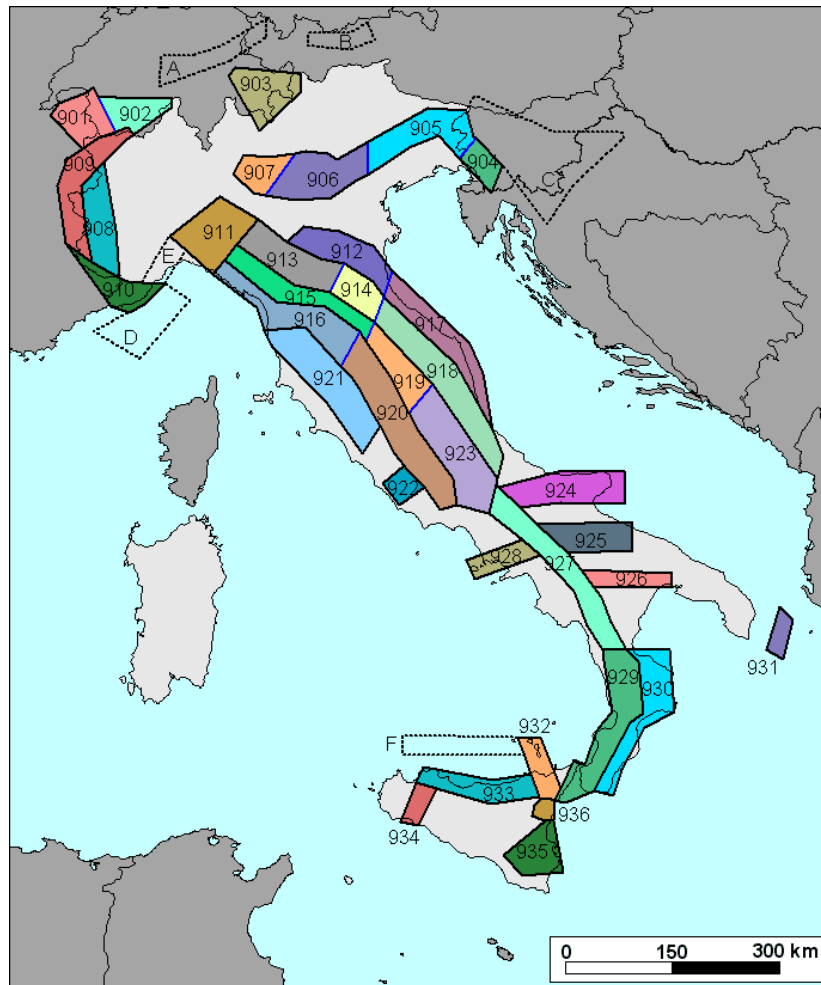
La presenza di un numero ridotto di eventi con meccanismo focale associato ha reso inutilizzabile la metodologia descritta da Schorlemmer *et al.* (2005) al territorio italiano. La ricerca di eventuali correlazioni tra il meccanismo di

fagliazione e il  $b$ -value è stata così sviluppata impiegando le zone sorgente dell'ultima zonazione sismogenetica prodotta in Italia, ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.*, 2008), che sono state successivamente caratterizzate attraverso la somma del momento tensore e per le quali sono state calcolate le distribuzioni magnitudo-frequenza dei terremoti.

### 3.2.1. Dataset

Una zonazione sismogenetica è composta da aree sismotettonicamente omogenee -definite *zone sorgente*- nelle quali i terremoti sono equiprobabili nello spazio e il rilascio nel tempo è un processo di tipo Poissoniano: i singoli eventi sono indipendenti tra loro e stazionari nel tempo. Alle 36 zone sorgente di ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.*, 2008; Fig. 4) sono stati associati due differenti cataloghi:

1. il catalogo strumentale CSI 1.1 (Castello *et al.*, 2006) disponibile online all'indirizzo <http://www.ingv.it/CSI/>, dal quale sono stati eliminati gli eventi considerati di origine non tettonica (Gulia, 2008), descritto in dettaglio nel capitolo 2. Il catalogo modificato contiene 37.169 eventi; di questi, 27.936 ricadono all'interno delle 36 zone sorgente. Per la magnitudo si fa riferimento alla magnitudo locale,  $M_l$ ;
2. il catalogo strumentale utilizzato da Lolli e Gasperini (2006; disponibile online all'indirizzo <ftp://ibogfs.df.unibo.it/lolli/aft2005/italycat6004.dat>), che copre l'intervallo temporale 1960-2004 ed è formato dal *merge* di differenti cataloghi: i) intervallo 1960-1980: catalogo del *Progetto finalizzato geodinamica* (Postpischl, 1985); ii) intervallo 1981-1996: il *Catalogo strumentale dei terremoti italiani*, CSTI (Gruppo di Lavoro CSTI, 2001 e 2004); iii) intervallo 1997-2002: il *Catalogo della sismicità italiana*, CSI 1.0 (Castello *et al.*, 2005); iv) intervallo 2003-2004: i dati contenuti nel *Bollettino strumentale INGV*, disponibili online all'indirizzo <http://bollettinosismico.rm.ingv.it/>. Tutte le magnitudo sono state omogeneizzate in magnitudo strumentali,  $M_w$ , secondo la procedura descritta in Gasperini (2002). Al catalogo, che contiene 108.837 terremoti, è stato applicato l'algoritmo di Wiemer and Baer (2000) modificato (Gulia, 2008) e sono stati rimossi 4544 probabili eventi di origine antropica.



**Fig. 4.** Zone sorgente della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.*, 2008); da Gruppo di Lavoro MPS (2004).

### 3.2.2. Assegnazione del meccanismo di fagliazione prevalente alle zone sismogenetiche.

Il meccanismo focale di un terremoto è uno strumento che permette di caratterizzare la cinematica delle sorgenti sismogenetiche e la deformazione sismica. La rappresentazione più nota è detta sfera focale *-beach ball-* e consente di definire graficamente un modello di deformazione detto *a doppia coppia*, formato dal piano di faglia sul quale avviene il crack sismico e un piano coniugato ortogonale che identifica il mezzo continuo che non subisce spostamento.

Il database EMMA (Earthquake Mechanisms of Mediterranean Area; Vannucci e Gasperini, 2003 e 2004), basato su piattaforma MS-ACCESS e su routines di calcolo originali (Gasperini e Vannucci, 2003) open-source, raccoglie diverse migliaia di meccanismi focali avvenuti in area mediterranea nel periodo 1905-2004, con vari intervalli di magnitudo (da 1.5 a oltre 8). Nel database sono riportati anche i risultati delle verifiche incrociate tra i parametri dei meccanismi,

che in molti casi risolvono e correggono eventuali incongruenze (sono ad esempio confrontati i piani focali derivati da assi e viceversa e la congruità delle soluzioni è verificata separatamente). Nel database vengono inoltre completate le eventuali informazioni mancanti attingendo a dati di cataloghi ipocentrali; in caso di soluzioni multiple per uno stesso evento, ovvero più soluzioni focali disponibili, viene assegnato un peso proporzionale a criteri di attendibilità definiti dagli autori (Vannucci e Gasperini, 2003 e 2004) che stabiliscono il meccanismo focale rappresentativo dell'evento.

La disponibilità di una consistente numero di meccanismi focali provenienti dai cataloghi CMT (Dziewonski *et al.*, 1981) ed RCMT (Pondrelli *et al.*, 2002, 2004, 2006, 2007) e da soluzioni ai primi impulsi permette di derivare una sintesi della deformazione sismica per ottenere informazioni circa la tettonica attiva nella regione in esame. Kostrov (1974) ha dimostrato che il contributo di ciascun terremoto  $k$  al tensore di deformazione medio  $\bar{\varepsilon}$  all'interno di un volume di roccia  $V$  è proporzionale al tensore momento  $M_{ij}^k$  così che la deformazione media indotta dai terremoti è data da:

$$\bar{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2\mu V} \sum_{k=1}^N M_{ij}^k$$

dove  $\mu$  è il modulo di taglio e la somma viene data considerando gli  $N$  terremoti all'interno del volume considerato. Questa equazione costituisce l'equazione basilare del metodo della *somma dei tensori momento* che permette di caratterizzare lo stile di deformazione di un'area sismogenetica sulla base dei meccanismi focali.

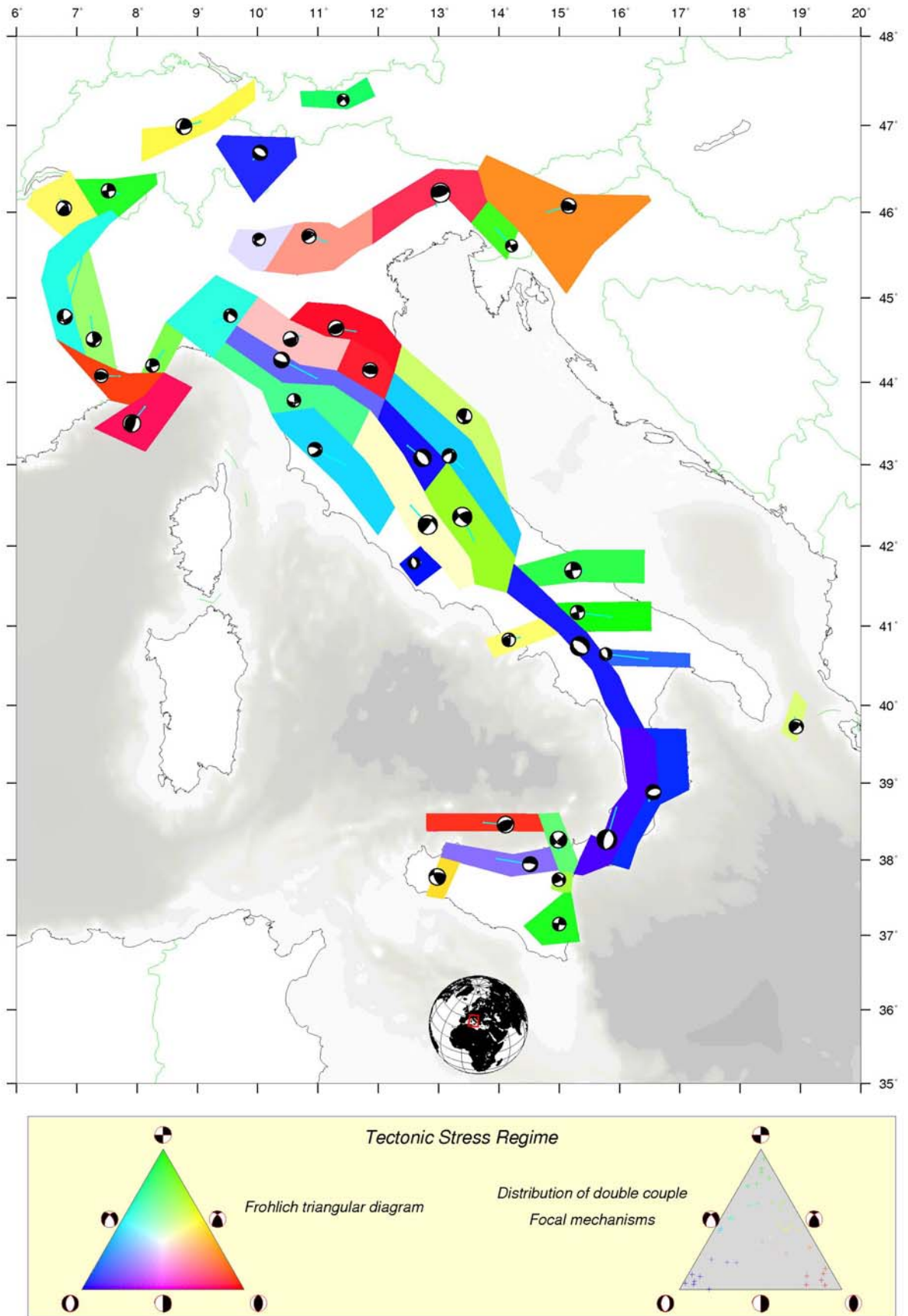
Tale tecnica è stata utilizzata in questo lavoro per determinare la somma del tensore momento al fine di ottenere informazioni utili per la caratterizzazione sismotettonica dell'area stessa. A tale scopo possono essere utilizzate varie zonazioni sismiche, con differente scala spaziale e forma, con la sola limitazione di possedere un certo numero di eventi all'interno di ogni area esaminata: selezionando i terremoti nei primi 50 Km di profondità (in accordo con Vannucci *et al.*, 2004) è possibile derivare un tensore somma all'interno di ciascun volume identificato fornendo una rappresentazione sinottica della deformazione sismotettonica.

Per le soluzioni focali sono stati utilizzati i seguenti *dataset*:

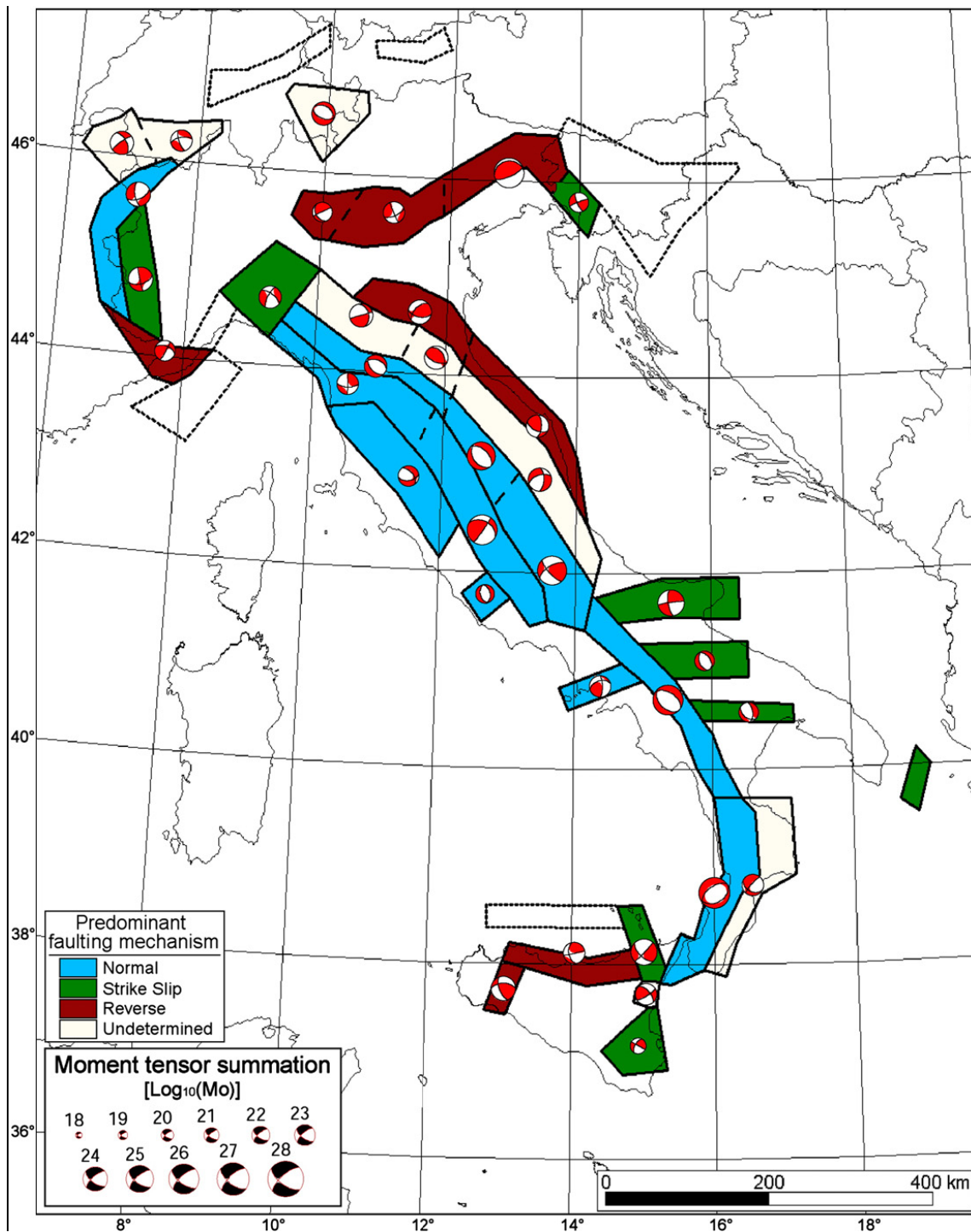
- il catalogo CMT dell'Università di Harvard (HCMT, Dziewonski *et al.*, 1981, e successivi bollettini pubblicati su Phys. Earth Planet. Int.), con terremoti mondiali di  $M \geq 5.5$  a partire dall'anno 1976;
- il catalogo di Momenti del National Earthquake Information Center (NEIC, del Servizio Geologico Degli Stati Uniti (USGS), con soluzioni in tutto il mondo di  $M \geq 6.2$  a partire dal 1980;
- il catalogo dei CMT Regionali dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Roma (INGV, Pondrelli *et al.*, 2002, 2004, 2006, 2007) con terremoti di  $M \geq 4.5$  a scala Mediterranea a partire dall'anno 1976;
- il catalogo dei Momenti Tensori dell'Eidgenössische Technische Hochschule di Zurigo (ETHZ, Braunmiller *et al.*, 2002), con terremoti di  $M \geq 4.5$  registrati dal 1997 nel Mediterraneo;
- il catalogo dei Momenti Tensori dell'Institut Andaluz de Geofísica dell'Università di Granada (IAGG, Stich *et al.* 2003, 2005, 2006), con terremoti di  $M \geq 3.5$  ed eventi a partire dal 1984;
- il catalogo dei Momenti Tensori Sismici dell'Institut Geografico National di Madrid (IGNM, Rueda e Mezcua, 2005,) con terremoti di  $M \geq 3.5$  ed eventi a partire dal 2002 per la penisola iberica ;
- una versione aggiornata del catalogo EMMA (Vannucci e Gasperini, 2004) con soluzioni focali riprese dalla letteratura. La versione utilizzata non è stata ancora ufficialmente pubblicata e comprende al momento 12700 soluzioni focali disponibili nell'area Atlantico-Mediterranea.

Sono stati utilizzati i criteri descritti in Vannucci e Gasperini (2004) per ricavare il *best mechanism*, ovvero la soluzione più rappresentativa dell'evento in caso di soluzioni multiple e all'interno di ogni zona sismogenetica è stato costruito meccanismo somma (Pondrelli *et al.*, 1995, Vannucci *et al.*, 2004) utilizzando la metodologia descritta Kostrov (1974).

I risultati sono rappresentati graficamente nelle fig. 5, mentre il dettaglio dei parametri ricavati sarà riportato in seguito. Per confronto sono riportate, in figura 7, le scelte di MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.*, 2008). Per ogni zona di fig. 4 la sfera focale *somma* è plottata nel baricentro della distribuzione degli ipocentri, pesata in funzione della magnitudo dei meccanismi stessi e la dimensione di ciascuna soluzione focale è scalata in funzione del momento del



**Fig. 5** Associazione del meccanismo somma alle zone sismogenetiche della zonazione ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.* (2008).



**Fig. 6** Meccanismi di fagliazione associati alla zonazione sismogenetica ZS9 per l'elaborazione della Mappa di Pericolosità Sismica Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.* (2008), in verde, rosso e azzurro e meccanismo somma (da Meletti *et al.*, 2008).

scalare cumulativo. Ad ogni zona è inoltre associato un colore che identifica un meccanismo all'interno triangolo di Frohlich e in maniera indipendente dalle direzioni di deformazione caratterizza lo stile tettonico di ogni zona sismogenetica: il meccanismo focale è identificato da un punto all'interno di un triangolo (Frohlich, 1992, 2001) ai cui vertici si trovano i tre stili deformativi principali (compressivo o inverso, trascorrente e distensivo o normale) e la posizione esatta della soluzione è data da una coppia di coordinate  $x$  e  $y$  rispetto al centro del triangolo. Associando ai tre vertici una componente cromatica (rispettivamente rosso per il compressivo, verde per il trascorrente e blu per il distensivo), ogni stile deformativo risulta rappresentato da una tripletta di colori R(ed)G(reen)B(lue), che può essere facilmente plottata per ogni area di interesse. La somma dei tensori momento localizzata in una zona rappresenta quindi un modo per sintetizzare graficamente le proprietà cinematiche medie della regione stessa (Jackson e McKenzie, 1988; Ekström e England, 1989; Westaway, 1992; Pondrelli *et al.*, 1995; Vannucci *et al.*, 2004).

A differenza dei meccanismi di fagliazione associati ad ogni zona dagli autori di ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.*, 2008), per le quali erano state valutate anche le conoscenze provenienti da diverse fonti (ad esempio il modello di Bigi *et al.*, 1999), la necessità di un valore numerico per l'angolo di rake ha portato a considerare solo i meccanismi focali. La scelta appare evidente confrontando i risultati ottenuti per alcune zone, in particolare la zona 926 (Fig. 4), la cui cinematica passa da trascorrente (in ZS9) a diretta (in questo lavoro).

### 3.2.3. Metodologia di calcolo adottata per la determinazione del $b$ -value

La metodologia di calcolo, insieme al dataset utilizzato, rappresenta la principale fonte di errore nella determinazione del  $b$ -value e le pubblicazioni riguardo la scelta della metodologia appropriata sono numerose. L'aspetto generalmente affrontato riguarda il confronto tra il metodo dei minimi quadrati e quello della massima verosimiglianza e la definizione degli errori associati; nel tempo, sono state proposte diverse formule (es. Aki, 1965; Utsu, 1965; Shi e Bolt, 1982; Bender, 1983; Tinti e Mulargia, 1985, 1987; Woessner e Wiemer, 2005).

Per la determinazione del  $b$ -value in questo lavoro è stato utilizzato il metodo della massima verosimiglianza in quanto il metodo dei minimi quadrati, ampiamente impiegato in letteratura, prevede che gli eventi del campione siano



indipendenti tra loro. Poiché la relazione di Gutenberg e Richter (1944) è di tipo cumulativo, tale condizione non viene rispettata (es. McGuire, 2004).

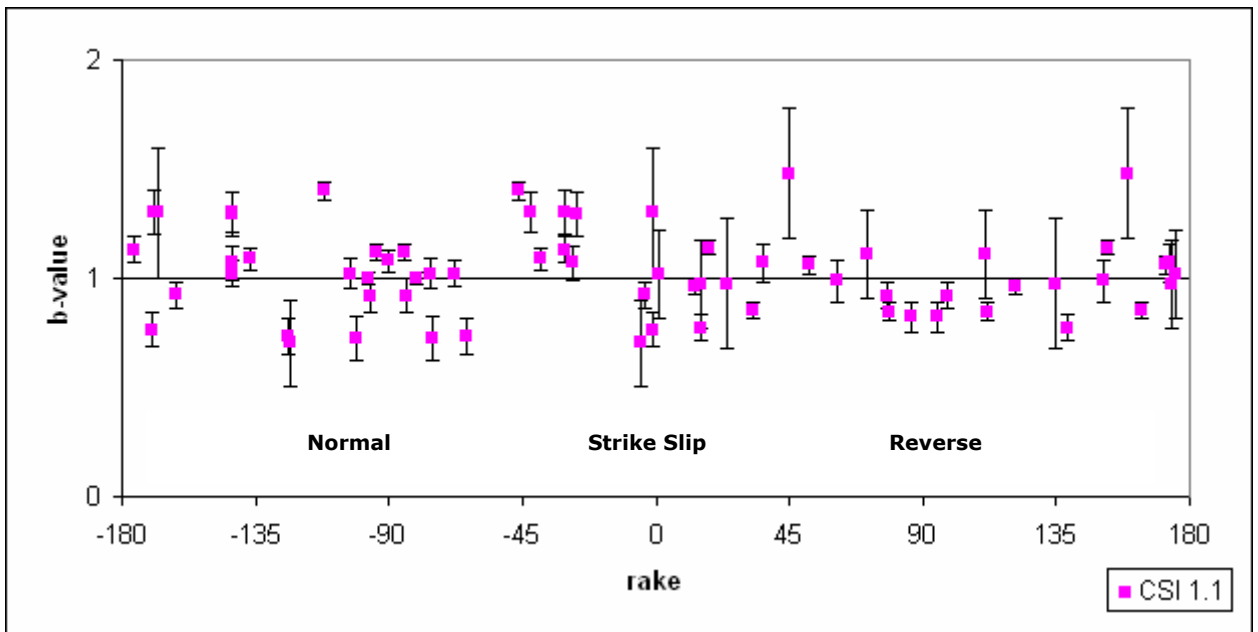
Gli errori associati al calcolo del  $b$ -value sono stati determinati attraverso il metodo EMR (*Entire Magnitude Range*; Woessner e Wiemer, 2005).

### 3.3 Risultati

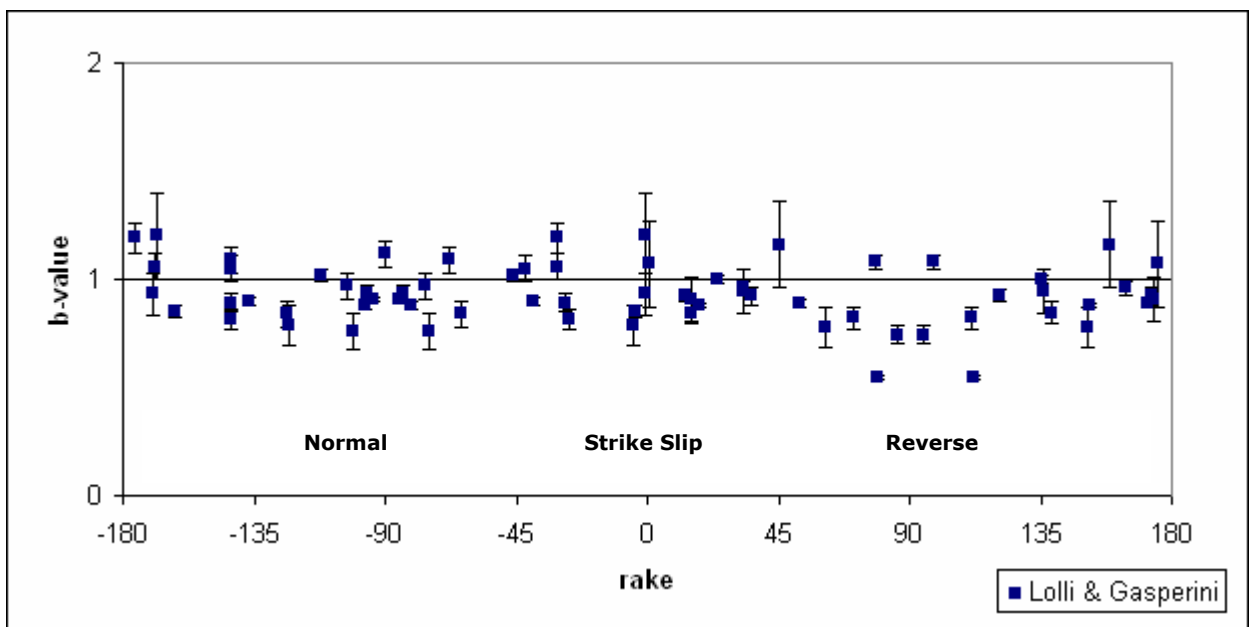
I risultati ottenuti sono mostrati in tabella 2 e, graficamente, nelle figure 7 e 8. Per entrambi i cataloghi impiegati, i valori relativi alle zone con cinematica prevalente trascorrente e inversa seguono l'andamento ipotizzato da Schorlemmer *et al.* (2005), con valori prossimi all'unità nel primo caso e generalmente inferiori nel secondo. Per le zone a cinematica prevalente diretta, invece, si osserva un'ampia dispersione, meno accentuata nel caso del catalogo di Lolli e Gasperini (2006), che presenta però valori generalmente inferiori all'unità. Inoltre gli errori associati al  $b$ -value (barre verticali nelle figure 7 e 8) sono maggiori nel caso del catalogo CSI 1.1 (Castello *et al.*, 2006): ciò è però facilmente spiegabile dal diverso numero di eventi contenuti nei due cataloghi (vedi paragrafo 3.2.1), a causa delle differenti coperture temporali: 1960-2004 per il catalogo di Lolli e Gasperini (2006), 1981-2002 per il catalogo CSI 1.1 (Castello *et al.*, 2006).

La zona 926 (Fig. 9), definita come zona a cinematica trascorrente dagli autori di MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) e a cinematica diretta in questo lavoro, permette di interpretare i risultati ottenuti, mostrando i limiti imposti al calcolo del  $b$ -value dal taglio delle zone. I terremoti interni alla zona si trovano tutti nella parte occidentale e sono a cinematica trascorrente, tranne quello di magnitudo maggiore, a cinematica diretta, che ha un maggior peso e influenza quindi il calcolo del meccanismo somma. I terremoti con magnitudo maggiore registrati nell'area si trovano, però, all'esterno della zona e sono tutti di tipo trascorrente. Non entrano nella definizione della zona e non vengono selezionati per il calcolo del  $b$ -value.

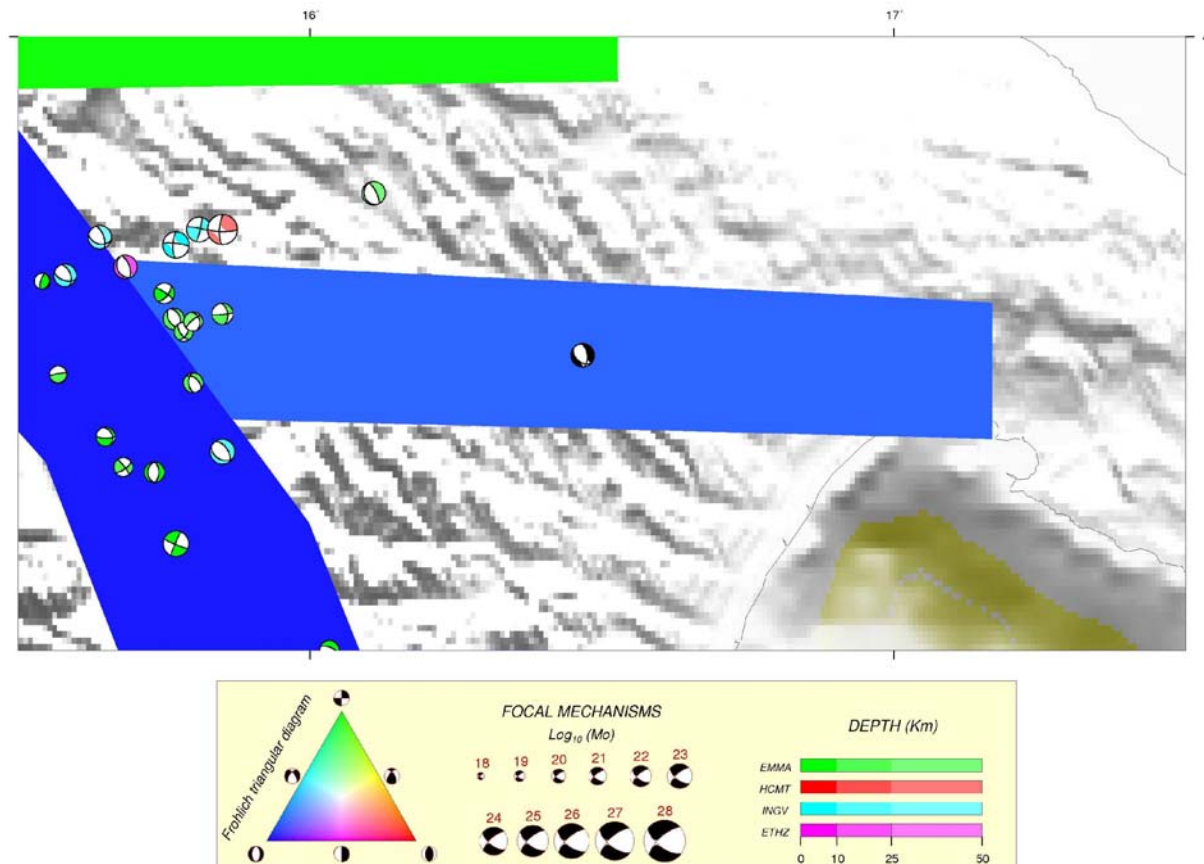
In tabella 3 sono infine mostrate le differenze fra i valori del parametro  $b$  impiegati in MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) nei rami con completezza di tipo storico e di tipo statistico e i valori calcolati in questo lavoro nelle 36 zone della zonazione sismo genetica ZS9 (Meletti *et al.*, 2008; Gruppo di Lavoro MPS, 2004).



**Fig. 7** Variazioni  $b$ -value in funzione dell'angolo dei rake nelle zone della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti et al., 2008) utilizzando i dati del Catalogo Strumentale della Sismicità Italiana CSI 1.1 (Castello *et al.*, 2006)



**Fig. 8** Variazioni del  $b$ -value in funzione dell'angolo di rake nelle zone della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti et al., 2008) utilizzando i dati del Catalogo Strumentale di Lolli e Gasperini (2006).



**Figura 9.** Zona sismogenetica ZS926 (Meletti *et al.*, 2008; Gruppo di Lavoro MPS, 2004). Il colore della zona è in relazione al triangolo di Frohlich e rappresenta una cinematica diretta; nel centro, in nero, il meccanismo somma impiegato in questo lavoro. Il colore dei singoli eventi plottati indica il database di riferimento: EMMA (Vannucci e Gasperini, 2003; 2004); HCMT (Dziewonski *et al.*, 1981); INGV (Pondrelli *et al.*, 2002, 2004, 2006, 2007); ETHZ (Braunmiller *et al.*, 2002).

ZS	Meccanismo	Meccanismo MPS04	rake	rake	b CSI 1.1	$\sigma$	b LG	$\sigma$	b MPSstat	b MPSstor
901	tras/dir	indeterminata	24	135	0.98	0.30	1.00	0.02	1.26	1.18
902	trascorrente	indeterminata	-1	-168	1.30	0.30	1.20	0.20	1.05	1.26
903	diretta	indeterminata	-75	-101	0.73	0.10	0.76	0.08	1.05	1.26
904	trascorrente	trascorrente	174	15	0.97	0.20	0.91	0.10	1.32	1.12
905	inversa	inversa	112	79	0.85	0.04	0.54	0.01	1.12	1.06
906	inversa	inversa	151	61	0.99	0.10	0.78	0.09	1.70	1.14
907	indeterminata	inversa	-5	-123	0.70	0.20	0.79	0.09	1.48	1.71
908	trascorrente	trascorrente	173	36	1.07	0.09	0.92	0.04	1.67	1.91
909	diretta	diretta	-28	-143	1.07	0.08	0.89	0.04	1.38	1.27
910	inversa	inversa	111	71	1.11	0.20	0.82	0.05	1.06	1.12
911	dir/tras	trascorrente	-27	-143	1.29	0.10	0.82	0.05	1.33	1.47
912	inversa	inversa	95	86	0.82	0.07	0.74	0.04	1.32	1.35
913	inv/dir	indeterminata	13	121	0.96	0.04	0.93	0.03	1.53	1.80
914	inversa	indeterminata	78	98	0.92	0.06	1.08	0.03	1.23	1.33
915	diretta	diretta	-46	-112	1.40	0.04	1.02	0.03	1.36	1.34
916	trascorrente	diretta	-169	-31	1.30	0.10	1.06	0.06	1.58	1.96
917	trascorrente	inversa	15	139	0.78	0.06	0.84	0.05	1.01	1.04
918	dir/tras	indeterminata	-39	-137	1.09	0.05	0.90	0.02	1.11	1.10
919	diretta	diretta	-85	-94	1.12	0.04	0.91	0.01	1.39	1.22
920	inv/tras	diretta	172	52	1.06	0.04	0.89	0.02	1.58	1.96
921	dir/tras	diretta	-143	-42	1.30	0.09	1.05	0.06	2.01	2.00
922	diretta	diretta	-84	-96	0.92	0.08	0.93	0.04	2.01	2.00
923	trascorrente	diretta	18	152	1.14	0.03	0.88	0.01	1.09	1.05
924	trascorrente	trascorrente	-4	-162	0.92	0.06	0.85	0.03	1.06	1.04
925	trascorrente	trascorrente	1	175	1.02	0.20	1.07	0.20	0.75	0.67
926	diretta	trascorrente	-124	-64	0.74	0.08	0.84	0.06	1.38	1.28
927	diretta	diretta	-81	-97	1.00	0.03	0.88	0.02	0.72	0.74
928	inv/tras	diretta	159	45	1.48	0.30	1.16	0.20	0.66	1.04
929	diretta	diretta	-90	-90	1.08	0.05	1.12	0.06	0.79	0.82
930	diretta	indeterminata	-76	-103	1.02	0.07	0.97	0.06	0.89	0.98
931	trascorrente	trascorrente	164	43	-	-	-	-	0.63	0.63
932	trascorrente	trascorrente	-176	-31	1.13	0.06	1.19	0.07	1.08	1.21
933	diretta	inversa	-143	-68	1.02	0.06	1.09	0.06	1.24	1.39
934	inv/tras	inversa	33	136	-	-	0.95	0.10	0.93	0.96
935	trascorrente	trascorrente	-1	-170	0.76	0.08	0.93	0.10	0.69	0.72
936	trascorrente	indeterminata	164	33	0.85	0.04	0.96	0.03	1.22	1.63

**Tabella 2.** Valori del  $b$ -value ottenuti per le zone della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti et al., 2008) utilizzando i dati del Catalogo Strumentale della Sismicit  Italiana CSI 1.1 (Castello *et al.*, 2006) e il Catalogo Strumentale di Lolli e Gasperini (2006; LG in tabella). Per ogni zona   indicato il meccanismo di fagliazione associato in questo lavoro e il meccanismo associato alle stesse zone in MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004; Meletti *et al.*, 2008). A confronto i valori del  $b$ -value impiegati in MPS04 secondo le completezze storica e statistica del catalogo CPTI (Gruppo di Lavoro CPTI, 1999).

ZS	Meccanismo	Meccanismo MPS04	ramo	ramo	ramo	ramo
			storico	statistico	storico	statistico
			bMPS-bCSI	bMPS-bCSI	bMPS-bLG	bMPS-bLG
901	tras/dir	indeterminata	0,205	0,285	0,182	0,262
902	trascorrente	indeterminata	-0,04	-0,25	0,06	-0,15
903	diretta	indeterminata	0,533	0,323	0,502	0,292
904	trascorrente	trascorrente	0,147	0,347	0,213	0,413
905	inversa	inversa	0,212	0,272	0,516	0,576
906	inversa	inversa	0,153	0,713	0,361	0,921
907	indeterminata	inversa	1,007	0,777	0,923	0,693
908	trascorrente	trascorrente	0,84	0,6	0,988	0,748
909	diretta	diretta	0,2	0,31	0,379	0,489
910	inversa	inversa	0,01	-0,05	0,298	0,238
911	dir/tras	trascorrente	0,18	0,04	0,655	0,515
912	inversa	inversa	0,526	0,496	0,607	0,577
913	inv/dir	indeterminata	0,836	0,566	0,875	0,605
914	inversa	indeterminata	0,41	0,31	0,25	0,15
915	diretta	diretta	-0,06	-0,04	0,32	0,34
916	trascorrente	diretta	0,66	0,28	0,9	0,52
917	trascorrente	inversa	0,265	0,235	0,196	0,166
918	dir/tras	indeterminata	0,01	0,02	0,199	0,209
919	diretta	diretta	0,1	0,27	0,31	0,48
920	inv/tras	diretta	0,9	0,52	1,068	0,688
921	dir/tras	diretta	0,7	0,71	0,95	0,96
922	diretta	diretta	1,08	1,09	1,068	1,078
923	trascorrente	diretta	-0,09	-0,05	0,169	0,209
924	trascorrente	trascorrente	0,116	0,136	0,189	0,209
925	trascorrente	trascorrente	-0,35	-0,27	-0,4	-0,32
926	diretta	trascorrente	0,545	0,645	0,439	0,539
927	diretta	diretta	-0,26	-0,28	-0,14	-0,16
928	inv/tras	diretta	-0,44	-0,82	-0,12	-0,5
929	diretta	diretta	-0,26	-0,29	-0,3	-0,33
930	diretta	indeterminata	-0,04	-0,13	0,009	-0,081
931	trascorrente	trascorrente				
932	trascorrente	trascorrente	0,08	-0,05	0,02	-0,11
933	diretta	inversa	0,37	0,22	0,3	0,15
934	inv/tras	inversa			0,015	-0,015
935	trascorrente	trascorrente	-0,044	-0,074	-0,212	-0,242
936	trascorrente	indeterminata	0,777	0,367	0,67	0,26

**Tabella 3.** Differenza tra i valori del parametro  $b$  impiegati in MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004) nei rami con completezza di tipo storico e di tipo statistico e i valori calcolati in questo lavoro nelle 36 zone della zonazione sismo genetica Zs9 (Meletti *et al.*, 2008; Gruppo di Lavoro MPS, 2004).

### 3.4 Conclusioni

L'esistenza di una correlazione tra il  $b$ -value e lo stress differenziale implicherebbe un sostanziale ripensamento delle impostazioni fino ad oggi date alle analisi di pericolosità sismica. In particolare, la prova di una stretta dipendenza tra cinematica e  $b$ -value avrebbe una diretta conseguenza sul calcolo dei tassi di sismicità e comporterebbe l'adozione di relazioni differenti per differenti stili di fagliazione. Ciò è in realtà già previsto per le leggi di attenuazione di moto del suolo (ad esempio, per l'Italia, le relazioni di Bommer et al., 2003), che vengono modificate a seconda della cinematica dell'area, come accaduto per la redazione della Mappa di Pericolosità Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), nella quale gli autori hanno caratterizzato le zone sismogenetiche dal punto di vista sismotettonico proprio per questo fine.

Sono diversi i lavori in letteratura che indagano questa potenziale relazione (es. Schorlemmer et al., 2005) basandosi su cataloghi strumentali a copertura mondiale o di aree con un'elevata attività sismica e, contemporaneamente, una rete fitta ed estesa (es. California o Giappone). Testare tale ipotesi nel territorio italiano risulta arduo a causa del breve intervallo temporale per il quale si hanno dati strumentali affidabili e per la non totale e continua copertura del territorio. Il numero di terremoti si riduce poi drasticamente se si considerano solo quelli per i quali si ha a disposizione il meccanismo focale della sorgente. Si è cercato quindi di riprodurre l'andamento osservato da Schorlemmer et al. (2005) a scala mondiale, in California e in Giappone utilizzando non i singoli terremoti raggruppati per meccanismo focale ma associando i terremoti alle zone della zonazione sismogenetica ZS9, ricaratterizzare le zone dal punto di vista sismotettonico attraverso la somma del momento tensore (secondo la metodologia descritta da Kostrov, 1974) e calcolando, infine, il  $b$ -value dell'intera zona. Sono stati impiegati due differenti cataloghi: il primo (CSI 1.1, Castello et al., 2006), contenente terremoti dal 1981 al 2002; il secondo (Lolli e Gasperini, 2006) con una copertura temporale maggiore, dal 1960 al 2004. L'ipotesi da testare prevede l'associazione dei valori del parametro  $b$  inferiori e inferiori all'unità per le aree a cinematica inversa; intermedi e prossimi all'unità per le aree a cinematica trascorrente; maggiori e superiori all'unità per le aree a cinematica diretta. Per entrambi i cataloghi, le aree a cinematica inversa e

trascorrente seguono l'andamento previsto mentre nelle aree a cinematica diretta il *b*-value mostra una dispersione ampia, per il catalogo CSI 1.1 (Castello et al., 2006), tra 0.70 e 1.40 , e più ristretta per il catalogo di Lolli e Gasperini (2006), con valori che oscillano tra 0.79 e 1.09.

I risultati ottenuti sono fortemente condizionati dal taglio e dalla geometria delle zone della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti *et al.*, 2008; Gruppo di Lavoro MPS, 2004), che in alcuni casi, come mostrato per la zona 926, non includono gli eventi a magnitudo maggiore e si dimostrano quindi non adatte ad una trattazione del problema.

## 4. Conclusioni

In questo lavoro sono state approfondite alcune tra le metodologie impiegate nell'ambito della pericolosità sismica, che viene generalmente prodotta utilizzando il modello di Cornell (1968). I temi approfonditi hanno riguardato:

- la relazione di Gutenberg e Richter (1944) e il suo utilizzo per il calcolo dei tassi di sismicità;
- l'indagine della presenza di eventi di origine antropica nei cataloghi sismici strumentali;
- la ricerca di una correlazione tra il parametro  $b$  della relazione di Gutenberg e Richter (1944) e la cinematica di una regione.

I risultati ottenuti sono confluiti in articoli, rapporti e presentazioni a congressi internazionali. In particolare, riguardo la relazione di Gutenberg e Richter (1944) è stato valutato l'impatto della scelta di un valore per il parametro  $b$  costante per il territorio italiano e confrontato con le scelte effettuate per la redazione della Mappa di Pericolosità Italiana MPS04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), che avevano visto la preferenza di un parametro spazialmente variabile. Le differenze nei valori di accelerazione orizzontale di picco (PGA, *peak ground acceleration*) hanno raggiunto il 24%; la scelta di un valore costante e uguale ad 1 per il  $b$ -value ha portato un sostanziale aumento dei valori nelle aree a pericolosità non elevata e a una sostanziale diminuzione nelle aree a pericolosità maggiore.

L'indagine di eventi antropici nei cataloghi strumentali europei è stata condotta attraverso la metodologia di Wiemer e Baer (2000), basata sul rapporto tra gli eventi diurni e notturni di un'area. Durante l'utilizzo dell'algoritmo sono stati riscontrati alcuni limiti, soprattutto nella procedura di rimozione degli eventi, e sono state quindi apportate modifiche. I risultati sono stati confermati sia da ricerche bibliografiche sia dall'utilizzo di strumenti Internet, ad esempio il software Google Earth<sup>®</sup>, che ha permesso la visualizzazione delle aree sospette. L'indagine condotta ha evidenziato un'altra potenzialità dell'algoritmo di Wiemer e Baer (2000): l'individuazione di aree di escavazione illegale.



La correlazione tra il parametro  $b$  della relazione di Gutenberg e Richter (1944) e la cinematica di una regione è un argomento ampiamente discusso in letteratura; i risultati pubblicati negli ultimi anni vedono l'associazione dei valori maggiori del parametro alle aree con cinematica normale, i valori intermedi alle trascorrenti e i minori alle inverse. Si tratta di correlazioni ottenute impiegando dataset a copertura mondiale o di aree ad alta sismicità ed elevato numero di eventi registrati. Riprodurre tale andamento per indagare il fenomeno nel territorio italiano rappresenta una sfida a causa del ridotto intervallo temporale coperto da dati strumentali a disposizione e per la non omogenea copertura spaziale del territorio. Si è quindi cercato di verificare la correlazione non utilizzando i meccanismi focali dei singoli terremoti ma si è proceduto per aree, ricorrendo al meccanismo somma (Kostrov, 1974) e calcolando quindi il  $b$ -value dell'intera area. Come riferimento sono state impiegate le aree sorgente della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti *et al.*, 2008; Gruppo di Lavoro MPS, 2004). I risultati, fortemente influenzati dal taglio e dalle geometria delle zone, evidenziano una certa corrispondenza per le aree a cinematica prevalente inversa e trascorrente, mentre per le aree a cinematica diretta i valori ottenuti mostrano un'ampia variabilità.

## Bibliografia

- Abercrombie R.E., 1996. *The magnitudo-frequency distribution of earthquakes recorded with deep seismometers at Cajon Pass, southern California*. Tectonophysics, 261: 1-7.
- Amitrano D., 2003. *Brittle-ductile transition and associated seismicity: Experimental and numerical studies and relationship with the b value*. J. Geophys. Res., 108 N. B1, 2044, doi:10.1029/2001JB000680
- Aki M., 1965. *Maximum likelihood estimate of b in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits*. Bull. Earthquakes Res. Inst., Tokyo Univ., 43: 237-239.
- Bayrak Y., Yilmazturk A., Ozturk S., 2002. *Lateral variations of the modal (a/b) values for the different regions of the world*. J.Geod., 34: 653-666.
- Bender B., 1983. *Maximun likelihood estimation of b values for magnitude grouped data*. Bull. Seism. Soc. Am., 73(3): 831-851.
- Bigi G., Castellarin A., Coli M., Dal Piaz G.V., Sartori R., Scandone P., Vai G.B., 1990. *Structural Model of Italy*, sheets 1-2: CNR, Progetto Fin. Geodinamica, SELCA Firenze
- Bommer J.J., Douglas J., Strasser F.O., 2003. *Style-faulting in ground motion prediction equations*. Bull. Earthq. Eng., 1: 171-203.
- Braunmiller J., Kradolfer U., Giardini D., 2002. *Regional moment tensor determinatin in the European-Mediterranean area - initial results*. Tectonophysics, 356: 5-22.
- Castellaro S., Mulargia F., Kagan Y.Y., 2006. *Regression problems for magnitudes*. Geophys. J. Int., 165: 913-930.
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., 2006. *CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002*, versione 1.1. INGV-CNT, Roma, <http://www.ingv.it/CSI/>
- Castello B., Selvaggi G., Chiarabba C., Amato A., 2005. *Catalogo della sismicità italiana - CSI 1.0 (1981-2002)*. <http://www.ingv.it/CSI/>.
- Cornell C.A., 1968. *Engineering seismic risk analysis*. Bull. Seism. Soc. Am., 58: 1583-1606.
- Dziewonski A.M., Chou T.A., Woodhouse J.H., 1981. *Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity*. J. Geophys. Res., 86: 2825-2852 and subsequent quarterly papers on Phys. Earth Planet. Int., Web site: <http://www.globalcmt.org/>
- Ekström G., England P., 1989. *Seismic strain rates in regions of distributed continental deformation*. J. Geophys. Res., 94: 10231-10257.
- Frohlich C., 1992. *Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms*. Phys. Earth Planet. Inter., 75: 193-198.

Frohlich C., 2001. *Display and quantitative assessment of distributions of earthquake focal mechanisms*. Geophys. J. Int., 144: 300-308.

Gasperini P., 2002 *Local magnitude reevaluation for recent Italian earthquakes (1981–1996)*. J. Seismol., 6: 503–524.

Giardini D., Wiemer S., Fäh D., Deichmann D., 2004. *Seismic Hazard Assessment of Switzerland*. Report, Swiss Seismological Service, ETH Zurich, 88 pp.

Gestenberger M., Wiemer S., Giardini D., 2001. *A systematic test of the hypothesis that the b value varies with depth in California*. Geophys. Res. Lett., 28: 57-60.

Goforth T.T., Bonner J.L., 1995. *Characteristics of Rg Waves Recorded from Quarry Blasts in Central Texas*. Bull. Seism. Soc. Am., 85(4): 1232-1235.

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*. CD-ROM, Clueb, Bologna, [http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/gndt/Versione1\\_0/Leggimi.htm](http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/gndt/Versione1_0/Leggimi.htm).

Gruppo di Lavoro CSTI, 2004. *Catalogo strumentale dei terremoti Italiani dal 1981 al 1996, Versione 1.1*. [http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/gndt/Versione1\\_1/Leggimi.htm](http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/gndt/Versione1_1/Leggimi.htm).

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., 2008. *Testing the b-value variability in Italy and its influence on Italian PSHA*. Boll. Geof. Teor. Appl., 49(1): 59-76.

Gulia L., 2008. *Detection of quarry and mine blasts contamination in European regional catalogues*. Submitted to Nat. Haz.

Gutenberg, B., Richter C. F., 1944. *Frequency of earthquakes in California*. Bull. Seismol. Soc. Am., 34: 185– 188.

Habermann R. E., 1987. *Man-made changes of seismicity rates*. Bull. Seism. Soc. Am., 77, 141-159.

Hedlin M.A., 2002. *Identification of Mining Blasts at Mid- to Far-regional Distances Using Low Frequency Seismic Signals*. Pure appl. geophys., 159: 831-863.

Jackson J., Mckenzie D., 1988. *The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East*. Geophys. J. Int., 93: 45-73.

Kafka A.L., 1990. *Rg as a depth discriminant for earthquakes and explosions: a case study in New England*. Bull. Seism. Soc. Am., 80(2): 373-394.

- Kagan Y.Y., 1999. Universality of the seismic moment-frequency relation, *Pure Appl. Geoph.*, 155: 537-573.
- Kagan Y.Y.; 2002: *Seismic moment distribution revisited: I. Statistical results*. *Geophys. J. Int.*, 148, 520-541.
- Kim W.Y., Simpson, D.W., Richards P.G., 1994. *High-Frequency Spectra of Regional Phases from Earthquakes and Chemical Explosions*. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84(5): 1365-1386.
- Koch K. and Fäh D., 2002. *Identification of Earthquakes and Explosions Using Amplitude Ratios: The Vogtland Area Revisited*. *Pure appl. geophys.*, 159: 735-757.
- Kostrov V.V., 1974. *Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rocks*. *Izv. Acad. Sci. USSR, Phys. Solid Earth*, 1: 23-40.
- Ishimoto M., Iida K., 1939. *Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently*. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, 17: 443-478.
- Lolli B., Gasperini P., 2006. *Comparing different models of aftershock rate decay: The role of catalog incompleteness in the first times after main shock*. *Tectonophysics*, 423: 43 – 59.
- 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.
- Lopez Casado C., Sanz de Galdano C., Delgado J., Peinado M.A., 1995. *The b parameter in the Betic Cordillera, Rif and nearby sectors. Relations with the tectonics of the region*. *Tectonophysics*, 248: 277-292.
- Marzocchi W., Sandri L., 2003. *A review and new insights on the estimation of the b-value and its uncertainty*. *Ann. Geophys.*, 46(6): 1271-1282.
- McGuire R.K., 2004. *Seismic Hazard and Risk Analysis*. EERI, MNO-10, Okland, CA, pp. 41.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E., 2008. *A seismic source zone model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450: 85-108.
- Meletti C., Montaldo V., Gulia L., 2007. *Valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04*. Progetto DPC-INGV S1, <http://esse1.mi.ingv.it/d5.html>
- Mogi K., 1962. *Magnitude-frequency relations for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes*. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, 40: 831-853.
- Mori J., Abercrombie R. E., 1997. *Depth dependence of earthquake frequency-magnitude distributions in California: Implications for rupture initiation*. *J. Geophys. Res.*, 102: 15081-15090.

- Murphy J.R. and Bennet T.J., 1982. *Analysis of Seismic Discrimination capability Using Regional Data from Western United States Events*. Bull. Seism. Soc. Am., 76: 1069-1086.
- Musil M., Plešinger A., 1996. *Discrimination between local Microearthquakes and Quarry Blasts by Multi-Layer Perceptrons and Kohonen Maps*. Bull. Seism. Soc. Am., 86 (4): 1077-1090.
- Pacheco J.F., Scholtz C.H., Sykes L.R., 1992. *Changes in frequency-size relationship from small to large earthquakes*. Nature, 355: 71-73.
- Parolai S., Trojani L., Frapiccini M., Monachesi G., 2002. *Seismic Source Classification by Means of a Sonogram-Correlation Approach: Application to Data of the RSM Seismic Network (Central Italy)*. Pure appl. Geophys., 159: 2763-2788.
- Pondrelli S., Morelli A., Boschi E., 1995. *Seismic deformation in the Mediterranean area estimated by moment tensor summation*. Geophys. J. Int., 122: 938-952.
- Pondrelli S., Morelli A., Ekstrom G., 2004. *European-Mediterranean regional centroid moment tensor catalog: solutions for the years 2001 and 2002*. Phys. Earth Planet. Int., 145, 127-147
- Pondrelli S., Morelli A., Ekstrom G., Mazza S., Boschi E., Dziewonski A.M., 2002. *European-Mediterranean regional centroid moment tensors: 1997-2000*. Phys. Earth Planet. Int., 130, 71-101
- Pondrelli S., Salimbeni S., Morelli A., Ekstrom G., 2007. *European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensor catalog: solutions for years 2003 and 2004*. Phys. Earth Planet. Int., 164 (1-2), 90-112, doi: [10.1016/j.pepi.2007.05.004](https://doi.org/10.1016/j.pepi.2007.05.004)
- Pondrelli S., Salimbeni S., Ekstrom G., Morelli A., Gasperini P., Vannucci G., 2006. *The Italian CMT dataset from 1977 to the present: an extended view of the seismotectonics of this region*. Phys. Earth Planet. Int., 159 (3-4), 286-303, doi: [10.1016/j.pepi.2006.07.008](https://doi.org/10.1016/j.pepi.2006.07.008)
- Postpischl, D., (Ed.), 1985. *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. Quaderni della Ricerca Scientifica, 114 2B, CNR, Rome.
- Rhoades D. A., 1996. *Estimation of the Gutenberg-Richter relation allowing for individual earthquake magnitude uncertainties*. Tectonophysics, 258: 71-83.
- Rueda J., Mezcua J., 2005. *Near-Real-Time Seismic Moment-tensor Determination in Spain*. Seism. Res. Lett., 76(4): 455-465.
- Scholz C.H., 1968. *The frequency magnitude relation of Microfracturing in rock and its relation to earthquakes*. Bull. Seism. Soc. Am., 58 (1): 399-415.
- Schorlemmer D., Wiemer S., Wyss M., 2005. *Variations in earthquake-size distribution across different stress regimes*. Nature, 437, 539-542.
- Schorlemmer D., Wiemer S., 2005. *Microseismicity data forecast rupture area*. Nature, 434: 1086.

- Shanker D. and 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.
- Shi Y., Bolt B. A., 1982. *The standard error of the magnitude-frequency b value*. Bull. Seismol. Soc. Am., 72 (5): 1677-1687.
- Stich D., Ammon C.J., Morales J., 2003. *Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Maghreb region*. J. Geophys. Res., 108 N. B3, 2148. doi:10.1029/2002JB002057
- Stich D., Mancilla F., Morales J., 2005. *Crust-mantle coupling in the Gulf of Cadiz (SW-Iberia)*. Geophys. Res. Lett., Vol. 32, L13306, doi:10.1029/2005GL023098
- Stich D., Serpelloni E., Mancilla F., Morales J., 2006. *Kinematics of the Iberia-Maghreb plate contact from seismic moment tensors and GPS observations*. Tectonophysics, 426, 3, 295-317, doi:10.1016/j.tecto.2006.08.004
- Tinti S., Mulargia F., 1985. *Effects of magnitude uncertainties on estimating the parameters in the Gutenberg-Richter frequency-magnitude law*. Bull. Seism. Soc. Am., 75: 1681-1697
- Tinti S., Mulargia F., 1987. *Confidence intervals of b-values for grouped magnitudes*. Bull. Seismol. Soc. Am., 77: 2125 - 2134.
- Utsu T., 1965. *A statistical significance test of the difference in b-value between two earthquakes groups*. J. Phys. Earth, 14: 37-40.
- Vannucci G., Gasperini P., 2003. *A database of revised fault plane solutions for Italy and surrounding regions*. Computers & Geosciences, 29/7: 903-909.
- Vannucci G., Gasperini P., 2004. *The new release of the database of Earthquake Mechanisms of the Mediterranean Area (EMMA Version 2)*. Annals of Geophysics, Supplement to V. 47(1): 307-334. [http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/ATLAS/pages/EMMA\\_READ\\_ME.html](http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/ATLAS/pages/EMMA_READ_ME.html).
- Vannucci G., Pondrelli S., Argnani A., Morelli A., Gasperini P., E. Boschi, 2004. *An Atlas of Mediterranean seismicity*. Ann. Geophys., supplement to Vol. 47(1): 247-306. Web page: <http://www.ingv.it/seismoglo/atlas>.
- Westaway R., 1992. *Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: tectonic implications*. J. Geophys. Res., 97: 15437-15464.
- Wiemer S., Baer M., 2000. *Mapping and Removing Quarry Blast Events from Seismicity Catalogs*. Bull. Seism. Soc. Am., 90 (2): 525-530.
- Wiemer S., Schorlemmer D., 2007. *ALM: An Asperity-based Likelihood Model for California*. Seismol. Res. Letters., 78(1): 134-140.
- Woessner J., Wiemer S., 2005. *Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and its Uncertainty*. Bull. Seism. Soc. Am., 95(2): 684-698, doi:10.1785/0120040007

Wüster J., 1993. *Discrimination of chemical explosions and earthquakes in Central Europe – a case study*. Bull. Seism. Soc. Am., 83(4): 1184-1212.

Wyss M., 1973. *Towards a physical understanding of the earthquake frequency distribution*. Geophys. J. R. astr. Soc., 31: 341-359.

Zuñiga F.R., Wyss M., 1995. *Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: their evaluation through b-value estimates*. Bull. Soc. Seism. Am., 85: 1858-1866.

*Allegati*





## **HALM: A Hybrid Asperity Likelihood Model for Italy**

L. Gulia (1) and S. Wiemer (2)

(1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna, Italy, [gulia@bo.ingv.it](mailto:gulia@bo.ingv.it), (2) ETH Zürich, Institute of Geophysics, Sonneggstrasse 5, 8092 Zürich, Switzerland, [stefan.wiemer@sed.ethz.ch](mailto:stefan.wiemer@sed.ethz.ch)

The Asperity Likelihood Model (ALM), first developed and currently tested for California, hypothesizes that small-scale spatial variations in the b-value of the Gutenberg and Richter relationship play a central role in forecasting future seismicity (Wiemer and Schorlemmer, SRL, 2007). The physical basis of the model is the concept that the local b-value is inversely dependent on applied shear stress. Thus low b-values ( $b < 0.7$ ) characterize the locked patches of faults –asperities– from which future mainshocks are more likely to be generated, whereas the high b-values ( $b > 1.1$ ) found for example in creeping section of faults suggest a lower seismic hazard.

To test this model in a reproducible and prospective way suitable for the requirements of the CSEP initiative ([www.cseptesting.org](http://www.cseptesting.org)), the b-value variability is mapped on a grid. First, using the entire dataset above the overall magnitude of completeness, the regional b-value is estimated. This value is then compared to the one locally estimated at each grid-node for a number of radii, we use the local value if its likelihood score, corrected for the degrees of freedom using the Akaike Information Criterion, suggest to do so.

We are currently calibrating the ALM model for implementation in the Italian testing region, the first region within the CSEP EU testing Center ([eu.cseptesting.org](http://eu.cseptesting.org)) for which fully prospective tests of earthquake likelihood models will commence in Europe. We are also developing a modified approach, ‘hybrid’ between a grid-based and a zoning one: the HALM (Hybrid Asperity Likelihood Model). According to HALM, the Italian territory is divided in three distinct regions depending on the main tectonic elements, combined with knowledge derived from GPS networks, seismic profile interpretation, borehole breakouts and the focal mechanisms of the event. The local b-value variability was thus mapped using three independent overall b-values. We evaluate the performance of the two models in retrospective tests using the standard CSEP likelihood test.



**Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006 / Progetto S1  
Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della  
mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di  
ulteriori sviluppi**

## **Task 4 – Aggiornamento dei database sismologici**

### **Deliverable D18 Versione aggiornata al 2007 del catalogo CPTI**

**a cura di M. Stucchi<sup>(1)</sup>, P. Gasperini<sup>(2)</sup>, R. Camassi<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Milano-Pavia

<sup>(2)</sup> Dipartimento di Fisica, Università di Bologna

<sup>(3)</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

con la collaborazione di

L. Gulia, C. Meletti, A. Rovida (INGV, Sezione di Milano-Pavia)

Partecipano alle attività del deliverable le seguenti UR:

UR1 INGV Milano (coord. M. Stucchi)  
UR3 INGV Bologna (coord. R. Camassi)  
UR4 INGV Catania (coord. R. Azzaro)  
UR9 UNI Bologna (coord: P. Gasperini)

**Milano, 31 luglio 2007**

## **Riassunto**

La ricompilazione di CPTI04 a partire dai dati resi omogenei in DBMI04 ha lievemente modificato i parametri di alcuni terremoti; piuttosto che pubblicare una versione CPT04.1 del catalogo, si è scelto di procedere con la realizzazione di una versione aggiornata del catalogo.

La compilazione di CPTI07, parallelamente a quella di DBMI07, prevede l'estensione del catalogo a tutto il 2006 e l'introduzione delle repliche disponibili da varie basi di dati. Per la finestra temporale post-1980, verranno forniti (se disponibili) sia la localizzazione macrosismica sia una o più localizzazioni strumentali. I valori di magnitudo saranno forniti in termini di Mw. Una versione beta verrà rilasciata entro ottobre 2007.

## **Abstract**

The recompilation of the CPTI04 catalogue from the data made homogeneous in DBMI04 resulted in slightly different parameters for some earthquakes. Rather than release a version CPTI04.1 of the catalogue, the compilation of a new updated version of the catalogue was preferred.

The compilation of CPTI07 follows that of DBMI07 and includes the extension of the catalogue up to 2006 and the introduction of aftershocks available in different datasets. For the time-window after 1980, the catalogue will include (if available) both the macroseismic and the instrumental epicentral location. Magnitude will be given in terms of Mw. A beta version will be released in October 2007.

## **1. CPTI04.1**

La prima fase di attività ha riguardato la ricompilazione del catalogo CPTI04 a partire dai dati di DBMI04 (Stucchi et al., 2007). CPTI04 era stato compilato a partire da una versione non completamente omogenea (in quanto a georeferenziazione e codifica dei parametri di intensità) di DBMI04. Come era prevedibile, le correzioni introdotte e le diverse convenzioni adottate per la gestione dei valori alfanumerici di intensità hanno sia pur lievemente modificato i parametri di diversi terremoti. In Appendice 1 vengono presentati alcuni esempi al riguardo.

Questa fase ha consentito anche di individuare alcune localizzazioni problematiche sfuggite ai controlli nel corso della compilazione di CPTI04, avvenuta in tempi stretti nell'ambito delle attività per la redazione della mappa di pericolosità MPS04 (Gruppo di lavoro MPS, 2004). Alcuni esempi sono presentati in Appendice 2. Dato che la compilazione della versione aggiornata del catalogo era comunque avviata, si è preferito non pubblicare una versione "CPTI04.1" e procedere direttamente verso la compilazione di una versione aggiornata di CPTI.

## **2. CPTI07**

La compilazione di CPTI07 segue in parallelo quella di DBMI07; è quindi esteso a tutto il 2006, con l'aggiunta della introduzione delle repliche disponibili da CFTI3 (Boschi et al., 2000), o da altre basi di dati (es. BMING), e di quelle con  $I_0 \geq 8$  da Postpischl (1985) non comprese in quanto sopra, previo controllo di eventuali studi che ne aggiornino i parametri.

Per quanto riguarda la finestra temporale post-1980, per la parte strumentale si fa riferimento in prima istanza a CSI1.1 (Castello et al., 2006) e al Bollettino INGV (CINGV). La soglia minima di intensità è meno rigida che in passato.

Verranno forniti (quando disponibili) due diversi tipi di localizzazione: a) macrosismica, utilizzando il codice Boxer (Gasperini et al, 1999) nell'ultima versione rilasciata (Boxer 3.3), con le tradizionali "correzioni" esperte ove necessario; e b) una o più strumentali (si veda ad esempio l'area Etnea).

Per quanto riguarda i valori di magnitudo essi saranno forniti in termini di  $M_w$ , con relativa stima dell'incertezza; in mancanza di una stima da inversione di registrazioni a larga banda, ricavati dalla combinazione di dati macrosismici e magnitudo strumentali ( $M_L$ ,  $M_s$  ecc.) convertite a magnitudo momento attraverso regressioni ortogonali. Verranno inoltre fornite le regressioni utili alla determinazione di altri valori di  $M$  da utilizzarsi con le relazioni di attenuazione più in uso.

Una versione beta verrà resa disponibile entro la metà di ottobre 2007. La versione definitiva, dopo i test necessari, entro il 2007.

## Bibliografia

- Bollettino Macrosismico, Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 1980-2000.
- Bollettino sismico INGV, Roma, <http://www.ingv.it/~roma/reti/rms/bollettino/index.php>.
- Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, G. Valensise e P. Gasperini (2000). Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980. *Ann. Geof.*, 43, 609-868. <http://storing.ingv.it/cft/>.
- Castello, B., G. Selvaggi, C. Chiarabba e A. Amato (2006). CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV-CNT, Roma. <http://www.ingv.it/CSI/>
- Gasperini, P., F. Bernardini, G. Valensise e E. Boschi (1999), Defining seismogenic sources from historical felt reports, *Bull. Seism Soc. Am.*, 89, 94-110. Codice disponibile su: <http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/paolo.html>
- Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003, n.3274 All. 1. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65pp. + 5 allegati, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- Postpischl, D. (1985). Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980, *Quaderni della Ricerca Scientifica*, 114, 2B, Bologna, 239 pp.
- Stucchi, M., R. Camassi, A. Rovida, M. Locati, E. Ercolani, C. Meletti, P. Migliavacca, F. Bernardini e R. Azzaro (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. *Quaderni di Geofisica*, INGV, 49, 38 pp.

## Appendice 1

### Impatto di DBMI04 nella determinazione dei parametri epicentrali e di sorgente

a cura di Laura Gulia e Carlo Meletti

Vengono mostrati alcuni esempi di come la diversa conversione di intensità da letterali a numeriche o la diversa georeferenziazione di una località possano produrre delle differenti determinazioni dei parametri epicentrali di un terremoto, utilizzando il codice BOXER. Il confronto è basato sul database di lavoro denominato DB0 (ottenuto dalla semplice collazione di dati di intensità come forniti dai cataloghi di riferimento) e su DBMI04 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>).

#### Il terremoto dell'8 gennaio 1819, Liguria occidentale

L'epicentro si è spostato di quasi 30 km a causa dello spostamento di 90 km di una delle località utilizzate per la sua localizzazione (Cantalupo,  $I_g=60$ ; Fig. 1). Inoltre, le due località con  $I_{max}$  (Imperia e S. Remo) hanno subito una variazione in latitudine e longitudine, anche se minima (inferiore a 1.5 km).

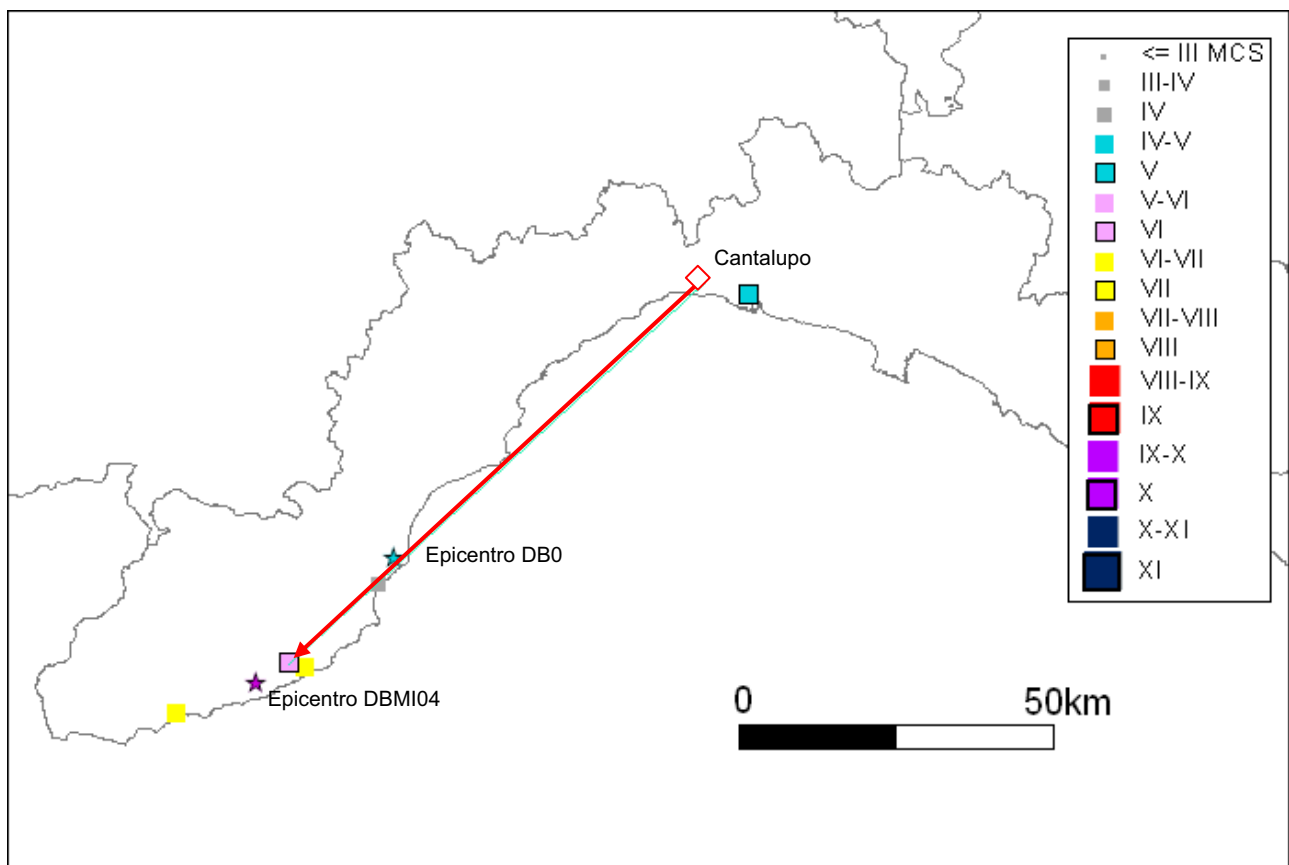


Figura 1. Confronto tra le distribuzioni delle osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto della Liguria Occidentale del 1819, nei database DB0 e DBMI04 e tra i relativi epicentri calcolati con il codice Boxer. La freccia rossa indica lo spostamento della località Cantalupo.

## Il terremoto del 10 giugno 1410, Veronese

A Ferrara è associato un felt (F), che per la determinazione epicentrale in CPTI04 è stato trasformato in  $I_g= 4.6$ , mentre in DBMI04 corrisponde a  $I_g= 34$ ; nella determinazione di CPTI04, rientrando nell'incertezza della classe V, viene pesato nel calcolo dell'epicentro insieme alle osservazioni con intensità VI, V-VI e V (Fig. 2).

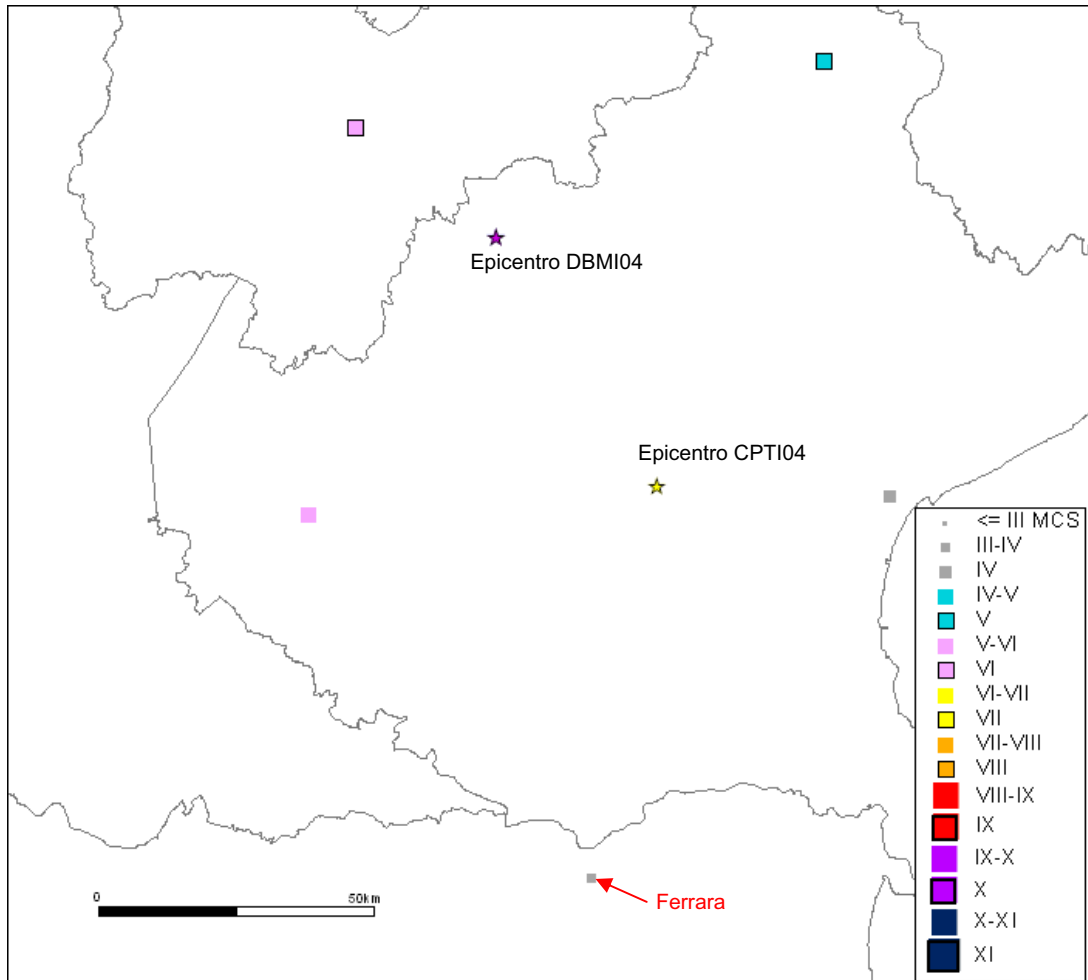


Figura 2. La distribuzione delle osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto del Veronese del 1410 è uguale nei due database DB0 e DBMI04 (non sono presenti variazioni di coordinate). Sono riportati gli epicentri determinati dal codice Boxer convertendo il Felt di Ferrara in 3.4 (secondo DBMI04, stella rosa) e in 4.6 secondo lo stile adottato per la compilazione di CPTI04 (stella gialla).

## Il terremoto del 4 dicembre 1690, Kaernten

L'epicentro subisce uno spostamento minimo (1.05 km; Fig. 3), mentre l'azimut ruota di 51°. Le osservazioni macrosismiche sono 17, ma per il calcolo dell'azimut vengono utilizzate solo le 3 località con  $I_{max}$ ; una di queste è stata spostata di 3 km. La geometria della distribuzione cambia e, di conseguenza, l'azimut.

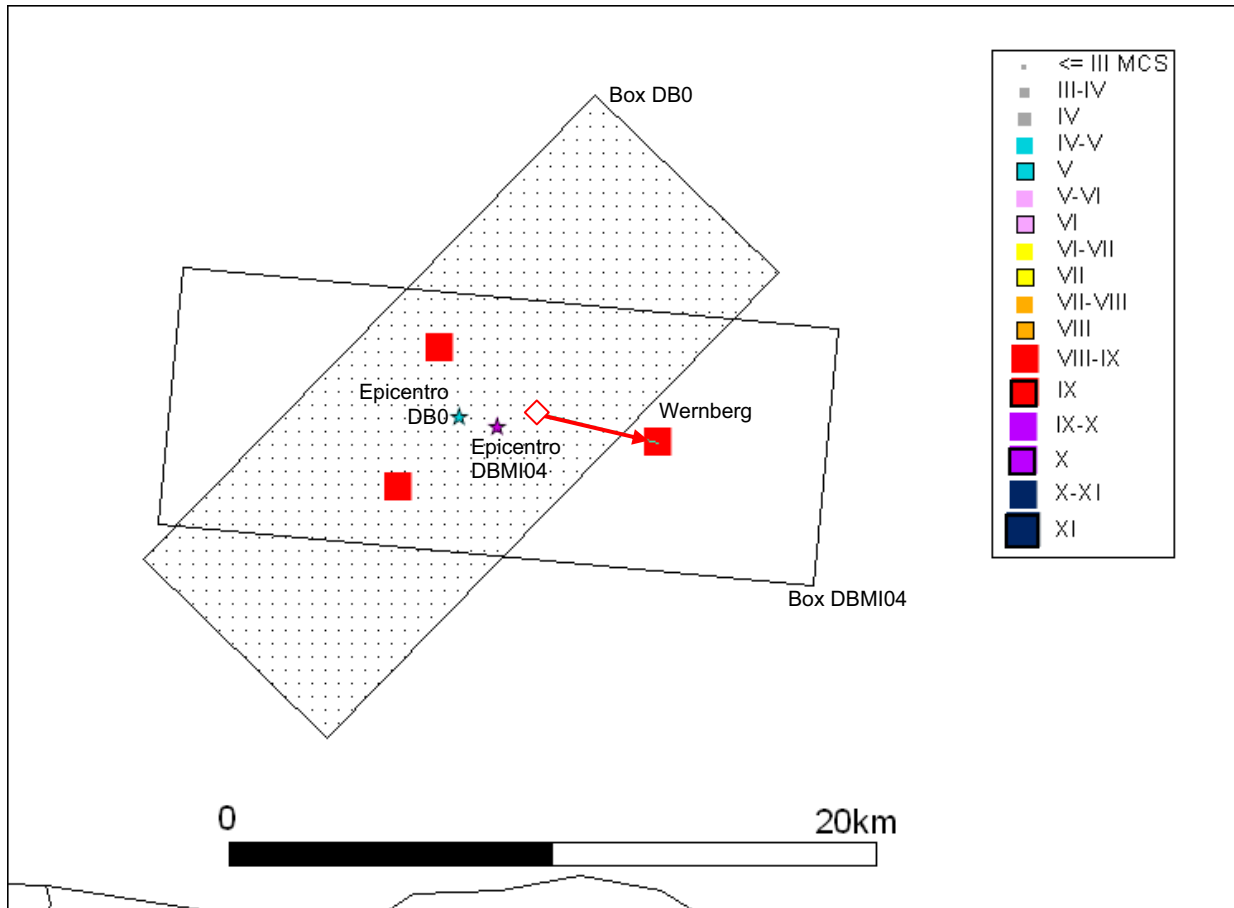


Figura 3. Confronto tra la distribuzione delle osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto di Kaernten del 1690, nei database DB0 e DB9, tra i relativi epicentri e le relative box calcolati con il codice Boxer. La freccia rossa indica lo spostamento della località Wernberg.



## **Appendice 2**

### **Localizzazioni epicentrali problematiche in CPTI04**

*a cura di Andrea Rovida e Romano Camassi*

Nelle schede che seguono vengono mostrati alcuni esempi di localizzazioni epicentrali problematiche contenute in CPTI04 e sfuggite ai controlli nel corso della compilazione del catalogo stesso, avvenuta in tempi stretti dettati dall'urgenza della redazione della mappa di pericolosità sismica MPS04. Un riesame attento di questi e altri casi analoghi dovrebbe portare all'individuazione di soluzioni più ragionevoli, e in qualche caso al riesame degli stessi dati di base.

## Il terremoto del 20 novembre 1991, Alpi Centrali

Per il terremoto del 20 novembre 1991 CPTI04 riporta i seguenti parametri:

Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	Lat	Lon	Maw	Daw
1991	11	20	01	54	19	ALPI CENTRALI	BMING	469	60	50	45.993	9.427	4.80	0.09

L'epicentro si trova poco a nord di Lecco (Fig. 4).

Il catalogo svizzero ECOS localizza, in base a dati strumentali, lo stesso terremoto più a nord nel cantone dei Grigioni, con coordinate epicentrali 46.73°, 9.53° (Fig. 4).

I parametri contenuti in CPTI04 derivano dai dati macrosismici forniti dal Bollettino Macrosismico INGV, rappresentati in Fig. 4. La figura mostra che le osservazioni macrosismiche derivano solo da località italiane e in generale le intensità più elevate sono localizzate nei pressi del confine con la Svizzera. Si tratta evidentemente di dati largamente incompleti.

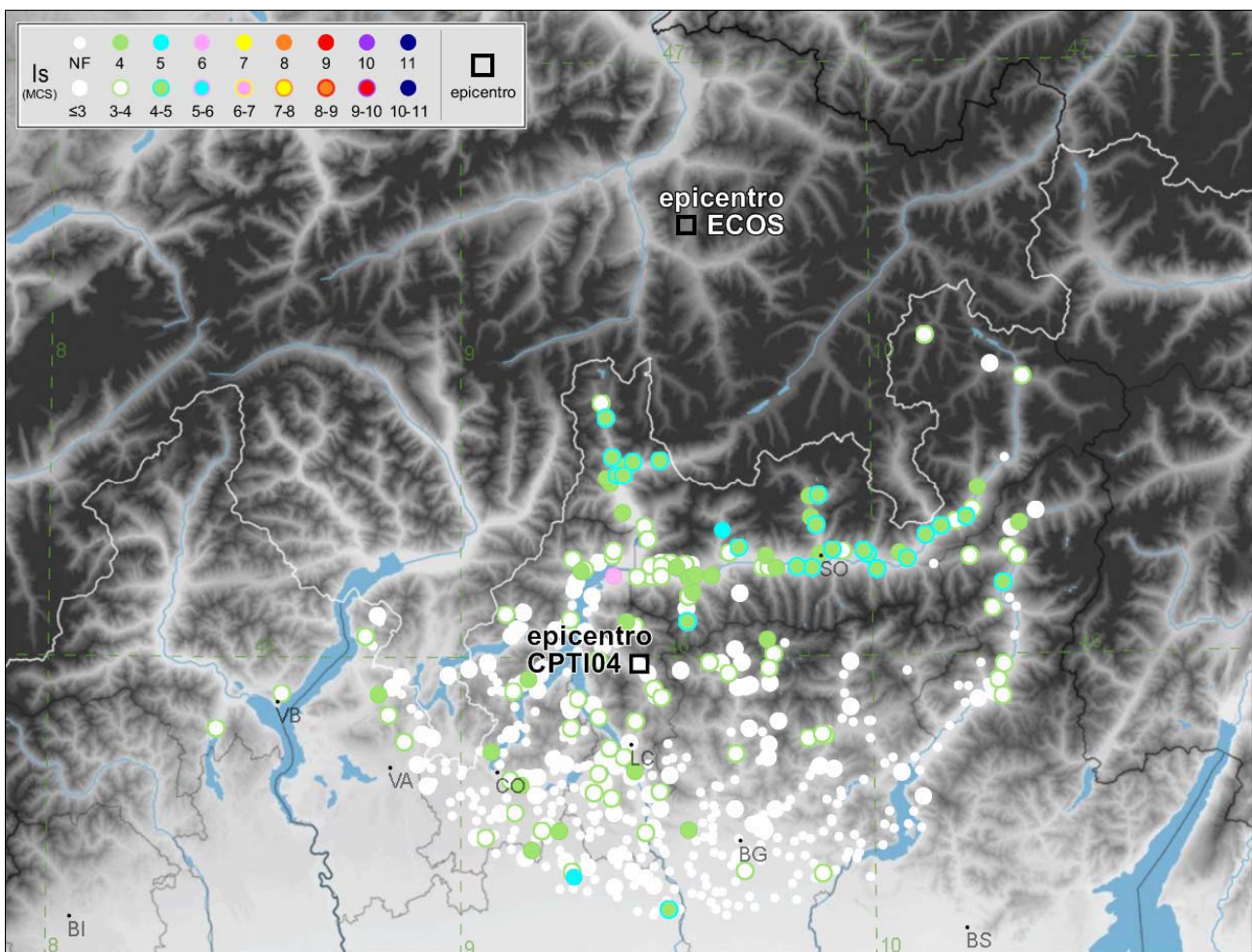


Figura 4. Osservazioni macrosismiche per il terremoto del 20.11.1991 e localizzazione degli epicentri secondo CPTI04 e ECOS.

## Il terremoto del 28 marzo 1511, Slovenia

Per il terremoto del 28 marzo 1511 CPTI04 riporta i seguenti parametri:

Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	Lat	Lon	Maw	Daw
1511	03	28	12	15		Slovenia	CFTI	8	60	55	45.500	11.930	4.74	0.11

Il terremoto è indicato dallo studio di riferimento come una replica di quello del 26 marzo 1511 in Slovenia ( $I_o=9$ ;  $M_{aw}=6.51$ )

I parametri contenuti in CPTI04 per il terremoto del 28 marzo derivano da osservazioni macrosismiche la cui distribuzione (Fig. 5) determina la localizzazione dell'epicentro a nord di Padova, molto distante dalla massima intensità osservata ( $I_s=6$ , Idrija). Questa localizzazione risulta anche distante dall'epicentro dell'evento principale del 26 marzo (Fig. 5) e per questo motivo la replica del 28 marzo non è stata declusterata.

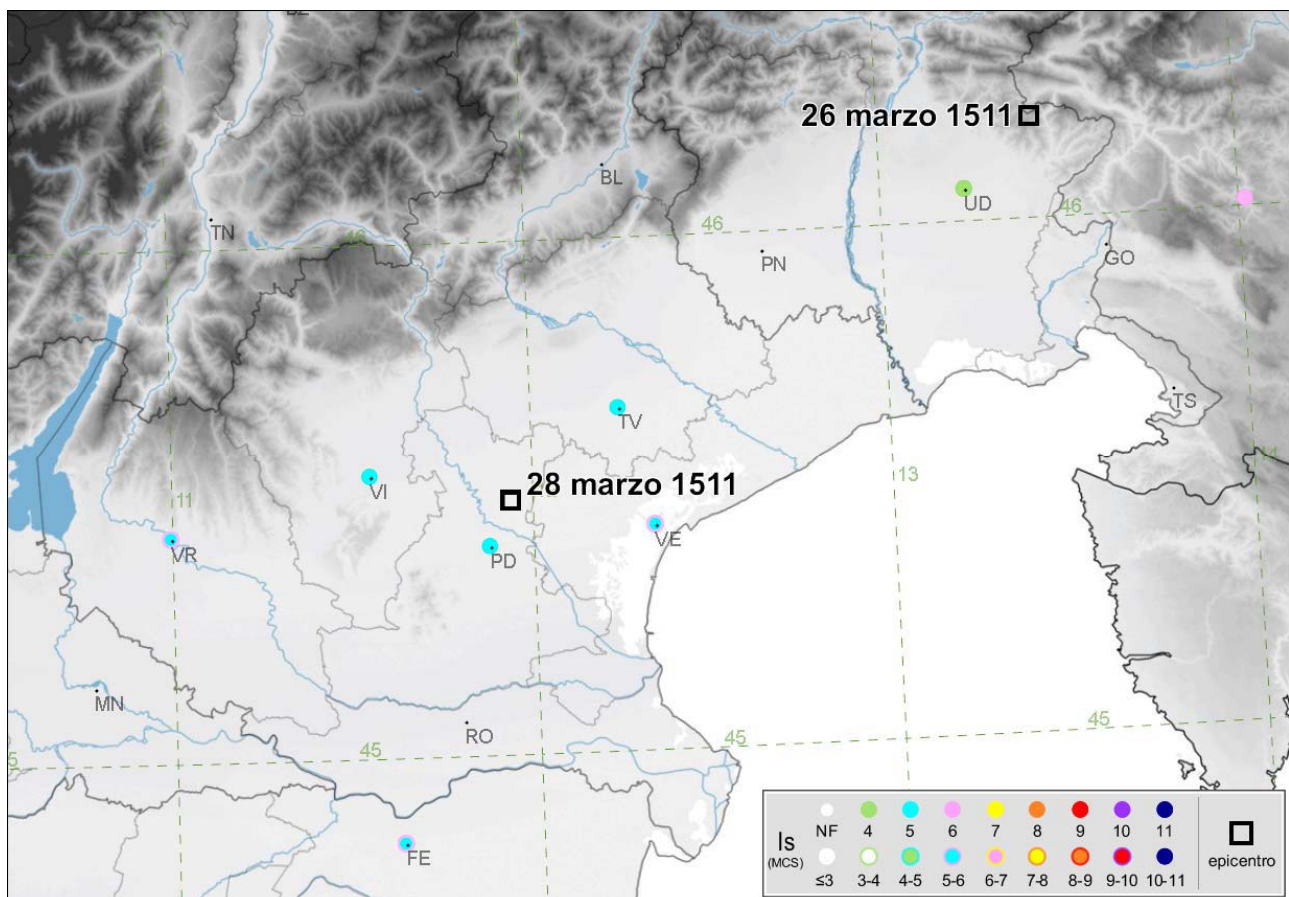


Figura 5. Distribuzione delle intensità e localizzazione dell'epicentro per il terremoto del 28 marzo 1511; è rappresentato anche l'epicentro del terremoto del 26 marzo.



ISSN 1590-2595

# quaderni di geofisica

n. 49

**DBMI04  
IL DATABASE DELLE OSSERVAZIONI  
MACROSISMICHE DEI TERREMOTI  
ITALIANI UTILIZZATE  
PER LA COMPILAZIONE DEL  
CATALOGO PARAMETRICO CPTI04**

Massimiliano Stucchi et alii

**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**

**2007**

**Direttore**

Enzo Boschi

**Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Viviana Castelli (MI)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Sergio Gurrieri (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Leonardo Sagnotti (RM2)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Gianluca Valensise (RM1)

Gaetano Zonno (MI)

**Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - responsabile

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

Sabrina Palone

Tel. +39 06 51860405

Fax +39 06 51860585

redazionecen@ingv.it

**DBMI04**  
**IL DATABASE DELLE OSSERVAZIONI MACROSISMICHE DEI**  
**TERREMOTI ITALIANI UTILIZZATE PER LA COMPILAZIONE**  
**DEL CATALOGO PARAMETRICO CPTI04**

M. Stucchi<sup>1</sup>, R. Camassi<sup>2</sup>, A. Rovida<sup>1</sup>, M. Locati<sup>1</sup>, E. Ercolani<sup>2</sup>,  
C. Meletti<sup>1</sup>, P. Migliavacca<sup>1</sup>, F. Bernardini<sup>2</sup>, R. Azzaro<sup>3</sup>

con la collaborazione di

P. Albini<sup>1</sup>, V. Castelli<sup>2</sup>, S. D'Amico<sup>3</sup>, C. Gasparini<sup>4</sup>, L. Gulia<sup>1</sup>,  
I. Leschiutta<sup>4</sup>, F. Meroni<sup>1</sup>, C. Mirto<sup>1</sup>, A. Moroni<sup>1</sup>, T. Tuvè<sup>3</sup>

web a cura di

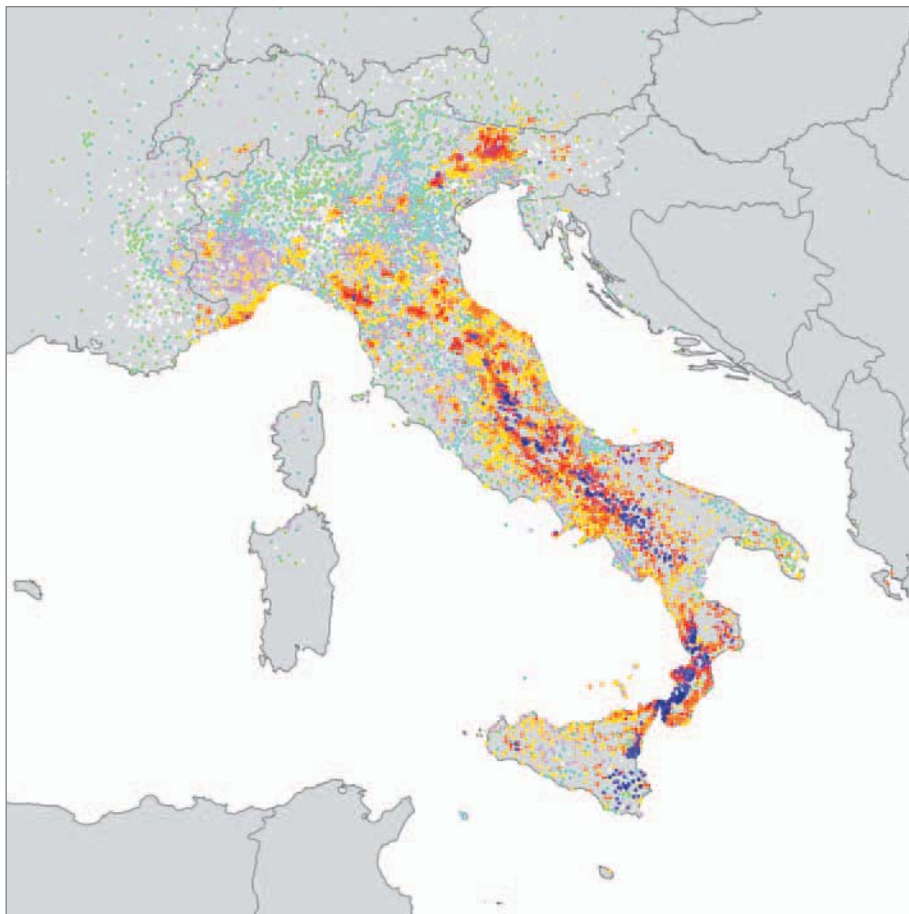
M. Locati<sup>1</sup>, G. Rubbia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Milano*

<sup>2</sup>*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Bologna*

<sup>3</sup>*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Catania*

<sup>4</sup>*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione Roma1*



Il database è citabile come:

Stucchi et alii. (2007). DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp. 38.

Il database è stato realizzato nell'ambito delle attività del TTC (Tema Trasversale Coordinato) 5.1 "Banche dati e metodi macrosismici" dell'INGV, con il contributo parziale del Dipartimento della Protezione Civile (progetto S1).

## Indice

Abstract	7
Riassunto	7
Introduzione	7
1. La compilazione del database	8
1.1. Problemi relativi all'intensità macrosismica	8
1.2. Problemi relativi al riferimento geografico	9
1.3. Sviluppi	11
2. La consultazione di DBMI04 online	12
2.1. Consultazione per terremoto	12
2.2. Consultazione per località	14
3. Formato	14
Bibliografia	16
App. 1 – Elenco degli studi macrosismici	18
App. 2 – Convenzioni per la gestione dei valori di intensità macrosismica (Is)	23
App. 3 – Convenzioni per la gestione dei parametri geografici (Loc, Lat, Lon, Sc) e dei valori di intensità macrosismica (Is)	25
App. 4 – Caratteristiche del riferimento geografico DIR04	31
App. 5 – Convenzioni per la gestione delle denominazioni di località	34





## Abstract

This paper describes the main features of the Macro seismic Database of Italy 2004, which for the first time put together in a critical way the macro seismic data used for the compilation of the CPTI04 (2004) parametric earthquake catalogue. Data come from varied main datasets: i) DOM4.1 (Monachesi e Stucchi, 1997); ii) CFTI version 2 (Boschi et al., 1997) and, for the time-window 1980-2002, CFTI version 3 (Boschi et al., 2000); iii) Bollettino Macrosismico ING (BMING); iv) Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei, Azzaro et al. (2000; 2002). In addition, data from recent historical and field investigation were also used. DBMI04 contains 58146 macro seismic observations related to 1041 earthquakes and 14161 localities, 12943 of which in Italy.

The input data used for the compilation of DBMI04 were not homogeneous with respect to the use of the intensity scale and, mainly, to geographical reference. One of the main task was the organisation of a reliable geographical reference, based on the previous ENEL-ISTAT catalogue of the Italian localities (ENEL, 1978), which was updated by means of new data. Another task consisted in correcting some mistakes performed when associating the place-names quoted by the historical sources and the geographical reference. Some problems were solved using ad hoc conventions for dealing with observations not expressed in terms of macro seismic intensity.

This paper presents the adopted solutions and the results, together with the web-interface through which the database is made available to the public (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>).

## Riassunto

Vengono descritte le caratteristiche principali del Database Macrosismico Italiano 2004, che per la prima volta ha raccolto e organizzato in modo critico i dati macrosismici utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (2004). Questi dati provengono da alcuni dataset principali: i) DOM4.1 (Monachesi e Stucchi, 1997); ii) CFTI versione 2 (Boschi et al., 1997) e, per la finestra temporale 1980-2002, CFTI versione 3 (Boschi et al., 2000); iii) Bollettino Macrosismico ING (BMING); iv) Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei, Azzaro et al. (2000; 2002). In aggiunta sono confluiti anche dati provenienti da ricerche storiche e indagini di campo recenti.

DBMI04 contiene 58146 osservazioni riferite a 12041 terremoti e 14161 località, 12943 delle quali in Italia.

I dati confluiti non erano omogenei quanto a uso della scala macrosismica e soprattutto quanto a riferimento geografico. Una delle principali attività ha riguardato la organizzazione di un riferimento geografico comune, basato sul precedente Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane (ENEL, 1978), che è stato aggiornato con nuovi dati. Un'altra attività ha riguardato la correzione di errori nella associazione della località alla informazione proveniente dalle fonti. Infine, sono stati risolti alcuni problemi collegati con la classificazione di effetti non espressi in termini di scala macrosismica.

Il lavoro presenta le soluzioni adottate e la descrizione dell'interfaccia web attraverso la quale il database viene reso disponibile al pubblico (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>).

## Introduzione

Il database macrosismico utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004) è costituito da due porzioni (Tab.1):

- i) la prima, fino al 1980, è derivata integralmente dal database utilizzato per la compilazione del catalogo CPTI99 (Gruppo di Lavoro CPTI, 1999). In particolare contiene 697 studi derivati da DOM4.1 (DOM; Monachesi e Stucchi, 1997) e 271 studi derivati dal database CFTI nella sua versione 2 (Boschi et al., 1997).
- ii) la seconda, dal 1981 al 2002, è stata compilata ex novo assemblando gli studi che sono stati selezionati per la compilazione della medesima finestra cronologica del nuovo catalogo. Questi studi derivano dal Bollettino Macrosismico ING (BMING; 29 terremoti), da DOM4.1 (6 terremoti), dalla versione 3 di CFTI (Boschi et al., 2000; 5 terremoti) e dall'Archivio Macrosismico INGV (INGVAM; 33 rilievi macrosismici diretti, di cui 20 contenuti nel Catalogo Macrosismico dei Terremoti Etnei; Azzaro et al., 2000 e 2002).

Il database DOM4.1 contiene i dati macrosismici, provenienti da studi GNDDT e di altri enti, che sono stati utilizzati per la compilazione del catalogo parametrico NT4.1 (Camassi e Stucchi, 1997). Per la sua descrizione e per la

Provenienza	fino al 1980		1980-2002		Totale	
	Numero osservazioni	Numero terremoti	Numero osservazioni	Numero terremoti	Numero osservazioni	Numero terremoti
DOM	19808	697	2470	6	22278	703
CFTI	22710	271	3046	5	25756	276
BMING			7873	29	7873	29
INGVAM			2239	33	2239	33
<b>Totale</b>	<b>42518</b>	<b>968</b>	<b>15628</b>	<b>73</b>	<b>58146</b>	<b>1041</b>

**Tabella 1** Numero di osservazioni e di terremoti in DBMI04 suddivisi per provenienza.  
**Table 1** Number of macroseismic observations and earthquakes in DBMI04 by original dataset.

definizione dei criteri generali della sua compilazione si rimanda al sito web relativo (<http://emidius.mi.ingv.it/DOM/>).

La banca dati CFTI, utilizzata nelle sue versioni più recenti (Boschi et al., 1997 e, limitatamente agli eventi post 1980, Boschi et al., 2000), è costituita da studi dei terremoti più forti, con diverso livello di approfondimento ed è disponibile su CD-Rom e, nella versione 3.1, via Internet (<http://storing.ingv.it/cft/>). Il Bollettino Macrosismico ING è disponibile, in formato cartaceo, dal 1980 al 2000.

Nel catalogo CPTI04 è stato convenzionalmente deciso di codificare gli studi utilizzati per la determinazione dei parametri con la sigla del database di riferimento: rispettivamente “DOM” per il database DOM4.1 e “CFTI” per la versione 2 del database CFTI. Tale codifica viene riportata in DBMI04 tramite il parametro Rt e vengono forniti anche i codici bibliografici degli elaborati di riferimento (parametro Rt1), con le corrispondenze riportate in App.1.

DBMI04 contiene 58146 osservazioni macrosismiche riferite a 14161 località (Tab.2). Queste osservazioni sono relative a 1041 terremoti dei 2550 presenti in CPTI04.

	Totale	Italia	Estero
Osservazioni	<b>58146</b>	55986	2160
Località	<b>14161</b>	12943	1218

**Tabella 2** Numero totale di osservazioni e località in DBMI04.

**Table 2** Total number of observations and places in DBMI04.

Per il terremoto del 15/07/1996, CPTI04 utilizza i dati di intensità provenienti dal database SISFRANCE (SisFrance, 2002; <http://www.sisfrance.net/>). Per ragioni di proprietà dei dati, le osservazioni relative a questo terremoto non sono contenute in DBMI04.

## 1. La compilazione del database

La compilazione di un database orientato a un'utenza generale richiede l'adozione di compromessi fra l'esigenza di non appiattare l'originalità delle informazioni macrosismiche e quella di fornire un prodotto omogeneo gestibile per via informatica.

I maggiori problemi provengono dal fatto che gli studi disponibili sono disomogenei quanto a: i) scale d'intensità e convenzioni utilizzate; ii) riferimenti geografici.

Di seguito si accenna ad alcune operazioni eseguite a questo scopo sui dati originali, comunque conservati e resi disponibili nel database.

### 1.1. Problemi relativi all'intensità macrosismica

La maggior parte dei dati provenienti da studi italiani è espressa in termini di scala MCS; questo fatto garantisce una buona omogeneità del database anche se lascia aperto – in prospettiva – qualche problema nella gestione dei dati di terremoti in area di confine, dato che nelle nazioni confinanti sono in uso scale macrosismiche diverse dalla MCS.

Il problema principale in questo settore deriva dall'esigenza dell'utente di disporre di valori numerici di intensità che possano servi-

re da input per calcoli di varia natura nei quali, generalmente, l'intensità è trattata come numero reale contro la sua natura di numero intero classificato in modo ordinale.

Per questo motivo, tra l'altro, vi è stata in passato - e permane ancora - una tendenza a forzare l'interpretazione delle notizie storiche in termini di intensità macrosismica, anche quando la notizia stessa non lo consente oppure non fornisce informazioni coerenti con la natura statistica dell'intensità macrosismica (es.: informazioni riferite a edifici singoli, inseriti o meno in un tessuto urbano, informazioni riferite a territori estesi, effetti sull'ambiente, ecc.).

Allo scopo di garantire un compromesso ragionevole fra dati disponibili e significato intrinseco delle scale di intensità macrosismica sono state utilizzate:

- convenzioni per la gestione di alcuni tipi di dati di intensità;
- classificazioni alfanumeriche di alcune tipologie di effetti.

Le soluzioni adottate sono presentate in App.2. Alcuni casi particolari sono presentati in App.3.

## 1.2. Problemi relativi al riferimento geografico

Per poter gestire in modo efficace il database e le relative interrogazioni è necessario riferire i dati geografici, ovvero denominazione e coordinate delle località, ad un sistema di riferimento unico. Questa operazione richiede l'adozione di una "authority" di riferimento e consiste nella identificazione, all'interno di essa, della località cui si riferiscono le notizie sugli effetti del terremoto che sono state utilizzate per l'assegnazione dell'intensità macrosismica.

L'identificazione della località cui vanno riferiti gli effetti del terremoto presenta difficoltà che possono essere all'origine di errori anche molto significativi. Questi errori, in particolare, possono derivare dal fatto che a volte la località è citata nella fonte in modo impreciso (corruzione della denominazione, imprecisione dei riferimenti, ecc.), e/o da altri problemi di tipo storico-geografico.

Le principali cause di potenziali errori riguardano:

- casi di omonimia o semi-omonimia fra denominazioni attuali o precedenti;
- località non più esistenti, e fra queste:

- località definitivamente scomparse;
- località riedificate altrove con denominazione identica, simile o diversa dalla precedente;
- variazioni della denominazione nel corso del tempo;
- notizie riferite a denominazioni che corrispondono ad "agglomerati multipli", oppure ad aree generiche, senza che sia possibile identificare al loro interno una località precisa;
- notizie riferite a denominazioni che possono individuare sia una località, sia un'area.

La soluzione dei problemi citati è ovviamente legata alla qualità della ricerca, anche se è da mettere in conto che, in alcuni casi, le notizie disponibili possono essere tali da non consentire comunque un riconoscimento univoco.

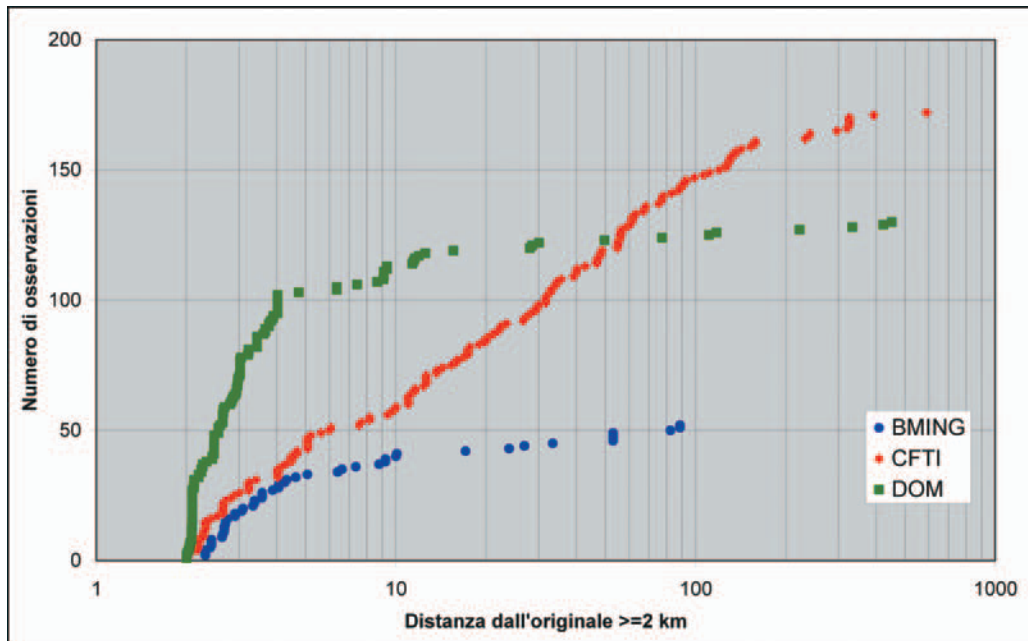
In generale il riconoscimento della località dovrebbe far parte dell'indagine storica e lo studio dovrebbe contenere una sezione dedicata a chiarire questi aspetti. La letteratura storico-sismologica è molto ricca di episodi, aneddoti e soprattutto di raccomandazioni, *guidelines* ecc.; tuttavia gli aspetti legati al riconoscimento delle località sono trattati in modo trasparente solo in pochi casi (si veda ad esempio Meletti et al., 1988).

Per quanto riguarda il riferimento geografico, la maggior parte dei dati di origine italiana utilizza in prima istanza il "Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane" (ENEL, 1978), ovvero versioni derivate da esso per correzioni o integrazioni (SGA, 2002; Ercolani, 2004).

Nonostante questa base di partenza comune, la diversità delle versioni in uso ai gruppi che hanno rilasciato i dataset che sono confluiti in DBMI04 ha richiesto la compilazione di un riferimento unificato, denominato DIR04, che viene descritto in App.4.

La confluenza di questi distinti database ha richiesto una verifica di coerenza dei dati, che ha portato a un notevole numero di variazioni nelle coordinate e nella denominazione delle località. In alcuni casi di incertezza fra località molto prossime è stato adottato il criterio di appoggiare l'informazione alle località la cui storia sismica appariva più ricca.

Questa fase di verifica ha portato anche alla individuazione di 40 casi di osservazioni duplicate nello stesso terremoto. In questi casi si è deciso, seguendo un criterio conservativo, di mantenere soltanto l'osservazione con intensità più elevata. Come conseguenza per 22 terremoti il numero di osser-



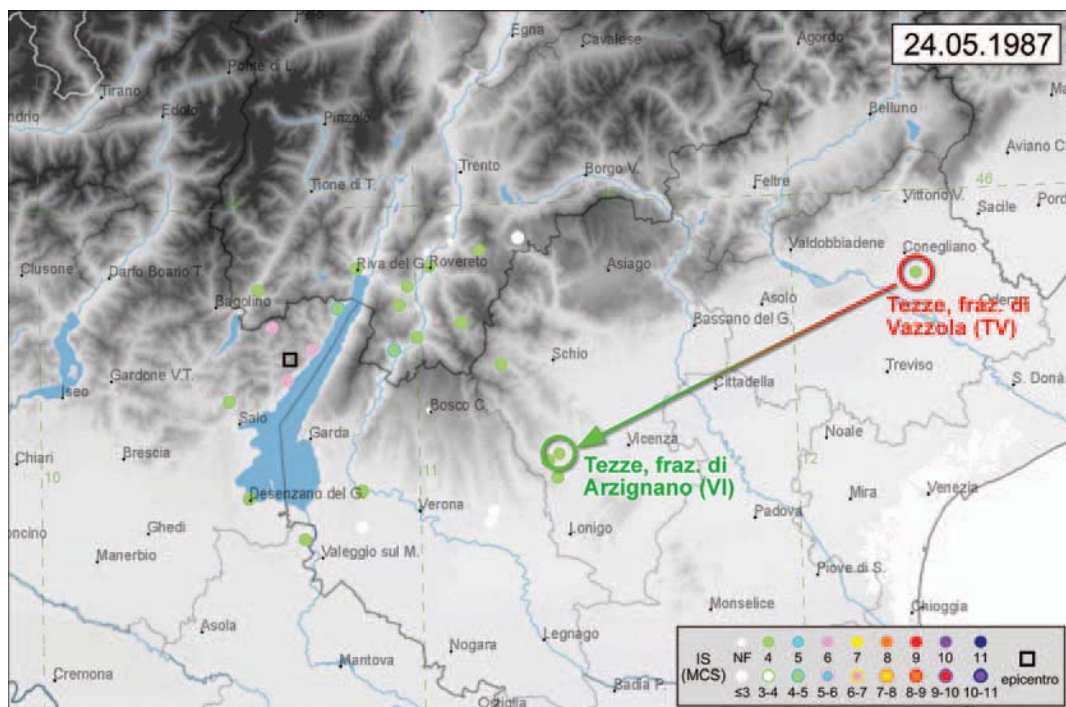
**Figura 1** Spostamenti  $\geq 2$  km conseguenti alla omogeneizzazione dei database di partenza.  
**Figure 1** Displacements  $\geq 2$  km resulting from the merging of the input datasets.

vazioni macrosismiche contenute in DBMI04 è inferiore a quello riportato da CPTI04.

Nel corso della compilazione del database si è verificato che anche per altri 24 ter-

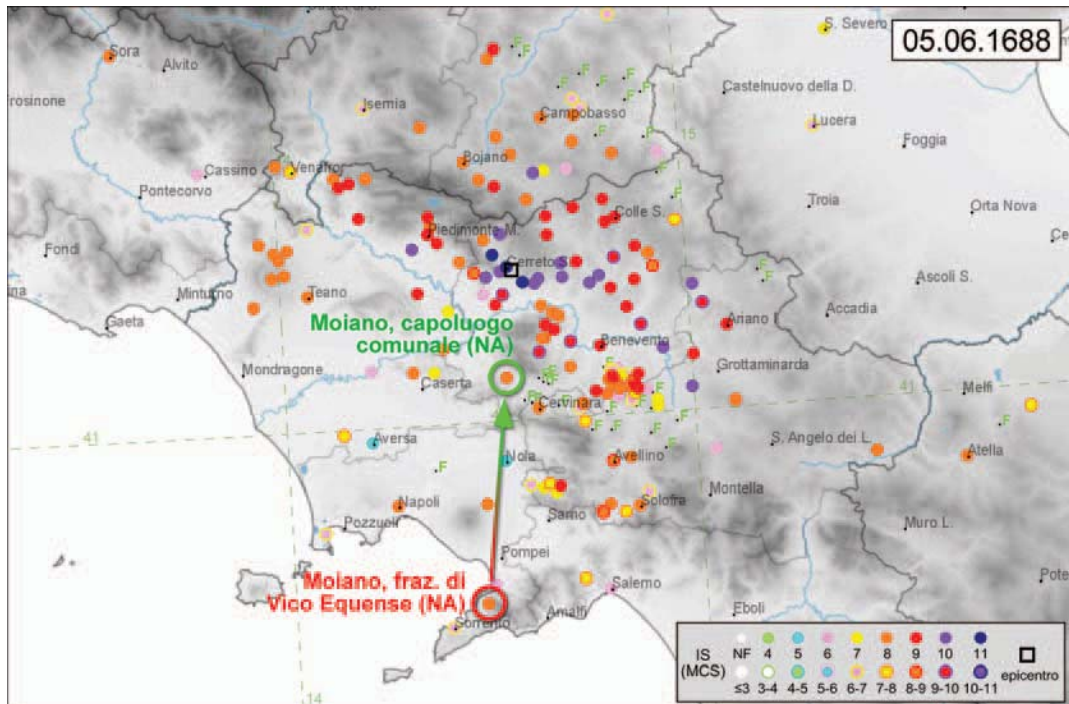
remoti il numero di osservazioni macrosismiche è leggermente diverso da quello riportato nel catalogo CPTI04.

La figura 1 mostra il numero di variazioni nelle coordinate delle località effettuate



**Figura 2** Esempio di riconoscimento errato della località associata all'osservazione macrosismica e conseguente spostamento operato nella compilazione di DBMI04.

**Figure 2** Example of wrong identification of the place associated with the observation and subsequent relocation performed in the compilation of DBMI04.



**Figura 3** Esempio di riconoscimento errato della località associata all’osservazione macrosismica e conseguente spostamento operato nella compilazione di DBMI04.

**Figure 3** Example of wrong identification of the place associated with the observation and subsequent relocation performed in the compilation of DBMI04.

rispetto alle coordinate originali e le relative distanze. Gli spostamenti al di sotto di 2 km rientrano in larga misura nell’ambito dell’arrotondamento delle coordinate, dell’errata trasformazione da sessagesimi a centesimi o comunque di adeguamento al riferimento geografico; quelli superiori riguardano soprattutto problemi di riconoscimento errato della località (Figg.2-3).

Così come per i problemi connessi con l’assegnazione dell’intensità, è stato ritenuto opportuno segnalare alcuni casi particolari connessi con la gestione degli aspetti geografici, presentati nell’App.3. Le convenzioni adottate per il trattamento delle variazioni delle denominazioni delle località nel corso del tempo e degli agglomerati multipli sono descritte in App.5.

### 1.3. Sviluppi

I dati originali confluiti in DBMI04 erano stati utilizzati in quanto tali, pur con le loro disomogeneità, per la compilazione del catalogo CPTI04, che aveva richiesto procedure di urgenza.

Tuttavia un pieno utilizzo di questi dati, sia per la determinazione dei parametri epi-

centrali dei terremoti, sia per altre elaborazioni - principalmente storie sismiche di sito, stime di pericolosità sismica basate sui dati di intensità e relazioni di attenuazione - ha richiesto che i dati avessero un livello di omogeneità il più elevato possibile. La verifica e omogeneizzazione dei dati che ha portato alla compilazione di DBMI04 è stata resa necessaria dal fatto che, come accennato sopra, gli insiemi di dati confluiti provengono da raccolte organizzate con modalità e strumenti non omogenei.

Una parte consistente dei dati di DBMI04 costituisce il nucleo della nuova versione del database in corso di realizzazione, che integrerà i nuovi dati disponibili - ad esempio l’intera versione 3 di CFTI (Boschi et al., 2000) e consentirà la realizzazione della versione aggiornata del catalogo parametrico.

Per questo obiettivo si sta anche lavorando al consolidamento di un riferimento geografico comune ai diversi gruppi di lavoro e, soprattutto, all’adeguamento a standard europei delle convenzioni relative alla gestione dei parametri geografici e dei valori di intensità macrosismica.

## 2. La consultazione di DBMI04 online

L'interfaccia web di DBMI04 è stata progettata per rendere disponibili in Internet le osservazioni macrosismiche attraverso due modalità di accesso ai dati: consultazione per terremoto e consultazione per località.

### 2.1. Consultazione per terremoto

La consultazione per terremoto permette di visionare la tabella e relativa mappa delle intensità macrosismiche osservate partendo da un qualsiasi terremoto presente in DBMI04.

Le mappe sono consultabili in modalità statica, tramite immagini in formato JPEG, oppure in modalità interattiva tramite il formato grafico SVG (Scalable Vector Graphic, <http://www.w3.org/Graphics/SVG/>). Per l'installazione del plugin SVG si faccia riferimento alla relativa guida ([http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/consultazione/help\\_svg.php](http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/consultazione/help_svg.php)).

La consultazione di un terremoto avviene tramite la lista completa dei terremoti che compare nel frame in alto a sinistra (Fig.4, punto 1). Per facilitare la ricerca è possibile riordinare la lista facendo click sull'intestazione delle colonne (Fig.4, punto 2): è possibile riordinare per data, numero di osservazioni,

intensità epicentrale e magnitudo. La selezione di un terremoto avviene facendo click sulla data (Fig.4, punto 3). È possibile visualizzare i dettagli relativi allo studio facendo click sulla relativa sigla (Fig.4, punto 4).

Una volta selezionato un terremoto, verranno visualizzate le osservazioni macrosismiche sia in mappa (Fig.4, punto A), sia formato tabellare (Fig.4, punto 5). Come per la lista dei terremoti, anche questa lista è riordinabile per nome di località e per intensità osservata. Per ulteriori elaborazioni è possibile salvare la tabella in formato MS Excel facendo click sul bottone in alto a destra (Fig.4, punto 6).

Se nel browser in uso è stato installato il plugin Adobe SVG Viewer, la mappa con la rappresentazione della intensità macrosismiche osservate è interattiva: è possibile spostarsi sulla mappa, eseguirne uno zoom e interrogare i punti d'intensità relativi al terremoto. La modalità d'interazione varia con il sistema operativo in uso (Tab.3).

Le informazioni relative ai punti d'intensità si ottengono facendo click sul punto stesso: in una finestra in pop-up (Fig.5, punto A) comparirà il nome della località, le coordinate in gradi sessadecimali e l'intensità osservata in scala MCS. È possibile ottenere la sto-

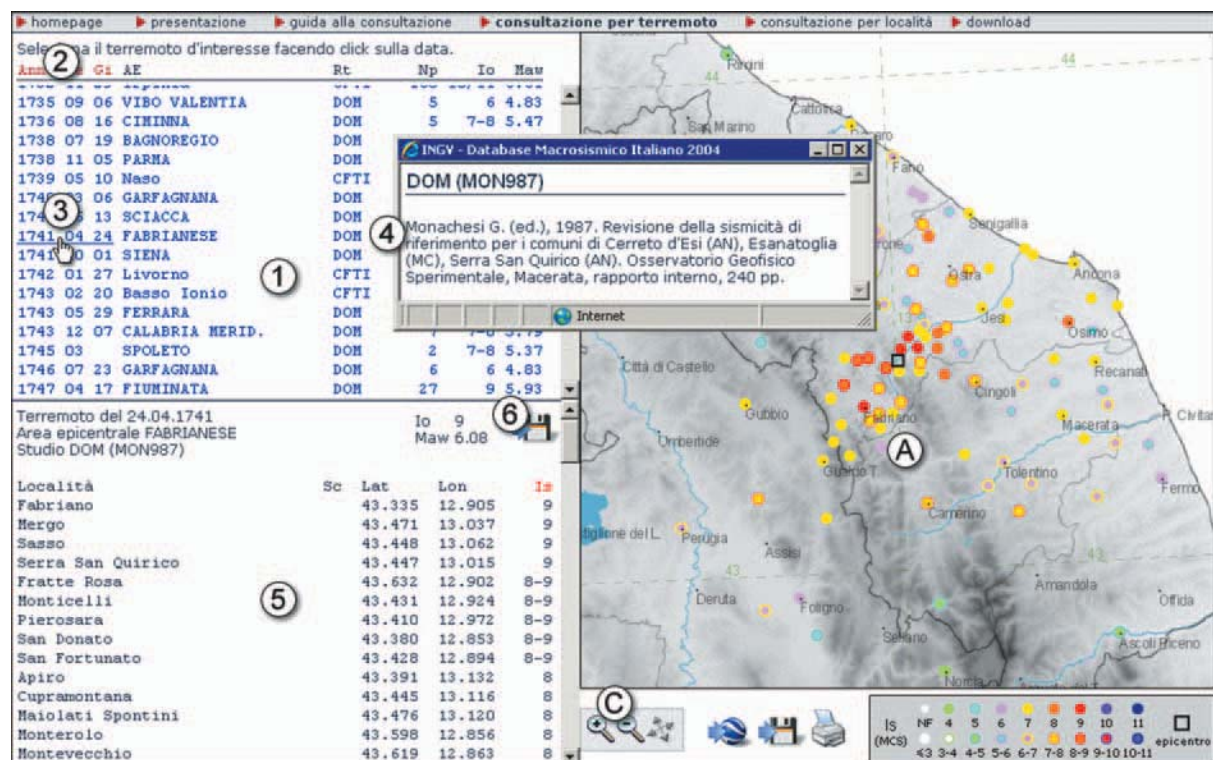


Figura 4 Consultazione per terremoto: struttura.

Figure 4 Query by earthquake: layout.

Operazione	Windows e Linux	Mac
Zoom di un'area	Tenere premuto il tasto "Ctrl" e, tenendo premuto il tasto sinistro del mouse, tracciare il rettangolo sull'area d'interesse	Tenere premuto il tasto "opzione" e, tenendo premuto il tasto del mouse, tracciare il rettangolo sull'area d'interesse
Ridurre lo zoom	Tenendo premuto contemporaneamente il tasto "Ctrl" e "Shift", fare click nel centro da cui si vuole diminuire lo zoom	Tenendo premuto contemporaneamente il tasto "opzione" e "Shift", fare click nel centro da cui si vuole diminuire lo zoom
Spostarsi sulla mappa	Tenere premuto il tasto "Alt" e trascinare la mappa tenendo premuto il tasto sinistro del mouse	Tenere premuto il tasto "Alt" e trascinare la mappa tenendo premuto il tasto sinistro del mouse

**Tabella 3** Modalità di interazione con le mappe nei diversi sistemi operativi.

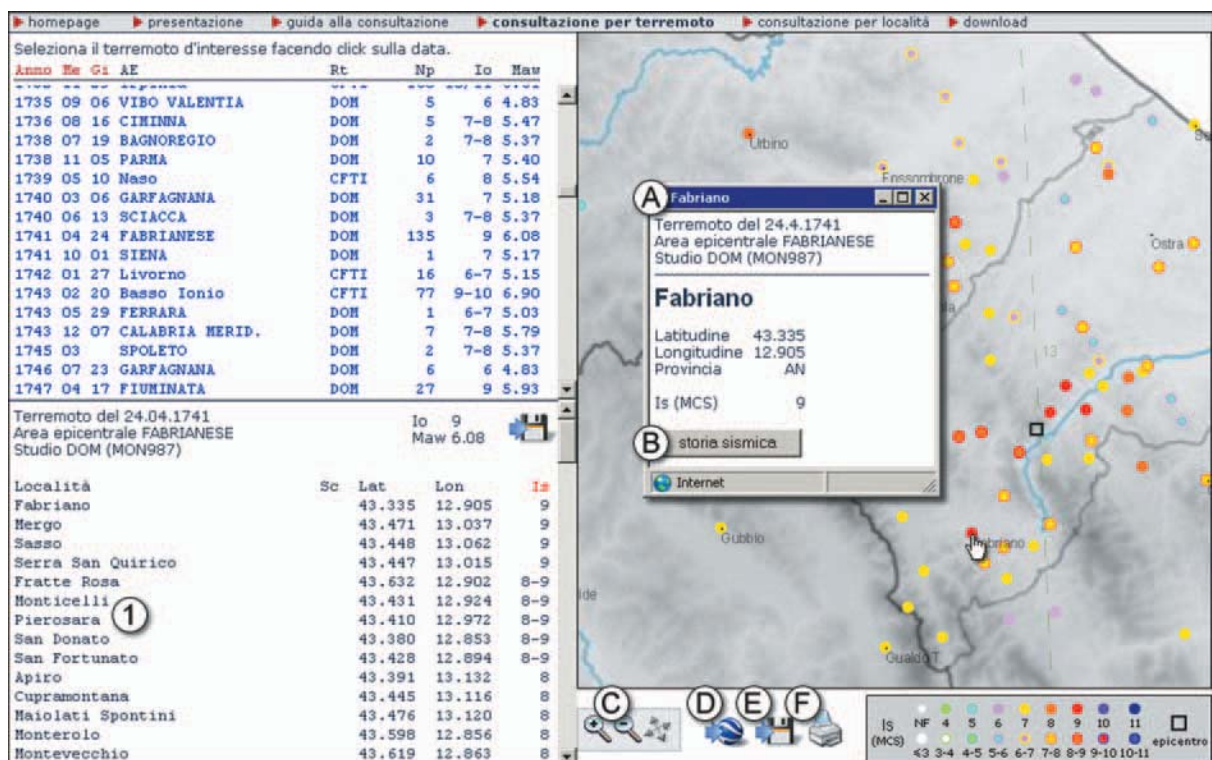
**Table 3** Interaction with the maps in the different operative systems.

ria sismica della località facendo click sul bottone in basso (Fig.5, punto B). Per individuare una località in mappa partendo dalla tabella delle osservazioni, è sufficiente fare click sul toponimo (Fig.5, punto 1)

Le modalità d'interazione con la mappa, zoom e pan, sono ricordati all'utente dai bottoni sotto la mappa (Fig.5, punto C):

saggio del mouse comparirà un'etichetta con la combinazione dei tasti da usare.

Se sul proprio computer è installato il software Google Earth (liberamente scaricabile all'indirizzo <http://earth.google.it/>), è possibile visionare la distribuzione spaziale delle intensità osservate con tale software facendo click sull'apposito bottone (Fig.5, punto D).



**Figura 5** Consultazione per terremoto: esempio di click su una località.

**Figure 5** Query by earthquake: example of click on a place.



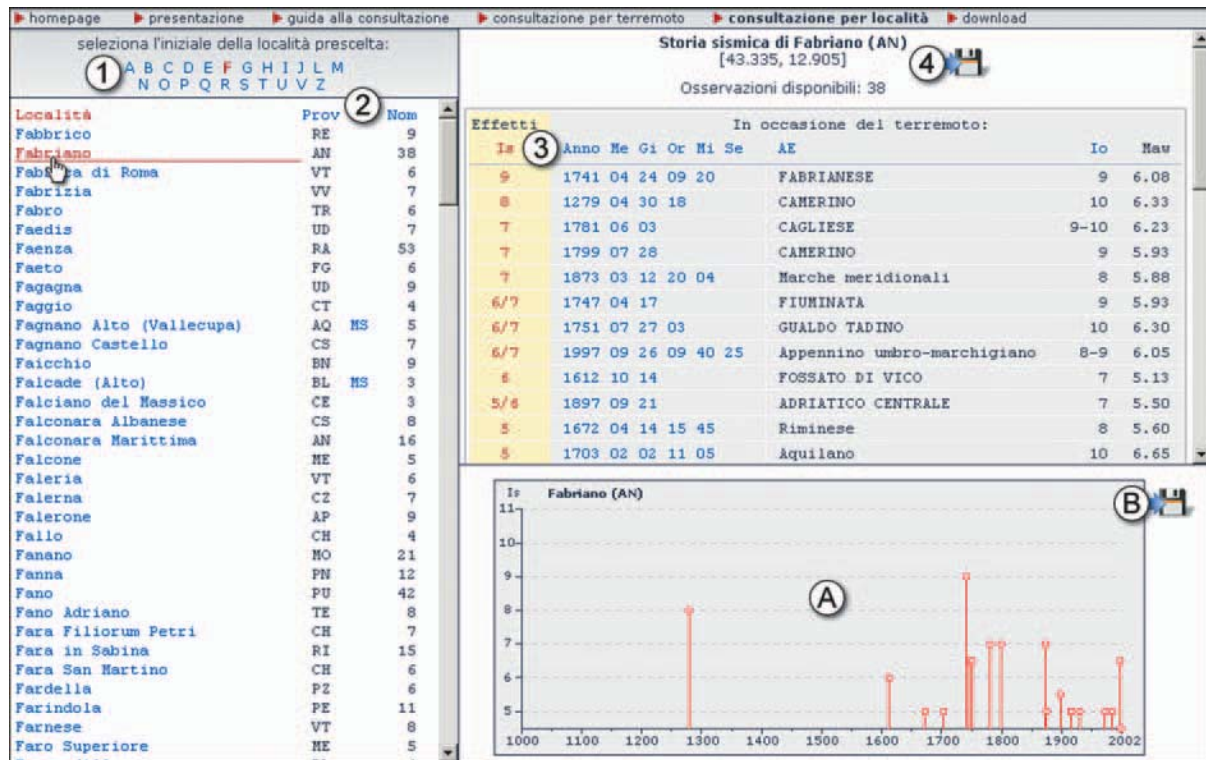


Figura 6 Consultazione per località: struttura.  
Figure 6 Query by place: layout.

È possibile infine scaricare una versione statica della mappa facendo click sull'icona del dischetto (Fig.5, punto E) e stamparla facendo click sull'icona della stampante (Fig.5, punto F).

## 2.2. Consultazione per località

La consultazione "per località", permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale). Non è possibile consultare la storia sismica delle località straniere in quanto il DBMI04 ha per queste solo informazioni parziali, essendo i terremoti in esso considerati di sola area italiana.

Per trovare la località desiderata è necessario selezionare l'iniziale (Fig.6, punto 1) e poi scorrere la lista e cliccare sul toponimo voluto. La lista delle località è ordinata alfabeticamente; è possibile riordinarla (Fig.6, punto 2) anche per numero di osservazioni o per provincia cliccando sulla corrispondente intestazione.

Al click sulla località prescelta comparirà nel frame in alto a destra l'elenco dei terremoti in cui è citata. La tabella della storia sismica è ordinata per intensità al sito e per anno; per modificare l'ordinamento è sufficiente cliccare su uno dei parametri attivi

(Fig.6, punto 3) nell'intestazione della tabella. La tabella è salvabile in formato MS Excel cliccando sul bottone in alto a destra (Fig.6, punto 4).

L'area in basso a destra è dedicata al diagramma della storia sismica (Fig.6, punto A), limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5. Anche i diagrammi sono consultabili sia in modalità statica, tramite semplici immagini in formato GIF, sia in modalità interattiva per chi ha installato il plugin Adobe SVG Viewer. In modalità interattiva verranno visualizzati i dati relativi ai terremoti al passaggio del puntatore e cliccando sui pallini verrà aperta una finestra in pop-up con la tabella delle osservazioni e relativa mappa. I diagrammi delle storie sismiche sono salvabili in formato PNG ad alta risoluzione cliccando sull'apposito bottone (Fig.6, punto B).

## 3. Formato

DBMI04 è scaricabile in formato sintetico. I parametri che costituiscono il formato sintetico del database sono i seguenti (Tab.4).

<b>Parametro</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Provenienza</b>
<b>NDBMI04</b>	Identificativo del record	
<b>NCPT104</b>	Identificativo del terremoto	CPTI04 (N)
<b>An</b>	Tempo origine: anno	CPTI04 (Anno)
<b>Me</b>	Tempo origine: mese	CPTI04
<b>Gi</b>	Tempo origine: giorno	CPTI04
<b>Or</b>	Tempo origine: ora	CPTI04
<b>Mi</b>	Tempo origine: minuti	CPTI04
<b>Se</b>	Tempo origine: secondi	CPTI04
<b>AE</b>	Denominazione dell'area dei maggiori effetti	CPTI04
<b>Rt</b>	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (compatto)	CPTI04
<b>Rt1</b>	Codice bibliografico dell'elaborato di riferimento (esplicitato)	
<b>Np</b>	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto	CPTI04
<b>Np1</b>	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto in DBMI04	
<b>Io</b>	Intensità epicentrale (MCS)	CPTI04
<b>Ix</b>	Intensità massima (MCS)	CPTI04 (Imx)
<b>LatEp</b>	Latitudine dell'epicentro	CPTI04 (Lat)
<b>LonEp</b>	Longitudine dell'epicentro	CPTI04 (Lon)
<b>Mw</b>	Magnitudo momento	CPTI04 (Maw)
<b>Daw</b>	Errore associato alla stima di Mw	CPTI04
<b>Loc</b>	Denominazione della località	DIR04
<b>Sc</b>	Casi particolari	DIR04
<b>LatIDP</b>	Latitudine	DIR04
<b>LonIDP</b>	Longitudine	DIR04
<b>Is</b>	Intensità al sito (MCS)	
<b>Cou</b>	Codice della nazione di appartenenza della località	
<b>Istat01</b>	Codice ISTAT 2001 del comune di appartenenza della località	

Parametro	Descrizione	Provenienza
Pr	Sigla della provincia di appartenenza della località	
LocOr	Denominazione della località secondo lo studio originale	Originale
LatOr	Latitudine della località secondo lo studio originale	Originale
LonOr	Longitudine della località secondo lo studio originale	Originale
IsOr	Intensità al sito secondo lo studio originale	Originale

**Tabella 4** Formato di DBMI04 come reso disponibile per il download.**Table 4** DBMI04 field structure, as available for download.

Note:

- i valori di  $I_x$  e  $I_o$ , a differenza di CPTI04, sono qui riportati in originale ovvero non moltiplicati per 10 (es: 6-7 anziché 65, 7 anziché 70);
- per 18 terremoti il valore di  $I_x$  riportato da CPTI04 è leggermente diverso dal valore massimo delle intensità osservate contenute nel database, come conseguenza della revisione dei *dataset* originali;
- per 46 terremoti  $N_p$  è leggermente diverso da  $N_{p1}$ , come conseguenza della revisione dei *dataset* originali;
- per i dati provenienti da DOM i parametri LocOr, LatOr, LonOr e IsOr sono quelli contenuti in DOM stesso e non quelli forniti dallo studio originale.

## Bibliografia

I riferimenti che seguono sono relativi solo ai lavori citati in questa presentazione. I riferimenti bibliografici degli studi dei terremoti (parametro Rt1) sono presentati in App.1.

- AA.VV. (1990). Dizionario di Toponomastica. UTET, Torino, 720 pp.
- Azzaro, R., Barbano, M.S., Antichi, B. and Rigano, R. (2000). Macro seismic catalogue of Mt. Etna earthquakes from 1832 to 1998. *Acta Vulcanol.*, 12, 3-36.
- Azzaro, R., D'Amico, S., Mostaccio, A. e Scarfì, L. (2002). Terremoti con effetti macrosismici in Sicilia orientale - Calabria meridionale nel periodo Gennaio 1999 - Dicembre 2001. *Quad. Geof.*, 27, 59 pp.
- Bollettino Macrosismico, Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 1980-2000.

- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Valensise, G. and Gasperini, P., (Editors), (2000). Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980. *Ann. Geof.*, 43, 609-868. <http://storing.ingv.it/cft/>
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Valensise, G. e Gasperini, P. (1997). Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, ING/SGA Bologna, 644 pp.
- Camassi, R. and Stucchi, M. (1997). NT4.1.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, GNDT, Milano, 95 pp. <http://emidius.mi.ingv.it/NT/>
- ENEL (1978). Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane. Computer file.
- ENEL (1985). Studi e indagini per l'accertamento della idoneità tecnica delle aree suscettibili di insediamento di impianti nucleari per le Regioni Piemonte, Lombardia e Puglia: indagini di sismica storica. Rapporti tecnici predisposti da ISMES-SGA, Roma. [riservato]
- Ercolani, E. (2004). Directory per la georeferenziazione di dati macrosismici. Bologna, settembre 2004, rapporto interno INGV, sezione di Milano, pp 14 + Allegati + CD-Rom.
- ISTAT (2005). 14° censimento della popolazione e delle abitazioni (2001) - Confini delle sezioni di censimento. File.
- Gruppo di lavoro CPTI (1999). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>
- Meletti, C., Patacca, E., Scandone, P. e Figliuolo, B. (1988). Il terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino meridionale. In: Figliuolo B.

- (ed.), Il terremoto del 1456, Napoli, I, 1, pp. 71-108.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione generale per la Difesa del Suolo (1996-2006). Portale Cartografico Nazionale. <http://www.pcn.minambiente.it/pcn/default.htm>
- Monachesi, G. e Stucchi, M. (1997). DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, GNDT, Internal report, Milano-Macerata. <http://emidius.mi.ingv.it/DOM/>
- NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) (2006). GNS-GeoNet Name Server. <http://gnswww.nga.mil/geonames/GNS/index.jsp>
- SGA (2002). Ricerche, revisioni e confronti. Terremoti storici. Rapporto tecnico finale RPT248/02, Rapporto tecnico per INGV-MI, Bologna, 214 pp. + CD-ROM.
- TCI (1980). Annuario generale dei Comuni e delle frazioni d'Italia, edizione 1980-85. Touring Club Italiano, Milano, pp. 1342.
- TCI (1993). Annuario generale dei Comuni e delle frazioni d'Italia, edizione 1993. Touring Club Italiano, Milano, pp. 1356.
- SisFrance (2002). SisFrance: histoire et caractéristiques des séismes ressentis en France métropolitaine et sur ses abords. <http://www.sis-france.net/>

## App. 1 - Elenco degli studi macrosismici

La tabella riporta il codice bibliografico degli elaborati di riferimento (parametro Rt1) utilizzati nella compilazione di DBMI04 e il loro titolo, insieme alla sigla

corrispondente utilizzata in CPTI04 (parametro Rt).

<b>Rt</b>	<b>Rt1</b>	<b>Titolo</b>
<b>DOM</b>	<b>ALA994</b>	Albini P., Bellettati D., Camassi R., Moroni A., Stucchi M. e Zerga A. (eds.), 1994. Revisione dei terremoti di interesse per il territorio della Provincia di Trento. Rapporto tecnico per la Provincia Autonoma di Trento, IRRS-CNR, Milano, 210 pp.
<b>INGVAM</b>	<b>AZA000</b>	Azzaro R., Barbano M.S., Antichi B. and Rigano R., 2000. Macro seismic catalogue of Mt. Etna earthquakes from 1832 to 1998. Acta Vulcanol., 12, 1-2, 3-36. <a href="http://www.ct.ingv.it/Sismologia/macro/default.htm">http://www.ct.ingv.it/Sismologia/macro/default.htm</a> .
<b>INGVAM</b>	<b>AZA002</b>	Azzaro R., D'Amico S., Mostaccio A. e Scarfi L., 2002. Terremoti con effetti macrosismici in Sicilia orientale - Calabria meridionale nel periodo Gennaio 1999 - Dicembre 2001. Quad. Geof., 27, 59 pp. <a href="http://www.ct.ingv.it/Sismologia/macro/default.htm">http://www.ct.ingv.it/Sismologia/macro/default.htm</a> .
<b>INGVAM</b>	<b>AZA003</b>	Azzaro R., Camassi R., D'Amico S., Mostaccio A. e Scarfi L., 2003. Il terremoto di Palermo del 6 settembre 2002: effetti macrosismici. Quad. Geof., 31, 15 pp.
<b>INGVAM</b>	<b>AZB995</b>	Azzaro R. and Barbano M.S., 1995. The Pollina (northern Sicily-Italy) earthquake of 26 June 1993: an application of the new European Macro seismic Scale 1992. Nat. Haz., 12, 289-301.
<b>DOM</b>	<b>BAA980</b>	Barbano M.S., Cosentino M., Lombardo G. and Patané G., 1980. Isoseismal maps of Calabria and Sicily earthquakes (Southern Italy). CNR-PFG, pubbl. 341, Catania, 116 pp.
<b>DOM</b>	<b>BAA986</b>	Barbano M.S., Gentile G.F. e Riggio A.M., 1986. Il terremoto dell'Alpago-Cansiglio del 18.10.1936: metodologia e problematiche legate allo studio di eventi recenti. Atti del 5° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, vol. I, pp. 47-60.
<b>DOM</b>	<b>BAA990</b>	Barbano M.S., Riggio A.M., Catalan T., Sclipa P. e Toffoli D., 1990. Revisione di alcuni terremoti dell'Italia nord-orientale nella prima metà del XX secolo. GNDT, rapporto interno, Udine, 349 pp.
<b>DOM</b>	<b>BAA996</b>	Barbano F., Azzaro R., Birritta P., Castelli V., Lo Giudice E. e Moroni A., 1996. Stato delle conoscenze sui terremoti siciliani dall'anno 1000 al 1880: schede sintetiche. GNDT, rapporto interno, Catania, 287 pp.
<b>BMING</b>	<b>BMING</b>	Bollettino Macrosismico, Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 1980-2000.
<b>DOM</b>	<b>CAA996</b>	Castelli V., Monachesi G., Moroni A. e Stucchi M. (eds.), 1996. I terremoti toscani dall'anno 1000 al 1880: schede sintetiche. GNDT, rapporto interno, Macerata-Milano, 314 pp.
<b>DOM</b>	<b>CAM994</b>	Camassi R. e Molin D. (eds.), 1994. I terremoti bolognesi del 1929. Comune di Bologna, Assessorato all'Ambiente e Territorio, Bologna, 175 pp.

<b>Rt</b>	<b>Rt1</b>	<b>Titolo</b>
<b>CFTI</b>	<b>BOA997</b>	Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P., 1997. Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990, ING e SGA Bologna, 644 pp.
<b>CFTI</b>	<b>BOA000</b>	Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. and Gasperini P. (eds.), 2000. Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980. <i>Ann. Geofis.</i> , 43, 609-868. <a href="http://storing.ingv.it/cft/">http://storing.ingv.it/cft/</a> .
<b>DOM</b>	<b>COA990</b>	Conversini P., Lolli O., Molin D., Paciello A. e Pagliacci S., 1990. Ricerche sulla sismicità storica della provincia di Perugia. Quaderni Regione dell'Umbria, Collana Sismica, Perugia, vol. 1b, 56 pp.
<b>DOM</b>	<b>COS981</b>	Cosentino P., 1981. Indagine macrosismica sul terremoto del 7 giugno 1981. In: Bollettino macrosismico. Istituto Nazionale di Geofisica, 1981, Roma.
<b>DOM</b>	<b>DLA995</b>	Di Loreto E., Liperi L., Narcisi B.M., Riguzzi F. e Tertulliani A., 1995. Terremoto del litorale romano dell'1 novembre 1895. In: Funicello R. (ed.), <i>La geologia di Roma: il centro storico</i> , Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Servizio Geologico Nazionale, Roma, vol. L, pp. 353-356.
<b>DOM</b>	<b>DOM980</b>	Dell'Olio A. e Molin D., 1980. Catalogo macrosismico del Lazio dall'anno 1000 al 1975. ENEA, rapporto interno, Roma, 143 pp.
<b>DOM</b>	<b>EIG994</b>	Eisinger U. and Gutdeutsch R., 1994. The Villach Earthquake of December 4th, 1690 in the German sources. In: Albin P. and Moroni A. (eds.), <i>Materials of the CEC project "Review of Historical Seismicity in Europe"</i> , CNR, Milano, vol. 2, pp. 133-137.
<b>DOM</b>	<b>ENL985</b>	ENEL, 1985. Studi e indagini per l'accertamento della idoneità tecnica delle aree suscettibili di insediamento di impianti nucleari per le Regioni Piemonte, Lombardia e Puglia: indagini di sismica storica. Rapporti tecnici predisposti da ISMES-SGA, Roma.
<b>DOM</b>	<b>ENL988</b>	ENEL, 1988. Ricerca di sismica storica per la Garfagnana. Rapporto interno, Pisa.
<b>DOM</b>	<b>ENL995</b>	ENEL, 1995. Ricerche sui terremoti dell'area di Latera (VT). Rapporto interno, Pisa.
<b>DOM</b>	<b>FEP982</b>	Ferrari G. e Postpischl D., 1982. Il terremoto di Valfabbrica del 17 ottobre 1982. CNR-GNDT, Pubblicazione n. 1, Bologna, 7 pp.
<b>DOM</b>	<b>FEP985</b>	Ferrari G. e Postpischl D., 1985. The Mugello earthquake of June 29, 1919. In: Postpischl D. (ed.), <i>Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes</i> , Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 2A, Roma, pp. 124-125.
<b>DOM</b>	<b>FRA988</b>	Frezzotti M., Molin D. e Narcisi B., 1988. Correlazione tra caratteri strutturali e sismicità storica dell'area di Roccamonfina. <i>Memorie della Società Geologica Italiana</i> , 41, pp. 1307-1316.

<b>Rt</b>	<b>Rt1</b>	<b>Titolo</b>
<b>DOM</b>	<b>GDTBO</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Bologna. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTCS</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Cosenza. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTCT</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Catania. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTGE</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Genova. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTMC</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Macerata. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTMI</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Milano. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTRM</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Roma. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTRD</b>	GNDT, 1984-1997. Indagini macrosismiche. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTSP</b>	GNDT, 1995. Studi preliminari di terremoti attraverso i repertori sismologici. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTTS</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Trieste. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>GDTUD</b>	GNDT, 1994. Studi di terremoti attraverso i repertori sismologici e le loro fonti, UR Udine. Archivio macrosismico del GNDT, Milano.
<b>DOM</b>	<b>HAM994</b>	Hammerl C., 1994. The earthquake of January 25th, 1348: discussion of sources. In: P. Albini and A. Moroni (eds.), Materials of the CEC project "Review of Historical Seismicity in Europe", CNR, vol. 2, Milano, pp. 225-240. [Valori di intensità assegnati dalla UR MI.].
<b>DOM</b>	<b>IAM978</b>	Iaccarino E. e Molin D. 1978. Raccolta di notizie macrosismiche dell'Italia Nord-orientale dall'anno 0 all'anno 1976. CNEN-RT/DISP (78)7, Roma, 65 pp.
<b>INGVAM</b>	<b>INGVAM</b>	Archivio Macrosismico INGV. Comprende: - INGV, Sezione di Catania, Rilievi macrosismici recenti, Catania, 1993-2002. - INGV, Sezione di Roma1, Rilievi macrosismici recenti, Roma, 1990-2000. - Gruppo di lavoro QUEST, Rilievi macrosismici recenti, 1995-2002.
<b>DOM</b>	<b>LAA994</b>	Lambert J., Moroni A. and Stucchi M., 1994. An intensity distribution for the 1564, Maritime Alps earthquake. In: Albini P. and Moroni A. (eds.), Materials of the CEC project "Review of Historical Seismicity in Europe", CNR, vol. 2, Milano, pp. 143-152.

<b>Rt</b>	<b>Rt1</b>	<b>Titolo</b>
<b>DOM</b>	<b>LOM985b</b>	Lombardo G., 1985. The Santa Maria di Licodia earthquake of May 14, 1898. In: Postpischl D. (ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 2A, Roma, pp.108-109.
<b>DOM</b>	<b>MAM983</b>	Margottini C. e Molin D., 1983. Risultati preliminari delle ricerche di sismica storica condotte nell'Appennino tosco-emiliano. ENEA, PAS-ISP BR (83)2, Roma, 120 pp.
<b>DOM</b>	<b>MAR984</b>	Margottini C., 1984. Il terremoto del 1470 a Castel di Casio. CNEN, PAS-ISP-GEOL BR (84)1, 8 pp.
<b>DOM</b>	<b>MEA988</b>	Meloni F., Molin D. e Rossi A., 1988. Indagine macrosismica sui terremoti "profondi" del 27 ottobre 1914 e 25 ottobre 1972. Atti del 7° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, vol. 1, pp. 221-236.
<b>DOM</b>	<b>MEM985</b>	Meloni F. e Molin D., 1985. I terremoti garganici del 6 dicembre 1875 e 8 dicembre 1889. Atti del 4° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, vol. 1, pp. 297-312.
<b>DOM</b>	<b>MEM987</b>	Meloni F. e Molin D., 1987. Il terremoto padano del 13 gennaio 1909. Atti del 6° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, vol. 1, pp. 269-294.
<b>DOM</b>	<b>MLA988</b>	Meletti C., Patacca E., Scandone P. e Figliuolo B., 1988. Il terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino meridionale. In: Figliuolo, B. (ed.), Il terremoto del 1456, Napoli, I, 1, pp. 71-108.
<b>DOM</b>	<b>MOA996</b>	Molin D., Mucci L. e Rossi A., 1996. Il terremoto di Avezzano del 1915. Rapporto interno, 26 pp.
<b>DOM</b>	<b>MOC992</b>	Monachesi G. e Castelli V. (eds.), 1992. Sismicità dell'area aquilano-teramana dalla analisi attraverso i cataloghi. Rapporto tecnico per la Regione Abruzzo, Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, 245 pp.
<b>DOM</b>	<b>MOL979</b>	Molin D., 1979. Il terremoto di Riva del Garda del 13 dicembre 1976. Carta delle isosisme. CNEN-RT/AMB (79) 4, 8 pp.
<b>DOM</b>	<b>MOL981</b>	Molin D., 1981. Sulla sismicità storica dei Colli Albani. CNEN, RT/AMB (81)11, Roma, 104 pp.
<b>DOM</b>	<b>MOM981</b>	Molin D. e Margottini C., 1981. Il terremoto del 1627 nella Capitanata settentrionale. In: Contributo alla caratterizzazione della sismicità del territorio italiano, Memorie presentate al Convegno annuale del PFG sul tema "Sismicità dell'Italia: stato delle conoscenze scientifiche e qualità della normativa sismica", Commissione Enea-Enel, Udine, 12-14 maggio 1981, pp. 251-279.
<b>DOM</b>	<b>MOM992</b>	Molin D. e Mucci L., 1992. Il terremoto di Senigallia del 30 Ottobre 1930. Risposta dell'area urbana di Ancona. Atti del 9° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, vol. I, pp. 31-45.
<b>DOM</b>	<b>MON987</b>	Monachesi G. (ed.), 1987. Revisione della sismicità di riferimento per i comuni di Cerreto d'Esi (AN), Esanatoglia (MC), Serra San Quirico (AN). Osservatorio Geofisico Sperimentale, Macerata, rapporto interno, 240 pp.



<b>Rt</b>	<b>Rt1</b>	<b>Titolo</b>
<b>DOM</b>	<b>MOR990</b>	Molin D. e Rossi A., 1990. Il terremoto molisano del 4 ottobre 1913. ENEA, rapporto interno, Roma, 12 pp.
<b>DOM</b>	<b>MOR994</b>	Molin D. e Rossi A., 1994. Terremoto di Roma del 22 marzo 1812: studio macrosismico. Atti del 12° Convegno Annuale del GNGTS, Roma, vol. I, pp. 279-286.
<b>DOM</b>	<b>PAI987</b>	Patané G. e Imposa S., 1987. Tentativo di applicazione di un modello reologico per l'avampaese Ibleo ed aree limitrofe. Mem. Soc. Geol. It., 38, pp. 341-359.
<b>DOM</b>	<b>PAI995</b>	Patané G. e Imposa S., 1995. Atlante delle isosiste di terremoti etnei dal 1971 al 1991. Univ. di Catania-CNR-GNGTS, Catania, 90 pp.
<b>DOM</b>	<b>POA988</b>	Porfido S., Esposito E., Luongo G. e Marturano A., 1988. I terremoti del XIX secolo dell'Appennino Campano-Lucano. Mem. Soc. Geol. It., Roma, vol. 41, II, pp. 1105-1116.
<b>DOM</b>	<b>POS990</b>	Postpischl D. (ed.), 1990. Valutazione del rischio sismico per il territorio della Repubblica di San Marino. Ist. di Topografia, Geodesia e Geofisica Mineraria, Università di Bologna, RPT/TGGM/1/90, 826 pp.
<b>DOM</b>	<b>RAA985</b>	Raccichini S., Stucchi M. and Calza W., 1985. The Castignano earthquake of October 3, 1943. In: Postpischl D. (ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 2A, Roma, pp. 144-145.
<b>DOM</b>	<b>SPA985b</b>	Spadea M.C., Vecchi M., Gardellini P. and Del Mese S., 1985. The Rieti earthquake of June 28, 1898. In: Postpischl D. (ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 2A, Roma, pp. 110-111.
<b>DOM</b>	<b>SPA985b</b>	Spadea M.C., Vecchi M., Gardellini P. and Del Mese S., 1985. The Rieti earthquake of June 28, 1898. In: Postpischl D. (ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 2A, Roma, pp. 110-111.
<b>DOM</b>	<b>SPA985c</b>	Spadea M.C., Vecchi M., Gardellini P. and Del Mese S., 1985. The Palombara Sabina earthquake of April 24, 1901. In: Postpischl D. (ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 2A, Roma, pp. 112-113.
<b>DOM</b>	<b>STA988</b>	Stucchi M. e Albini P., 1988. Studi di sismica storica. In: ISMES, Studio di sismica storica e strumentale per l'Alta Valtellina, rapporto ASP-3946/RAT-URM-009, Bergamo, pp. 1-194.
<b>DOM</b>	<b>STA993</b>	Stucchi M., Albini P. e Bellettati D. (eds.), 1993. Valutazione della attendibilità dei dati sismologici di interesse per il territorio della Regione Lombardia. Rapporto tecnico per la Regione Lombardia, IRRS-CNR, Milano, 185 pp.
<b>DOM</b>	<b>STU988</b>	Stucchi M. (ed.), 1988. Revisione della sismicità storica dell'area anconetana. Rapporto tecnico per il Comune di Ancona, Milano, 138 pp.

**Tabella 5** Elenco degli studi utilizzati per la compilazione di DBMI04 e rispettivi codici.**Table 5** List of the studies used for the compilation of DBMI04 and related codes.

**App. 2 – Convenzioni per la gestione dei valori di intensità macrosismica (Is)**

Per la gestione di alcuni tipi di dati sono state adottate le seguenti convenzioni:

i) per classificare effetti non esprimibili in termini di intensità macrosismica sono stati

adottati i seguenti codici, in parte di uso corrente e in parte introdotti ad hoc (Tab.6):

ii) alcuni codici utilizzati dai dataset confluiti sono stati tradotti come segue (Tab.7):

Codici	Descrizione	Ricorr.
<b>D</b>	danno ( <b>damage</b> ) di entità non precisabile (indicativamente $I \geq 6$ )	220
<b>F</b>	avvertito ( <b>felt</b> ): si ritiene di escludere che si siano verificati danni ( $3 \leq I \leq 5$ )	1902
<b>NC</b>	non classificato ( <b>not classified</b> ): indica una informazione non classificabile in termini di intensità ovvero con i codici utilizzati	146
<b>EE</b>	effetti sull'ambiente ( <b>environment effects</b> ), in prossimità della località cui vengono riferiti	106
<b>SW</b>	effetti marini anomali ( <b>sea waves</b> ): indica maremoto o comunque effetti anomali in mare, in prossimità della località cui vengono riferiti	5
<b>NR</b>	non segnalato ( <b>not reported</b> ): utilizzato a volte per segnalare che nelle fonti non vi è menzione di effetti per quella data località	143
<b>NF</b>	non avvertito ( <b>not felt</b> ): in presenza di segnalazione esplicita è equiparabile a $I=1$	7190
<b>RS</b>	<b>registrazione strumentale</b> : alcuni studi riportano questa informazione, non utilizzabile dal punto di vista macrosismico, che tuttavia si è preferito conservare	298

**Tabella 6** Codici utilizzati per classificare effetti non esprimibili in termini di intensità macrosismica.  
**Table 6** Codes used for classifying effects not assessable in terms of macroseismic intensity.

Codice originale e ricorrenze			Significato	Codice adottato
DOM	CFTI	Altro		
-	A (28)	-	crolli o lesioni estese a muri portanti di singoli edifici	D
-	B (10)	-	crolli limitati alla parte alta di singoli edifici	D
-	C (9)	-	crolli parziali del tetto di singoli edifici	D
-	D (10)	-	cadute di cornicioni, fessurazioni, di singoli edifici	D
-	E (13)	-	indicazione generica di danno a un singolo edificio	D
D (138)	-	D (10)	danno	D
DE (2)	-	-	distruzione (destruction)	D

Codice originale e ricorrenze			Significato	Codice adottato
DOM	CFTI	Altro		
	S (44)	-	forte risentimento, senza elementi per attribuire o escludere danni	F
F (990)	F (841)	F (7)	terremoto avvertito	F
-	-	A (20)	terremoto avvertito	F
-	G (46)	-	indicazione generica	NC
NC (35)	NC (66)	-	non classificato	NC
-	N (82)	-	riscontro negativo nelle fonti coeve	NR
NR (61)	-	-	non segnalato (not reported)	NR
-	-	1(8)	terremoto non avvertito	NF
-	-	NA (208)	terremoto non avvertito	NF
RS (230)	-	-	registrazione strumentale	RS
1(68)	-	-	registrazione strumentale	RS

**Tabella 7** Distribuzione dei casi, per bacino di provenienza, dei codici utilizzati per classificare effetti non esprimibili in termini di intensità macrosismica.

**Table 7** Distribution by original dataset of the codes used for classifying effects not assessable in terms of macroseismic intensity.

### App. 3 – Convenzioni per la gestione dei parametri geografici (Loc, Lat, Lon, Sc) e dei valori di intensità macrosimica (Is)

Sulla scorta di quanto proposto da DOM sono state affrontate alcune casistiche particolari (**special cases**), utilizzando le codifiche pro-

poste anche in ambito europeo (Tabb.8-11; Figg7-9):

SC	denominazione	significato	problema	soluzione
<b>TE</b>	Territorio (territory)	Indica un'area geografica (es. una regione), per la quale la fonte non consente di associare la notizia a una località precisa	Questi casi sono estranei alla definizione della intensità macrosimica	Non vengono attribuite le coordinate: Non viene assegnata I, bensì un codice di effetto
<b>SB/SS</b>	Edificio isolato (single building); piccolo agglomerato (small settlement)	Indicano un edificio isolato (es.: torre, faro) oppure un piccolo agglomerato (es. castello, pieve, masseria, monastero, piccola frazione, ecc.)	In questi casi l'intensità macrosimica non può essere assegnata perché il numero di edifici non è abbastanza rappresentativo	Vengono attribuite le coordinate e viene assegnato un codice di effetto
<b>MS</b>	Agglomerato multiplo (multiple settlement)	Con questo codice sono generalmente identificati in DBMI04 i "comuni sparsi" italiani, vale a dire quei comuni all'interno dei quali non è identificabile un centro ben definito. (in Italia sono circa 800)	La notizia è spesso riferita all'intero agglomerato; occorre decidere a quale località riferirla	Viene assegnata l'intensità; la notizia viene associata alla località ritenuta più rappresentativa
<b>IS</b>	Isola (island)	Situazione analoga a MS ma con riferimento a isole di media dimensione	La notizia è spesso riferita all'intera isola; occorre decidere a quale località riferirla	Viene assegnata l'intensità; la notizia viene associata alla località più rappresentativa
<b>DL</b>	Località abbandonata (deserted locality)	Indica un insediamento che a partire da una certa data è stato abbandonato definitivamente e che allo stato attuale può trovarsi nella condizione di "rovine", "ruderi" o di semplice toponimo. In qualche caso può essere stato riedificato altrove con denominazione simile o differente	A partire dalla data di abbandono definitivo la storia sismica si interrompe, per ragioni non sismiche	Occorre fare attenzione nella gestione delle storie sismiche
<b>AL</b>	Località assorbita (absorbed locality)	Indica un insediamento che progressivamente è stato incorporato in uno adiacente	A partire da una data non sempre precisabile la storia sismica si dirada o si interrompe	Occorre fare attenzione nella gestione delle storie sismiche

SC	denominazione	significato	problema	soluzione
CQ	Quartiere (city quarter)	Indica una notizia esplicitamente riferita a una parte di località, per la quale è già presente un dato di intensità riferito all'intera località	La storia sismica di questo quartiere è ovviamente poco rappresentativa	Viene definita una coppia di coordinate ad hoc. Occorre fare attenzione nella gestione delle storie sismiche

**Tabella 8** Codifiche, significato e soluzioni adottate per la gestione dei casi particolari di parametri geografici e valori di intensità.

**Table 8** Codes, meaning and solutions adopted for the management of special cases of geographical parameters and intensity values.

L'adozione per tutti i dataset confluiti delle convenzioni descritte avrebbe richiesto il controllo sistematico delle notizie; pertanto, gli autori sono consapevoli del fatto che le casistiche contenute in DBMI04 non sono complete e hanno applicato le convenzioni stesse in modo parziale. In particolare, per quanto riguarda le località classificate come territorio esteso **TE**, rispetto ai dataset confluiti sono state:

i) azzerate le coordinate, con l'eccezione dei casi EE e SW (Tab.6);

ii) convertite nei valori F, D tutte le intensità, con l'eccezione dei casi di provenienza CFTI.

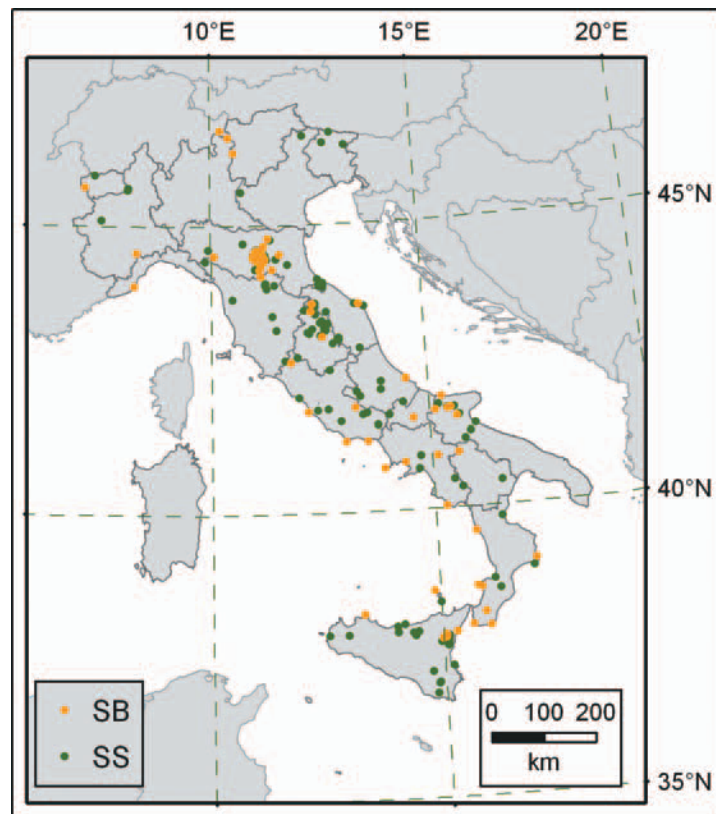
Per quanto riguarda gli edifici isolati **SB** e i piccoli insediamenti **SS** è stato deciso di non effettuare modifiche sui dati di provenienza CFTI e BMING.

Nella tabella 9 è mostrata la distribuzione dei casi particolari per bacino di provenienza.

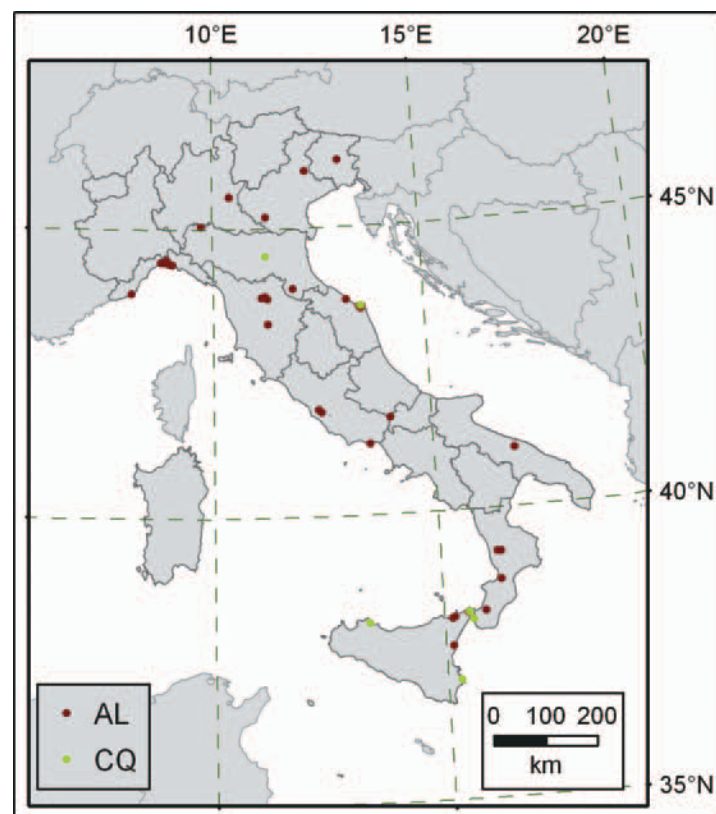
SC	Località	Osservazioni			
		Totale	DOM	CFTI	altro
TE	120	135	111	21	3
SB	451	472	20	443	9
SS	235	358	103	219	36
MS	380	1400	503	426	471
IS	6	60	25	28	7
DL	52	129	22	107	
AL	41	113	72	41	
CQ	6	11	1	10	

**Tabella 9** Distribuzione dei casi particolari per bacino di provenienza.

**Table 9** Distribution of the special cases by original dataset.



**Figura 7** Distribuzione degli edifici isolati (SB) e dei piccoli agglomerati (SS) in DBMI04.  
**Figure 7** Distribution of single buildings (SB) and small settlements (SS) in DBMI04.

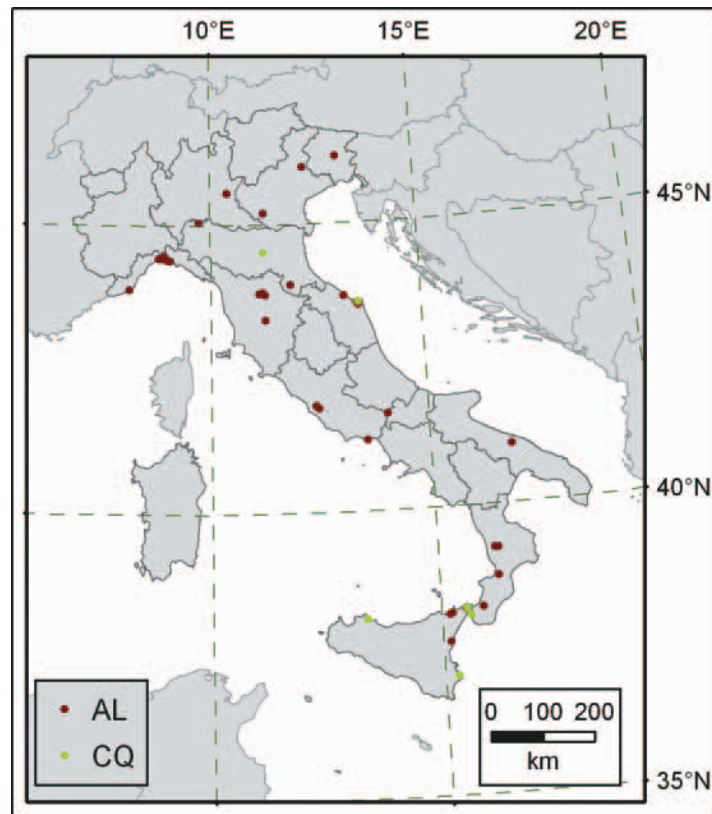


**Figura 8** Distribuzione delle località assorbite (AL) e dei quartieri (CQ) in DBMI04.  
**Figure 8** Distribution of absorbed localities (AL) and city quarters (CQ) in DBMI04.

<b>Loc</b>	<b>Sc</b>	<b>LatIDP</b>	<b>LonIDP</b>	<b>Comune</b>
Quarto	AL	43.818	11.245	Firenze
Varlungo	AL	43.768	11.301	Firenze
Bolzaneto	AL	44.460	8.901	Genova
Rivarolo Ligure	AL	44.450	8.900	Genova
Voltri	AL	44.428	8.753	Genova
Pegli	AL	44.426	8.816	Genova
Sestri Ponente	AL	44.426	8.849	Genova
Sampierdarena	AL	44.411	8.892	Genova
Nervi	AL	44.382	9.041	Genova
Oneglia	AL	43.888	8.052	Imperia
Magliana Vecchia	AL	41.827	12.418	Roma
Cecchignola	AL	41.783	12.483	Roma

**Tabella 10** Esempi di località assorbite (AL) in DBMI04.

**Table 10** Examples of absorbed localities (AL) in DBMI04.



**Figura 8** Distribuzione delle località assorbite (AL) e dei quartieri (CQ) in DBMI04.

**Figure 8** Distribution of absorbed localities (AL) and city quarters (CQ) in DBMI04.

<b>Loc</b>	<b>Sc</b>	<b>LatIDP</b>	<b>LonIDP</b>	<b>Comune</b>
Borgo Panigale	CQ	44.518	11.277	Bologna
Ancona (centro storico)	CQ	43.620	13.514	Ancona
Sbarre	CQ	38.093	15.638	Reggio di Calabria
Palermo (centro storico)	CQ	38.118	13.364	Palermo
Annunziata	CQ	38.223	15.554	Messina
Siracusa Vecchia	CQ	37.061	15.296	Siracusa

**Tabella 11** Quartieri (CQ) in DBMI04.**Table 11** City quarters (CQ) in DBMI04.

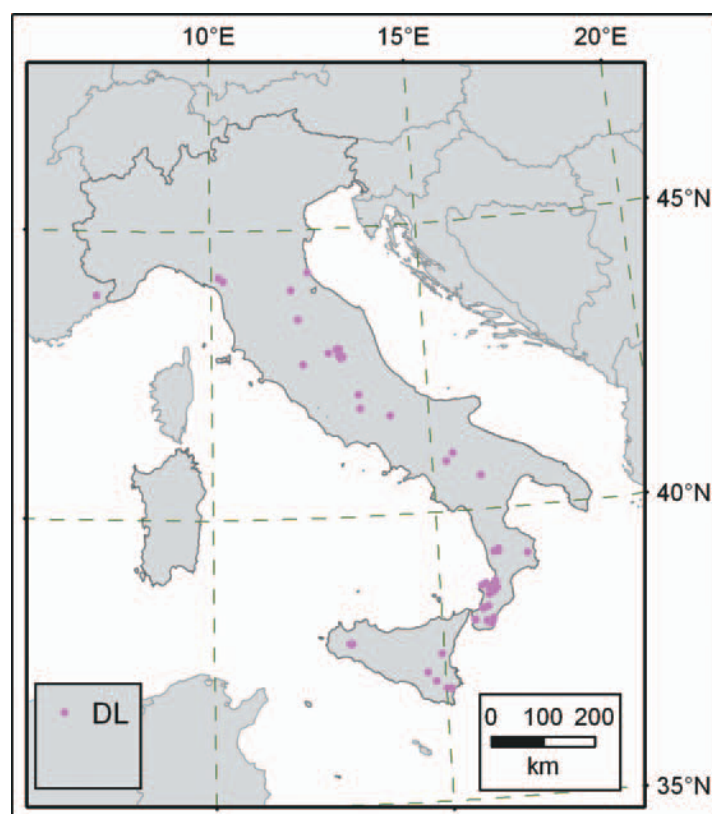
<b>Loc</b>	<b>Sc</b>	<b>LatIDP</b>	<b>LonIDP</b>	<b>Comune</b>
Casalnuovo	DL	38.055	15.993	Africo
Sinopoli Vecchio	DL	38.281	15.908	Sinopoli
Cervia Vecchia	DL	44.249	12.332	Cervia
Bergiola	DL	44.188	10.197	Minucciano
Frenfano	DL	42.73	13.054	Cascia
Argentigli	DL	42.789	13.003	Norcia
Tempio di Clitunno	DL	42.833	12.75	Spoletto
Albe Vecchia	DL	42.085	13.42	Massa d'Albe
Aquilonia Vecchia	DL	40.996	15.494	Aquilonia
Ronsa	DL	40.869	15.331	Conza della Campania
Campomaggiore Vecchio	DL	40.575	16.094	Campomaggiore
Macchisi	DL	39.291	16.344	Spezzano Piccolo
Bruzzano Vecchio	DL	38.023	16.079	Bruzzano Zeffirio
Cosoleto Vecchio	DL	38.284	15.925	Cosoleto
Africo [vecchio]	DL	38.065	15.98	Africo
Rocca di Neto [vecchia]	DL	39.185	16.993	Rocca di Neto
Mileto [vecchio]	DL	38.593	16.08	Mileto
Gibellina Vecchia	DL	37.788	12.972	Gibellina



<b>Loc</b>	<b>Sc</b>	<b>LatIDP</b>	<b>LonIDP</b>	<b>Comune</b>
Poggioreale [vecchio]	DL	37.788	13.015	Poggioreale
Salaparuta [vecchia]	DL	37.777	12.987	Salaparuta
Avola Antica	DL	36.944	15.102	Avola
Noto Antica	DL	36.94	15.023	Noto

**Tabella 12** Esempi di località abbandonate (DL) in DBMI04.

**Table 12** Examples of deserted localities (DL) in DBMI04.



**Figura 9** Distribuzione delle località abbandonate (DL) in DBMI04.

**Figure 9** Distribution of deserted localities (DL) in DBMI04.

#### App.4 - Caratteristiche del riferimento geografico DIR04

Nel corso della compilazione di DBMI04 è stato messo a punto un riferimento geografico denominato DIR04, per sottolinearne la coerenza con DBMI04. Il corpo principale di questo riferimento geografico è rappresentato dal “Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane” (ENEL, 1978; di seguito “file ENEL”). Questo repertorio, già utilizzato e integrato nel corso della compilazione di DOM e CFTI, contiene 69055 località.

DIR04 è così costituito (Tab.13; Fig.10):

- i) una versione aggiornata del file ENEL. Per le 11306 località con osservazioni macrosismiche in DBMI04 le coordinate e il toponimo sono stati verificati ed eventualmente modificati secondo i repertori geografici di riferimento (si veda nel seguito);
- ii) un insieme di località italiane non comprese nel file ENEL, costituito da 1637 località di cui 121 territori estesi (112 senza coordinate assegnate, 9 con coordinate);
- iii) un insieme di località estere, in numero di 1218.

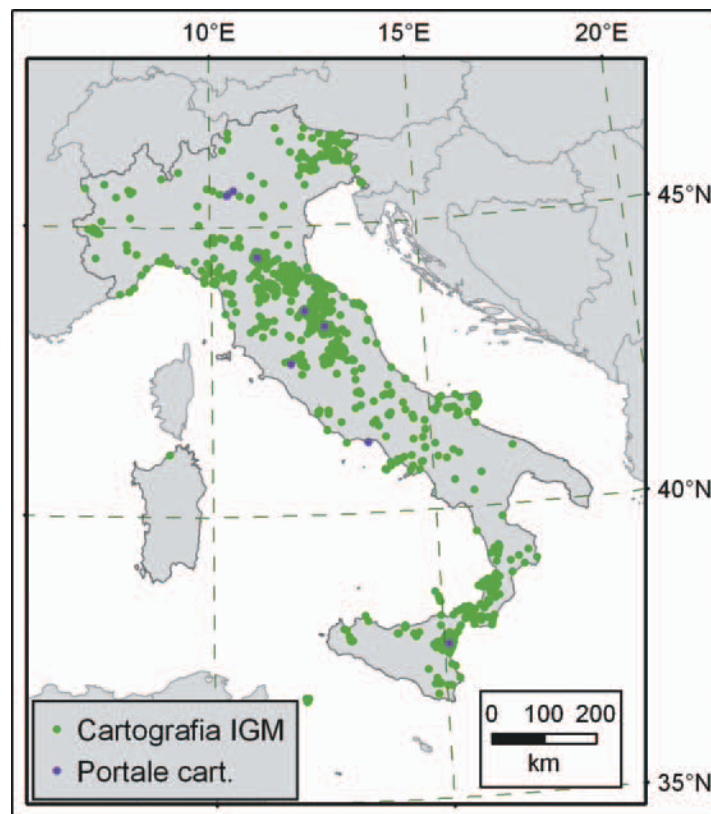
Descrizione	N. località
<b>Località italiane ENEL</b>	<b>69055</b>
di cui utilizzate	11306
e fra queste modificate	771
<b>Località italiane non ENEL</b>	<b>1637</b>
di cui territori (TE)	121
<b>Località estere</b>	<b>1218</b>

**Tabella 13** Composizione del riferimento geografico DIR04.

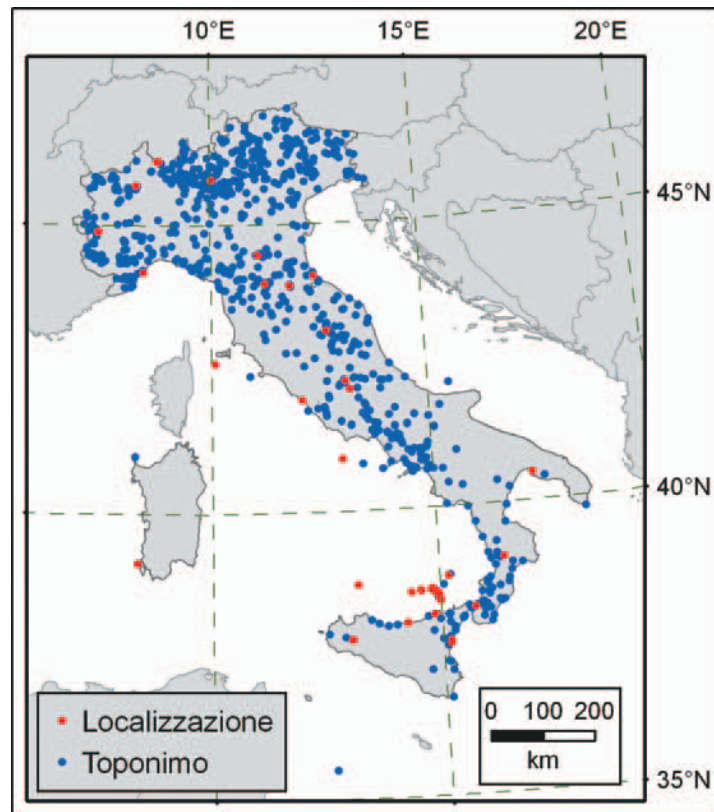
**Table 13** Composition of the geographical reference DIR04.

#### Operazioni di aggiornamento del file ENEL

- a) Le coordinate del file ENEL originale, in gradi sessagesimali, sono state convertite in gradi sessagesimali-centesimali.
- b) Le coordinate individuate come errate (ad es.



**Figura 10** Origine dei dati per le località italiane di DIR04 non provenienti dal file ENEL.  
**Figure 10** Origin of the data of Italian localities in DIR04 not coming from ENEL file.



**Figura 11** Località dal file ENEL di cui è stata modificata la localizzazione o il toponimo.  
**Figure 11** Localities from the ENEL file for which the location or the place name has been modified.

località che cadevano in mare) sono state modificate, prevalentemente sulla base del Portale Cartografico Italiano (Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, 1996-2006), oppure della cartografia IGM. Complessivamente sono state modificate 56 localizzazioni (Fig.11).

- c) Per 715 località (Fig.11) il toponimo è stato aggiornato e/o modificato secondo i repertori geografici citati al punto precedente e gli Annuari dei Comuni d’Italia (TCI, 1980 e 1993).

#### *Località italiane non presenti in ENEL*

Per queste località sono state utilizzate:

- coordinate tratte da CFTI3 (Boschi et al, 2000) per l’80% circa dei casi;
- coordinate tratte dal Portale Cartografico Italiano (Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, 1996-2006) oppure dalla cartografia IGM per il restante 20% circa dei casi.

Tutte le località italiane sono state associate al codice ISTAT aggiornato al 2001 (ISTAT, 2005) e di conseguenza al comune, alla

provincia e alla regione di appartenenza.

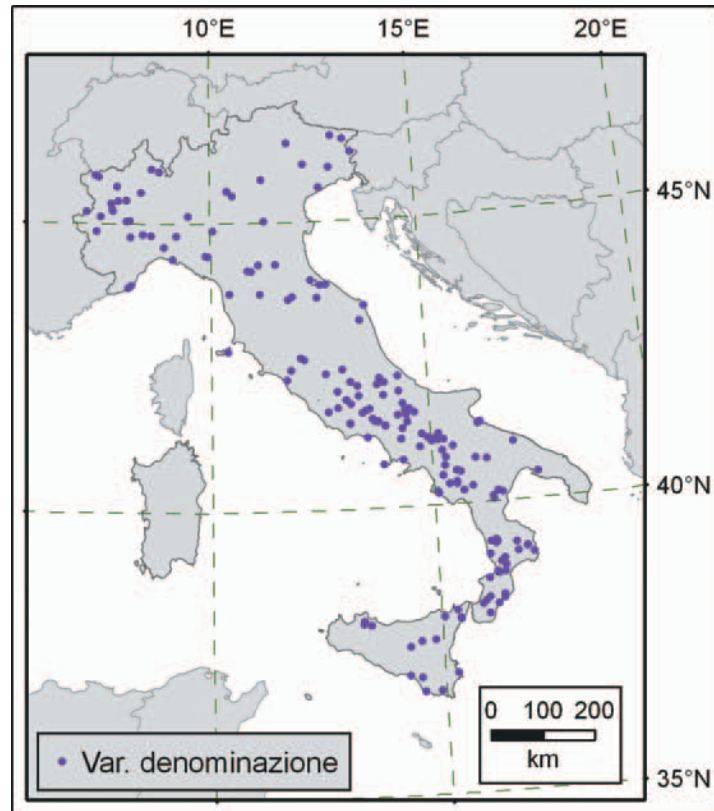
Sono state identificate variazioni di denominazione occorse nel tempo a 168 località italiane (Fig.12). In 28 casi le variazioni sono state due per la stessa località. Per 158 casi è stato anche possibile risalire all’anno di variazione del toponimo, utilizzando le informazioni degli Annuari dei Comuni d’Italia (TCI, 1980 e 1993) o del Dizionario di Toponomastica (AA.VV., 1990).

#### *Località estere*

Per queste località sono state utilizzate:

- le coordinate di CFTI3 (Boschi et al, 2000) per il 50% circa dei casi;
- le coordinate dal database online GNS-GeoNet Name Server (NGA, 2006) per il restante 50% circa dei casi.

Per quanto riguarda il sistema geografico di riferimento, i dati originali utilizzati sono di provenienza eterogenea e in alcuni casi, come il file ENEL, questo non è specificato. Da varie analisi compiute risulta tuttavia che le coordinate di DIR04 sono compatibili con il datum ED50.



**Figura 12** Distribuzione delle località italiane per le quali sono state identificate variazioni ufficiali di denominazione nel corso del tempo.

**Figure 12** Distribution of Italian localities that officially changed their name during the time.

**App. 5 – Convenzioni per la gestione delle denominazioni di località**

I problemi connessi con la variazione di denominazione delle località nel corso del tempo, con la gestione degli agglomerati multipli, degli edifici isolati e delle località abbandonate, ha richiesto l'adozione di alcune convenzioni nella compilazione del parametro Loc (denominazione della località) e delle coordinate.

*Variazioni di denominazione nel corso del tempo*

Nei casi di variazione di denominazione di una località nel corso del tempo si è convenuto di riportare la denominazione attuale della località e di indicare tra parentesi quadre il nome della località al tempo del terremoto cui si riferisce l'osservazione macrosismica (Tab.14; 109 ricorrenze).

An	Me	Gi	Or	Mi	AE	Località	LatIDP	LonIDP
1851	8	14	13	20	Basilicata	Anzano di Puglia [Anzano]	41.120	15.288
1930	7	23	0	8	Irpinia	Anzano di Puglia [Anzano degli Irpini]	41.120	15.288
1955	2	9	10	6	MONTE S. ANGELO	Anzano di Puglia	41.120	15.288
1980	11	23	18	34	Irpinia-Basilicata	Anzano di Puglia	41.120	15.288
1779	6	4	7		Bolognese	Porretta Terme [Porretta]	44.156	10.976
1864	12	11	17	40	MUGELLO	Porretta Terme [Porretta]	44.156	10.976
1864	3	15			ZOCCA	Porretta Terme [Porretta]	44.156	10.976
1875	3	17	23	51	Romagna sud-orient.	Porretta Terme [Porretta]	44.156	10.976
1920	9	7	5	55	Garfagnana	Porretta Terme [Bagni della Porretta]	44.156	10.976
1929	4	20	1	9	Bolognese	Porretta Terme [Bagni della Porretta]	44.156	10.976
1983	11	9	16	29	Parmense	Porretta Terme	44.156	10.976
1999	7	7	17	16	FRIGNANO	Porretta Terme	44.156	10.976
1688	6	5	15	30	Sannio	Savignano Irpino [Savignano]	41.228	15.181
1732	11	29	7	40	Irpinia	Savignano Irpino [Savignano]	41.228	15.181
1851	8	14	13	20	Basilicata	Savignano Irpino [Savignano]	41.228	15.181
1930	7	23	0	8	Irpinia	Savignano Irpino [Savignano di Puglia]	41.228	15.181
1962	8	21	18	19	Irpinia	Savignano Irpino [Savignano di Puglia]	41.228	15.181
1984	5	7	17	49	Appennino abruzzese	Savignano Irpino	41.228	15.181
1990	5	5	7	21	POTENTINO	Savignano Irpino	41.228	15.181

**Tabella 14** Esempi di località che hanno cambiato denominazione nel corso del tempo.**Table 14** Examples of places that changed their name in the past.

*Denominazione e coordinate degli agglomerati multipli e delle isole*

Per i casi classificati come MS (“agglomerati multipli”), che corrispondono ai “comuni sparsi”, vale a dire quei comuni composti da più centri fra i quali non ve ne è nessuno prevalente, spesso l’informazione originale non specifica a quale frazione sia riferita l’osservazione macrosismica.

In questi casi si è convenuto di riferire, nella maggior parte dei casi, l’osservazione alla frazione sede del capoluogo comunale, con le seguenti modalità:

- i) Se la frazione sede del capoluogo comunale ha una denominazione diversa da quella del comune, nel parametro “Loc” è indicata la denominazione del comune e tra parentesi la

denominazione del capoluogo comunale, al quale si riferiscono le coordinate (in totale 354 località; esempio in Tab.15);

- ii) Se la denominazione del comune coincide con quella della frazione sede del capoluogo comunale (20 località), il parametro “Loc” riporta la sola denominazione del comune senza la parte tra parentesi (Tab.16). Le coordinate sono quelle della frazione sede del capoluogo comunale.

Fanno eccezione 6 località (Tab.17), per le quali si è scelto di riferire le coordinate a una frazione diversa da quella sede del capoluogo comunale, per ragioni storiche e/o perchè ritenuta più significativa. Anche in questi casi, per la compilazione del parametro “Loc” si è scelta la convenzione riportata sopra.

Loc	SC	LatIDP	LonIDP	Comune
Baia e Latina (Baia)	MS	41.300	14.251	Baia e Latina
Rocchetta a Volturno (Rocchetta Nuova)	MS	41.623	14.088	Rocchetta a Volturno
San Felice a Canello (San Felice)	MS	41.012	14.485	San Felice a Canello

**Tabella 15** Esempi di denominazioni e coordinate di “comuni sparsi” in cui la denominazione del comune è diversa da quella della frazione sede del capoluogo comunale.

**Table 15** Examples of place names and coordinates of multiple settlements with different names from the main locality.

Loc	SC	LatIDP	LonIDP	Comune
Luserna San Giovanni	MS	44.808	7.245	Luserna San Giovanni
Nanto	MS	45.434	11.578	Nanto
Chies d’Alpago	MS	46.164	12.393	Chies d’Alpago
San Vendemiano	MS	45.892	12.334	San Vendemiano
Bagnaria Arsa	MS	45.883	13.285	Bagnaria Arsa
Prato Carnico	MS	46.520	12.809	Prato Carnico
Socchieve	MS	46.398	12.851	Socchieve
Tavagnacco	MS	46.126	13.215	Tavagnacco
San Canzian d’Isonzo	MS	45.797	13.465	San Canzian d’Isonzo
Orero	MS	44.409	9.267	Orero
Beverino	MS	44.198	9.785	Beverino

Loc	SC	LatIDP	LonIDP	Comune
Galliera	MS	44.751	11.393	Galliera
Granaglione	MS	44.116	10.959	Granaglione
Monte San Pietro	MS	44.438	11.136	Monte San Pietro
Sala Bolognese	MS	44.613	11.256	Sala Bolognese
Bagno di Romagna	MS	43.834	11.960	Bagno di Romagna
Tresana	MS	44.255	9.915	Tresana
Civitella in Val di Chiana	MS	43.418	11.723	Civitella in Val di Chiana
Greccio	MS	42.444	12.753	Tavagnacco
Galluccio	MS	41.352	13.955	Galluccio

**Tabella 16** Denominazioni e coordinate dei “comuni sparsi” in cui la denominazione del comune è uguale da quella della frazione sede del capoluogo comunale.

**Table 16** Place names and coordinates of the multiple settlements with the same name as the main locality.

Anche per le isole in molti casi l’informazione originale non specifica a quale località dell’isola è riferita l’osservazione macrosismica. Per questi casi (4 località in totale), classifi-

cati come IS, si è convenuto di adottare la denominazione dell’isola e tra parentesi la denominazione della località alla quale si riferiscono le coordinate (Tab.18).

Loc	SC	LatIDP	LonIDP	Comune	Capoluogo
Saint-Rhémy-en-Bosses (Saint-Rhémy)	MS	45.836	7.182	Saint-Rhémy-en-Bosses	Saint-Léonard
Tremosine (Vesio)	MS	45.792	10.745	Tremosine	Pieve
Prato Carnico	MS	46.520	12.809	Prato Carnico	Pieria
Bagno di Romagna	MS	43.834	11.960	Bagno di Romagna	S. Piero in Bagno
Broccostella (Brocco)	MS	41.709	13.645	Broccostella	Madonna della Stella
Pietradefusi (Pietra)	MS	41.043	14.884	Pietradefusi	S. Elena Irpina

**Tabella 17** Denominazioni degli agglomerati multipli per i quali si è scelta una località diversa da quella del capoluogo comunale.

**Table 17** Place names of the multiple settlements for which a locality different from the main one has been adopted.

Loc	SC	LatIDP	LonIDP	Comune
Panarea (San Pietro)	IS	38.637	15.077	Lipari
Stromboli (San Vincenzo)	IS	38.806	15.235	Lipari
Asinara (Fornelli)	IS	40.994	8.237	Porto Torres
Vulcano (Porto di Levante)	IS	38.416	14.959	Lipari

**Tabella 18** Denominazioni e coordinate della località adottata per rappresentare alcune isole.**Table 18** Place names and coordinates of the localities adopted to represent some islands.

*Località abbandonate e riedificate con lo stesso nome*

In 18 casi, insediamenti abbandonati definitivamente sono stati riedificati altrove, anche

a poca distanza, ma hanno mantenuto la denominazione precedente. In 11 di questi casi il toponimo attuale comprende la dicitura “vecchio”; per i restanti 7 tale dicitura è stata aggiunta tra parentesi quadre (Tab.19).

Loc	SC	LatIDP	LonIDP
Africo [vecchio]	DL	38.065	15.980
Bianco [vecchio]	DL	38.095	16.118
Giarratana [vecchia]	DL	37.078	14.803
Mileto [vecchio]	DL	38.593	16.080
Poggioreale [vecchio]	DL	37.788	13.015
Rocca di Neto [vecchia]	DL	39.185	16.993
Salaparuta [vecchia]	DL	37.777	12.987
Albe Vecchia	DL	42.085	13.420
Aquilonia Vecchia	DL	40.996	15.494
Briatico Vecchio	DL	38.707	16.023
Bruzzano Vecchio	DL	38.023	16.079
Campomaggiore Vecchio	DL	40.575	16.094
Cervia Vecchia	DL	44.249	12.332
Cosoleto Vecchio	DL	38.284	15.925
Gibellina Vecchia	DL	37.788	12.972
Morino Vecchio	DL	41.850	13.433
San Leo Vecchio	DL	38.711	16.020
Sinopoli Vecchio	DL	38.281	15.908

**Tabella 19** Denominazioni in DBMI04 di località abbandonate e riedificate altrove.**Table 19** Place names in DBMI04 of localities which were deserted and rebuilt somewhere else.



*Denominazione di edifici isolati*

In 22 casi, in cui l'osservazione macrosismica è riferita a edifici isolati all'interno di località o aree con lo stesso nome, la tipologia di edificio è stata riportata tra parentesi quadre (ad esempio: [faro], [ospizio], [monastero], etc; Tab.20).

<b>Località</b>	<b>SC</b>	<b>LatIDP</b>	<b>LonIDP</b>
Buffalora [alpeggio]	SB	46.644	10.260
Capo Bonifati [faro]	SB	39.567	15.883
Capo Colonna [faro]	SB	39.033	17.162
Capo dell'Armi [faro]	SB	37.957	15.681
Capo Faro [faro]	SB	38.573	14.871
Capo Gallo [faro]	SB	38.218	13.312
Capo Mele [faro]	SB	43.958	8.167
Capo Palinuro [faro]	SB	40.024	15.274
Capo Sant'Andrea [faro]	SB	37.854	15.305
Capo Spartivento [faro]	SB	37.928	16.057
Capo Vaticano [faro]	SB	38.617	15.833
Fiumicino [faro]	SB	41.744	12.223
Monte Cappuccini [faro]	SB	43.600	13.500
Passo del Tonale [ospizio]	SB	46.259	10.585
Passo dello Stelvio [ospizio]	SB	46.526	10.455
Piccolo San Bernardo [ospizio]	SB	45.667	6.933
Rivotorto [santuario]	SB	43.043	12.617
San Giovanni in Venere [monastero]	SB	42.254	14.498
Santa Maria di Fuori [monastero]	SB	41.566	14.631
Sant'Agnello [monastero]	SB	41.800	13.317
Torre Cervia [faro]	SB	41.222	13.069
Torre d'Orlando [faro]	SB	41.208	13.576

**Tabella 20** Denominazioni di edifici isolati.**Table 20** Names of single buildings.



**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**  
Via di Vigna Murata, 605 - 00143 Roma - Italy  
[www.ingv.it](http://www.ingv.it)

*Desidero ringraziare, oltre alla mia famiglia, i Proff. Paolo Gasperini, Stefan Wiemer, Enzo Boschi, William Cavazza e il dott. Gianfranco Vannucci per la fiducia che mi hanno accordato e per le opportunità che mi hanno offerto. Grazie.*