

PERICOLOSITÀ SISMICA NEL VENETO ORIENTALE *

Alessandro REBEZ **, Marco SANTULIN ***, Dario SLEJKO ****

* *Articolo già pubblicato nella rivista FOIV (Federazione regionale degli Ordini degli Ingegneri del Veneto) "Ingegneri del Veneto" n. 27, dicembre 2009, pp. 29-33*

** *Geologo, Ricercatore presso l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)*

*** *Geologo, Dottorato di Ricerca in "Geomatica e Sistemi Informativi Territoriali"; Ricercatore presso l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)*

**** *Dirigente di Ricerca presso l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS)*

SOMMARIO

Vengono presentati i risultati di un progetto finanziato dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile tramite il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) finalizzato al calcolo della pericolosità sismica nella regione circostante il sito di Vittorio Veneto, nel Veneto orientale. È stato seguito l'approccio del probabilismo sismotettonico e sono state tenute in considerazione, nel calcolo, le incertezze relative alla scelta dei modelli sismici e sismotettonici utilizzati. I risultati mostrano che il settore più pericoloso dell'Italia nord-orientale è rappresentato dal Friuli, mentre l'area di Vittorio Veneto è caratterizzata da stime di scuotimento atteso del terreno superiori a quelle previste nella fascia pedemontana veneta.

INTRODUZIONE

La regione delle Alpi orientali è una delle zone italiane a sismicità più elevata (Slejko et al., 1989). Cinque terremoti di magnitudo M_S superiore a 6 sono, infatti, avvenuti nell'ultimo millennio: nel 1348 a Villach con M_S 6,4 (l'epicentro sembra localizzato nell'attuale zona di confine fra Italia e Austria), nel 1511 nella zona tra Gemona e Idria con M_S 6,2, nel 1695 ad Asolo con M_S 6,4, nel 1873 nell'Alpago con M_S 6,4 e nel 1976 a Gemona con M_S 6,5. Oltre a questi, nel 1936 un terremoto di magnitudo 5,5 ha provocato distruzioni nei paesi del Cansiglio. La Figura 1 mostra la distribuzione spaziale dei maggiori terremoti e le faglie principali rilevate nella regione. In questo contesto sismotettonico, il sito di Vittorio Veneto riveste un interesse particolare in quanto è stato colpito nel passato recente sia dal terremoto del 1873 (intensità epicentrale $I_0=IX-X$ MCS) che da quello del 1936 ($I_0=IX$ MCS).

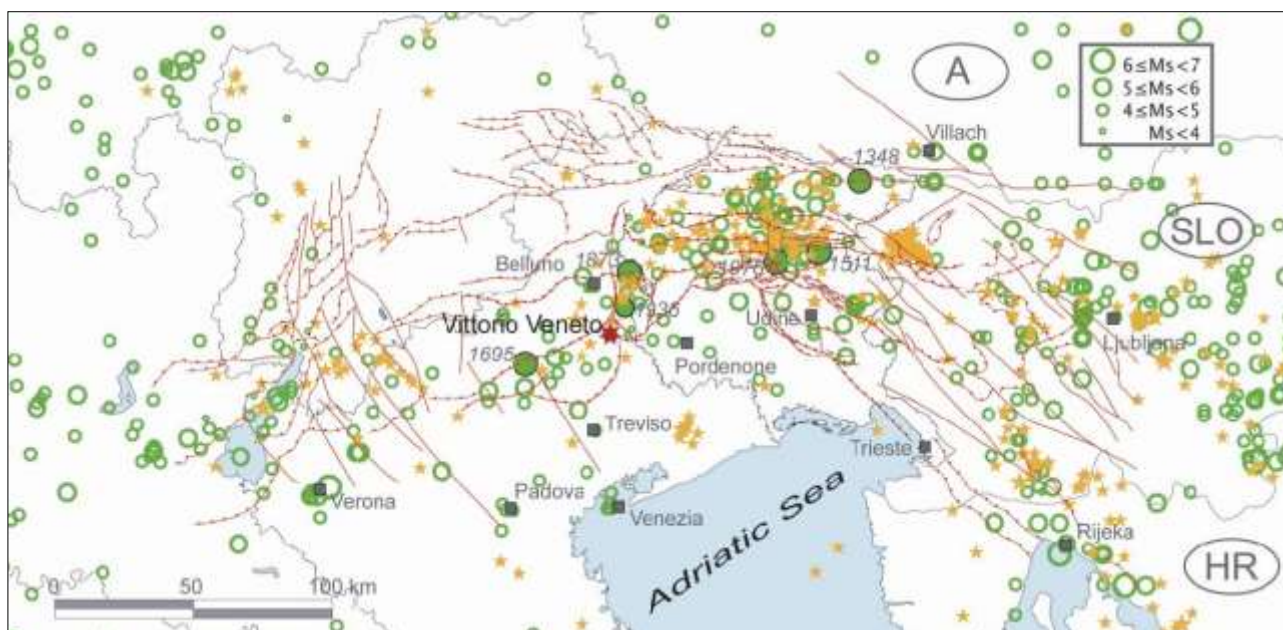


Figura 1 – Principali lineamenti tettonici dell'area studiata (in rosso), terremoti storici (in verde), terremoti strumentali recenti (in arancio). La stella rossa indica il sito campione di Vittorio Veneto

Il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile ha finanziato, tramite il GNDT, nel corso degli anni 1999 – 2003 il progetto “*Scenari di danno nell’area veneto – friulana*”, coordinato da Marcello Ruscetti dell’Università di Udine, che mirava a valutare il danno atteso a seguito di terremoti nelle province di Pordenone, Belluno e Treviso (Ruscetti, 2008). Nell’ambito di questo progetto è stato sviluppato uno studio di pericolosità sismica regionale (Slejko et al., 2008) che viene descritto nel presente lavoro.

LA PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica è definita come la probabilità di superare un fissato scuotimento del terreno in un periodo di tempo definito. Per motivi di semplicità, questa grandezza viene usualmente rappresentata dal valore del picco orizzontale di accelerazione (in inglese “*peak ground acceleration*”, abbreviato con *PGA*) che si prevede non venga superato al 90% di probabilità in 50 anni. Questo valore viene comunemente utilizzato come valore di riferimento nella progettazione antisismica degli edifici di civile abitazione.

La pericolosità sismica si calcola usualmente utilizzando l’approccio del probabilismo sismotettonico, utilizzando, cioè, le conoscenze sia geologiche che sismiche della regione studiata. In tempi recenti, è stato proposto il metodo dell’albero logico per tener nella dovuta considerazione le incertezze che intervengono nel calcolo. Entrando nei particolari, per il calcolo della pericolosità sismica è necessario definire le zone sismogenetiche nelle quali vengono generati i terremoti e caratterizzare le zone stesse dal punto di vista sismico, cioè definendo la magnitudo massima e il numero medio di terremoti annui. Il metodo dell’albero logico, poi, permette di utilizzare più ipotesi relativamente alla zonazione sismogenetica ed alla caratterizzazione della sismicità, in modo da tener conto delle diverse ipotesi disponibili sulla sismogenesi regionale.

Nel progetto GNDT “*Scenari di danno nell’area veneto - friulana*” è stata considerata come area di studio le due province venete di Treviso e Belluno e la regione Friuli - Venezia Giulia. L’estensione al Friuli - Venezia Giulia dello studio è stato motivato dal fatto che tutte le informazioni di base per il calcolo della pericolosità sismica erano in gran parte già disponibili per quella regione, in quanto acquisite nel corso di un precedente progetto finanziato dalla Protezione Civile della Regione Friuli Venezia Giulia. Per tutta l’area studiata è stata realizzata, nel corso del progetto, la carta della tipologia dei terreni, informazione di base per un corretto calcolo della pericolosità sismica alla superficie libera. Questa carta suddivide il territorio in tre tipologie di suolo: roccia, terreno rigido e terreno soffice, in base alla velocità media delle onde sismiche trasversali nei 30 metri superficiali. Si tratta di una catalogazione speditiva e piuttosto contestata negli ultimi anni, ma che trova riscontro nelle norme sismiche di moltissime nazioni, tra le quali l’Italia.

Entrando nel dettaglio del calcolo della pericolosità sismica, è stato utilizzato un albero logico composto da 54 rami per il calcolo riferito a terreno roccioso e soffice, e di 81 rami per quello riferito ad un terreno di tipo rigido (Figura 2). I diversi rami si riferiscono a 3 differenti zonazioni sismogenetiche utilizzate, a 3 metodi di calcolo dei tassi di sismicità, a 3 diversi approcci per la stima della magnitudo massima in ciascuna zona sismogenetica, e a 2 relazioni di attenuazione del moto sismico (3 per il terreno rigido).

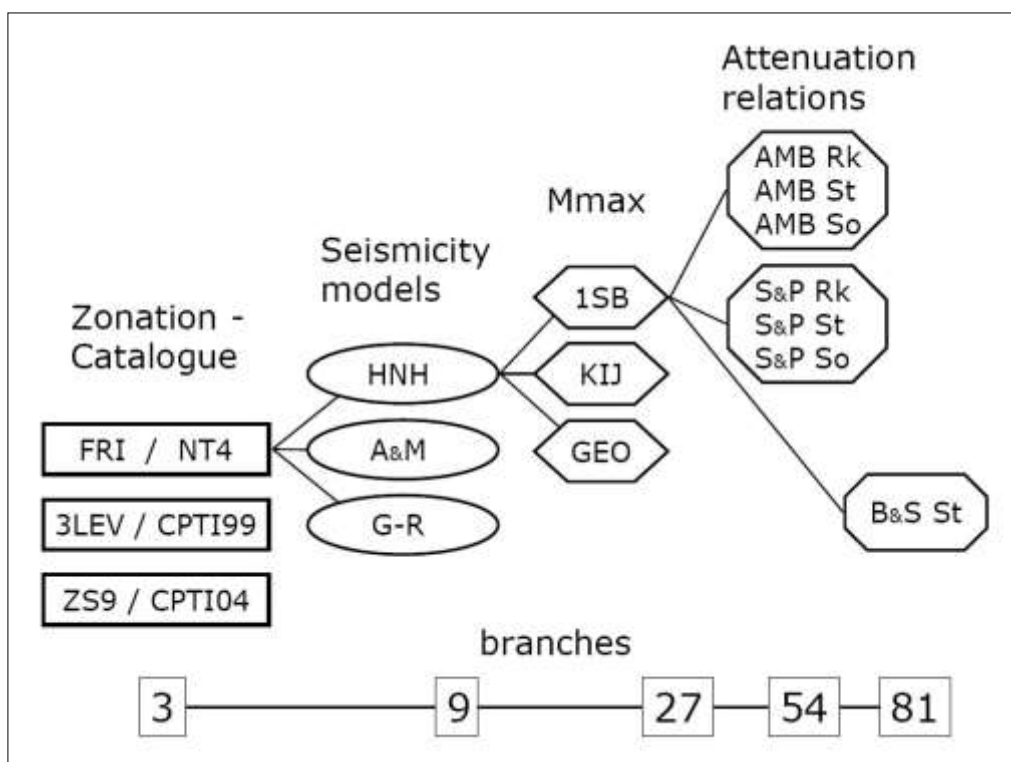


Figura 2 – Struttura dell’albero logico adottato per il calcolo della pericolosità sismica

LE ZONAZIONI SISMOGENETICHE

Il sito di Vittorio Veneto è situato nella fascia pedemontana alpina, caratterizzata da sismicità piuttosto elevata sia in epoca storica, come già citato nell'introduzione, che attualmente. La Figura 1 mostra gli epicentri dei terremoti storici e di quelli recenti. Questi ultimi risultano di numero molto inferiore rispetto a quelli avvenuti nel vicino Friuli: bisogna segnalare, però, che la sismicità friulana risente della coda del forte terremoto del 1976 e che le stazioni della rete sismometrica dell'Italia nord-orientale sono state ubicate, per un lungo periodo, esclusivamente sul territorio friulano.

Le principali strutture tettoniche nel Veneto orientale sono rappresentate da sovrascorrimenti con orientazione NE-SW, tagliati talvolta da faglie trascorrenti.

Una prima interpretazione della sismicità in chiave sismogenetica è stata presentata da Slejko et al. (1989) nell'ambito di un modello sismotettonico che interessa il territorio italiano dal lago di Garda al confine con la Slovenia.

Nell'ambito di un progetto sviluppato negli anni Novanta nell'ambito del GNDT, Meletti et al. (2000) hanno formulato un modello sismogenetico per l'Italia che consta di 80 zone sismogenetiche (ZS). Queste zone risultano omogenee sia dal punto di vista tettonico che da quello sismico. Studi successivi (Slejko e Rebez, 2002) hanno portato a complicare a livello regionale quel modello (zonazione FRI - Figura 3a) o a semplificarlo (zonazione ZS9 - Meletti and Valensise, 2004) al fine di disporre di cataloghi sufficientemente ricchi di terremoti per tutte le ZS (Figura 3b). Ambedue queste zonazioni sono state considerate nello studio qui descritto insieme ad una terza (Galadini e Poli, comunicazione personale scritta) che si basa sul concetto che i terremoti più forti si verificano in corrispondenza degli attuali fronti di deformazione (Stucchi et al., 2002), mentre la sismicità media interessa le zone circostanti i fronti stessi (zonazione 3LEV - Figura 3c). A ciascuna zonazione, inoltre, è stato associato il catalogo di terremoti su cui quella zonazione era stata costruita. Il nodo relativo alla zonazione sismogenetica comprende, pertanto, 3 rami (Figura 2), che rappresentano ipotesi diverse, anche se non completamente alternative, sulla sismogenesi dell'Italia nord-orientale.

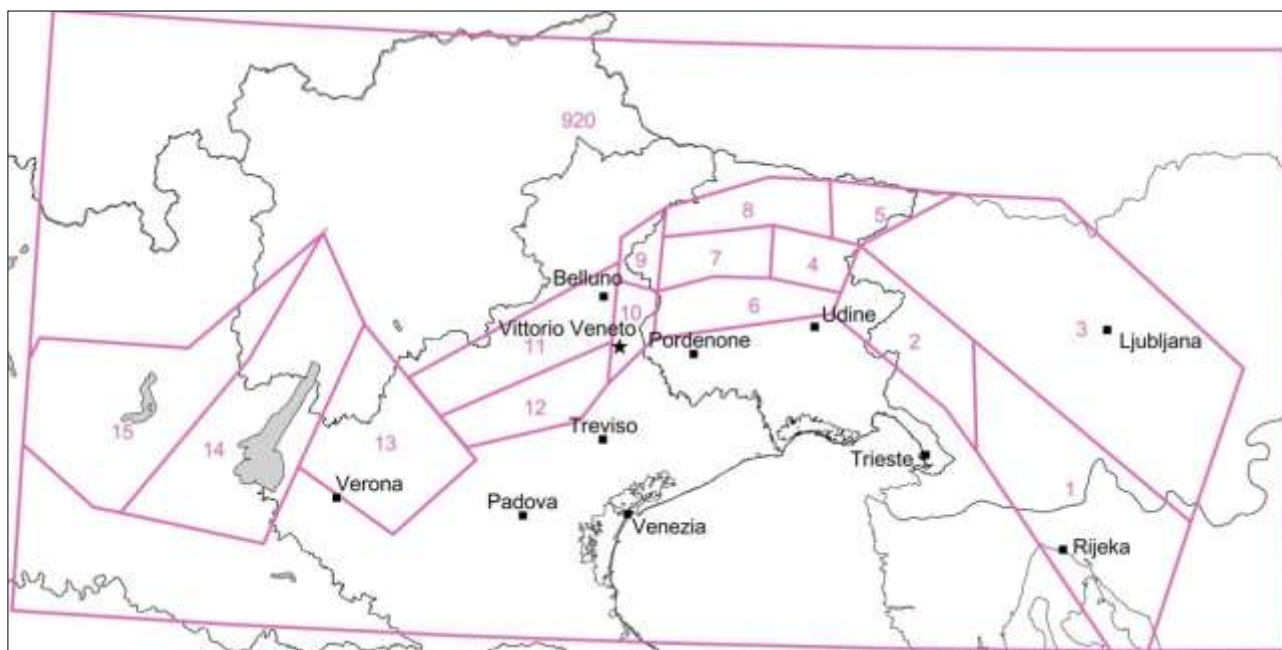


Figura 3a – Zonazioni sismogenetiche utilizzate: zonazione FRI

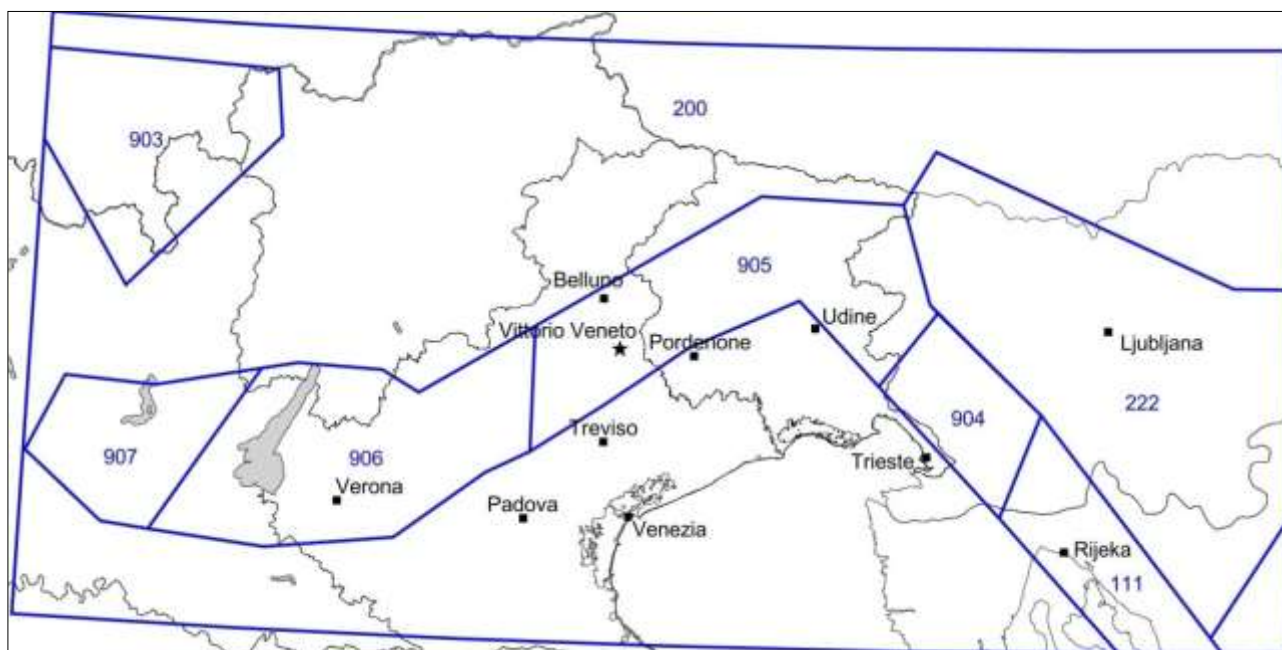


Figura 3b – Zonazioni sismogenetiche utilizzate: zonazione ZS9

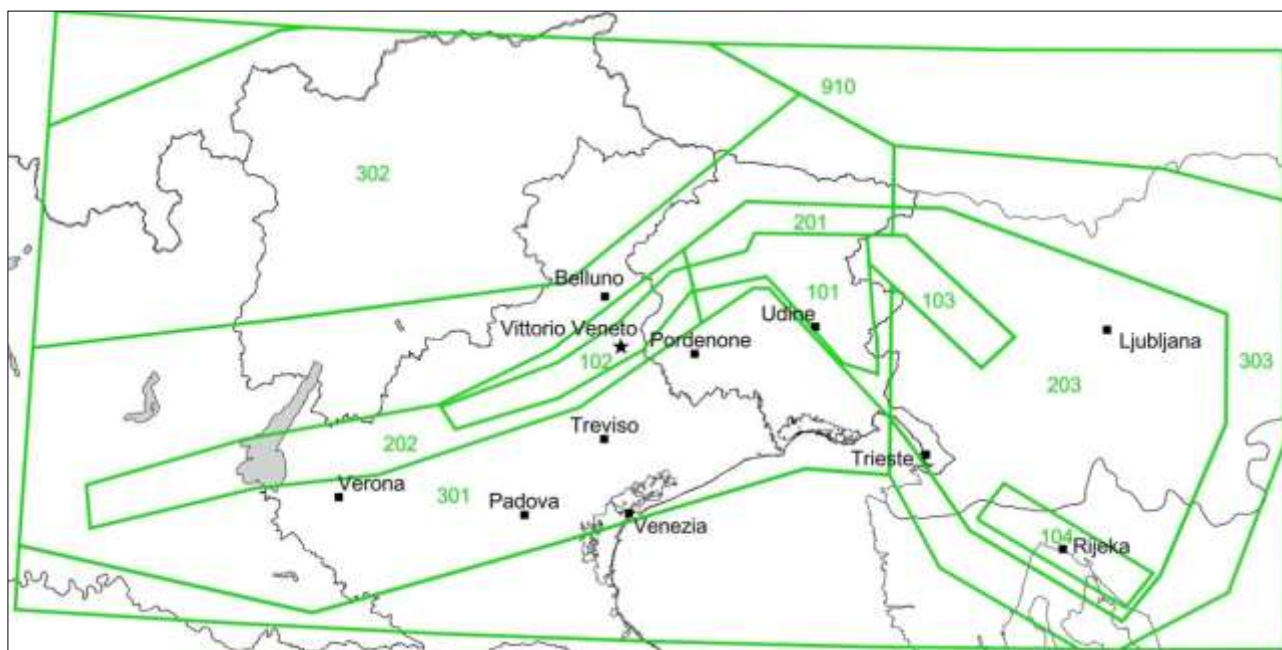


Figura 3c – Zonazioni sismogenetiche utilizzate: zonazione 3LEV

LA CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITÀ

Per ogni zona sismogenetica sono stati definiti i parametri che descrivono la sua sismicità e cioè il numero medio di terremoti nelle diverse classi di magnitudo e la magnitudo massima attesa.

Per il calcolo dei tassi di sismicità si è fatto ricorso a 2 metodologie già applicate nel calcolo della pericolosità sismica d'Italia: quella di Slejko et al. (1998) e quella di Albarello e Mucciarelli (2002). Ambedue approcci analizzano il catalogo dei terremoti, il primo per individuare il tasso di sismicità più elevato fra quelli relativi ad intervalli di tempo diversi compatibilmente con i periodi di completezza delle varie classi di magnitudo nel catalogo, e il secondo associando una probabilità di completezza a intervalli temporali via via più lunghi (a partire dal presente) sulla base della stazionarietà del numero di terremoti nel tempo. La terza metodologia si basa sull'interpolazione tramite la relazione di Gutenberg–Richter della media dei tassi ottenuti con i due precedenti approcci. Nell'albero logico, dunque, compaiono 3 rami che rappresentano i 3 metodi citati di calcolo dei tassi di sismicità (Figura 2).

La magnitudo massima delle zone sismogenetiche è stata calcolata tramite i due approcci statistici di Kijko e Graham (1998) e di Slejko et al. (1998), basati ambedue sui dati del catalogo di terremoti, e con un approccio geologico, atto a stimare la magnitudo massima dalla lunghezza delle faglie presenti nella zona sismogenetica (Wells e Coppersmith, 1994) Anche per la magnitudo massima, dunque, sono stati definiti 3 rami alternativi (Figura 2).

ATTENUAZIONE

L'utilizzo di relazioni di attenuazione del moto del suolo di carattere locale o di valenza generale è molto dibattuto in letteratura. Nel presente studio, è stato deciso di utilizzare 3 relazioni di attenuazione: una calibrata su registrazioni accelerometriche europee (Ambraseys et al., 1996), una definita sulla base di dati accelerometrici italiani (Sabetta e Pugliese, 1987) e la terza, definita nel corso del progetto qui descritto, basata su registrazioni accelerometriche e sismometriche di terremoti avvenuti nelle Alpi orientali (Bragato e Slejko, 2005). È stato possibile definire quest'ultima relazione soltanto per un terreno di tipologia rigida, in quanto le stazioni della rete sismometrica dell'Italia nord-orientale, i cui dati sono stati utilizzati per la calibrazione della relazione di attenuazione, sono genericamente ubicate sul terreno più rigido presente nel sito di interesse in funzione della geometria della rete stessa.

Il nodo relativo alle relazioni di attenuazione viene ad avere, pertanto, 2 rami nel caso del calcolo riferito a roccia o terreno soffice, e 3 rami nel caso di stime relative a terreno rigido (Figura 2).

RISULTATI

È stato applicato l'approccio del probabilismo sismotettonico nella formulazione di Bender e Perkins (1987) per il calcolo della pericolosità sismica. Le scelte descritte precedentemente hanno portato alla realizzazione di un albero logico con 54 rami nel caso di roccia e terreno soffice (vengono utilizzate nel calcolo solo 2 relazioni di attenuazione) e con 81 rami nel caso di terreno rigido (viene utilizzata anche una relazione regionale). Tutti i calcoli si riferiscono al valore di PGA con periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente alla probabilità di non superamento del 10% in 50 anni. Il valore di PGA rappresentato nelle figure successive è la media delle stime ottenute dai calcoli relativi ai 54, o 81, rami dell'albero logico eseguiti tenendo nel debito conto, tramite la deviazione standard, della dispersione dei valori osservati rispetto alle relazioni di attenuazione.

Le Figure 4a, 4b, 4c mostrano i risultati ottenuti per le 3 tipologie di terreno considerate. Come atteso le stime di PGA riferite a terreno roccioso sono sensibilmente inferiori di quelle riferite alle altre 2 tipologie di terreno e raggiungono valori compresi tra 0,32 e 0,40 g nel Friuli centrale e tra 0,24 e 0,32 g nell'area comprendente Vittorio Veneto e Belluno. Risultano più interessanti le mappe riferite a terreno rigido e soffice in quanto, oltre allo scuotimento massimo previsto nel Friuli centrale con valori tra 0,48 e 0,56 g, compare un'area di forte scuotimento atteso intorno a Vittorio Veneto, con valori compresi tra 0,40 e 0,48 g.

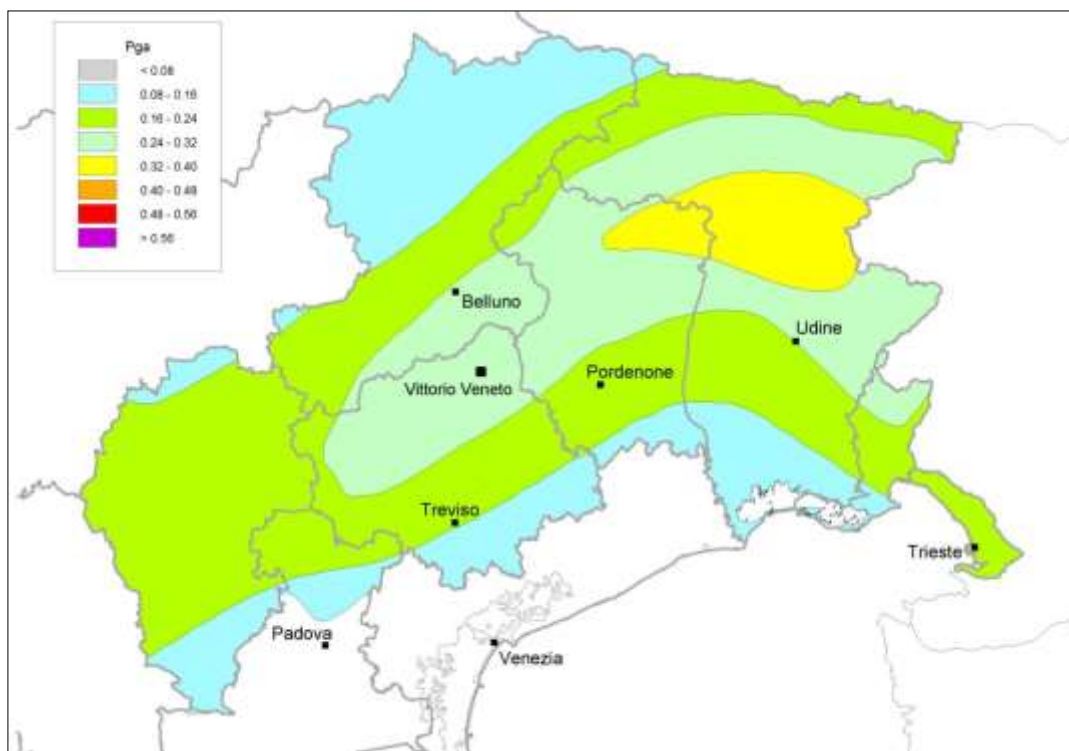


Figura 4a – PGA con periodo di ritorno di 475 anni riferita a terreni rocciosi

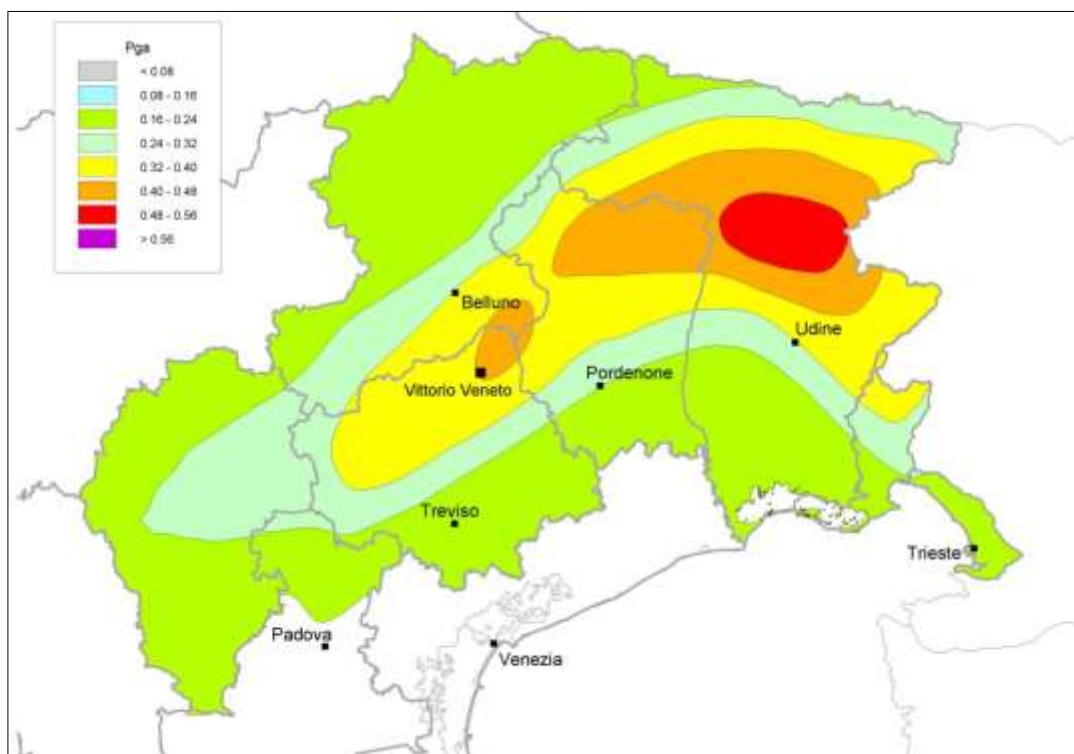


Figura 4b – PGA con periodo di ritorno di 475 anni riferita a terreni rigidi

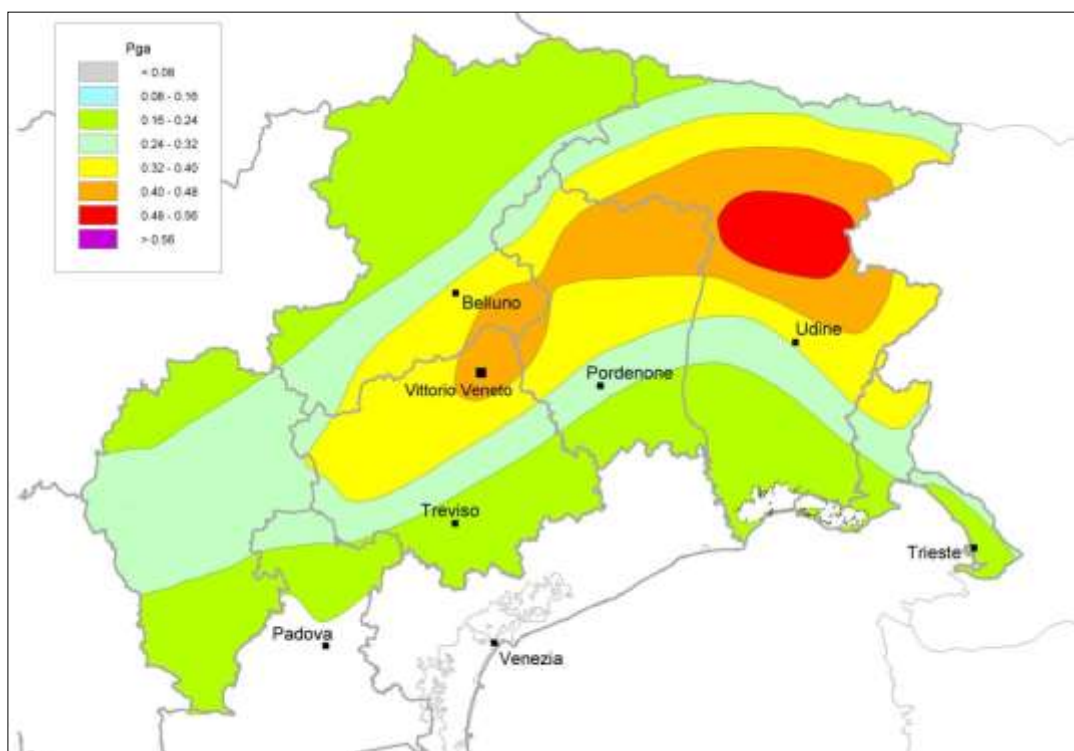


Figura 4c – PGA con periodo di ritorno di 475 anni riferita a terreni soffici

La carta di pericolosità finale si riferisce alla superficie libera e tiene conto delle diverse tipologie di terreno presenti nel sito considerato. È stata ottenuta incrociando tramite GIS i risultati precedenti (Figure 4a, 4b, 4c), riferiti alle tipologie individuali, sulla base della carta dei terreni. Si può vedere (Figura 5a) che l'andamento regolare delle mappe precedenti svanisce completamente tranne che nella pianura veneto-friulana e che rimangono ben evidenziati gli elementi morfologici principali e cioè le valli alpine, caratterizzate da maggiore scuotimento per la presenza di terreno più soffice rispetto alle montagne circostanti. Quale stima cautelativa, viene qui riportata anche la mappa ottenuta tenendo conto

della dispersione delle stime ottenute dai singoli rami dell'albero logico (Figura 5b). Questa dispersione, detta incertezza epistemica, viene considerata aggiungendo una deviazione standard alla stima media rappresentata in Figura 5a. La Figura 5b mostra spiccate somiglianze con la Figura 5a, i valori di PGA attesi sono però maggiori e si attestano tra 0,56 e 0,64 g nel Friuli centrale, mentre le stime per Vittorio Veneto sono comprese tra 0,48 e 0,56 g.

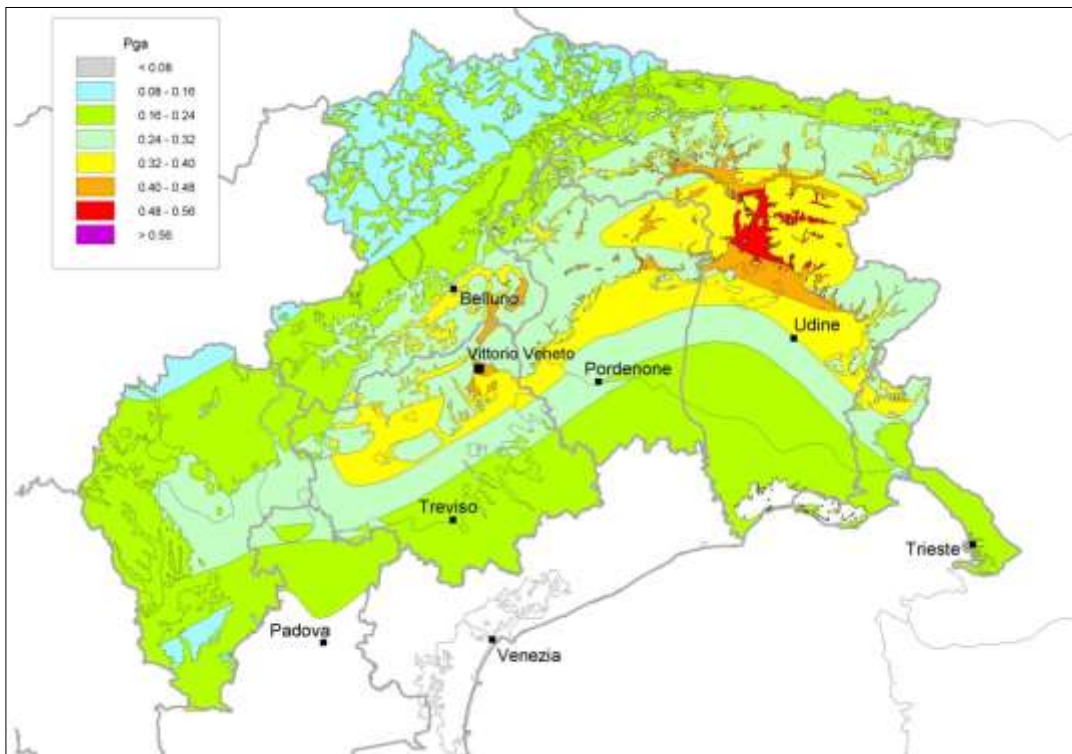


Figura 5a – PGA con periodo di ritorno di 475 anni tenendo in considerazione il terreno di riferimento: valore di PGA con deviazione standard sulle relazioni di attenuazione σ_a (variabilità aleatoria)

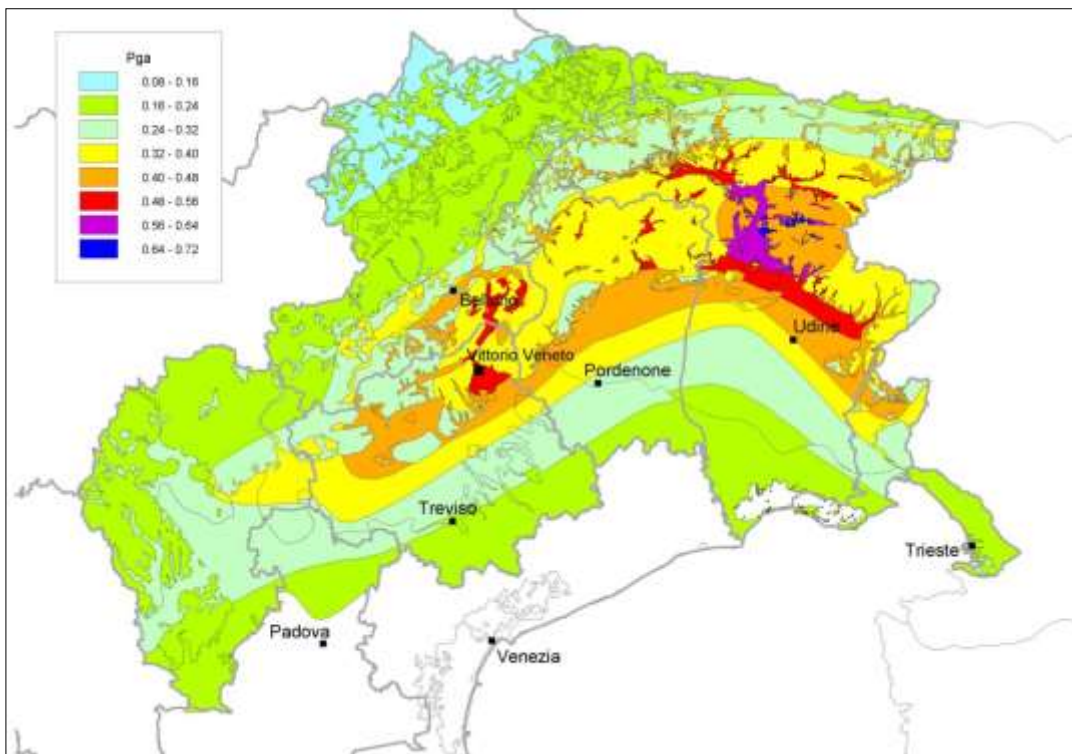


Figura 5b – PGA con periodo di ritorno di 475 anni tenendo in considerazione il terreno di riferimento: valore di PGA con deviazione standard sulle relazioni di attenuazione σ_a addizionato della deviazione standard relativa all'incertezza epistemica σ_e dell'intero processo

Per il sito di Vittorio Veneto, poi, è stata costruita la curva completa di pericolosità, riferita ad un terreno rigido (caratteristico del sito) che evidenzia per vari periodi di ritorno (ossia per varie probabilità annuali di superamento) il valore atteso di scuotimento. La Figura 6 illustra questo risultato, in termini di stima di PGA (ottenuta come media dei risultati dei diversi rami calcolati tenendo conto della variabilità aleatoria (σ_a), tramite la deviazione standard delle relazioni di attenuazione (Figura 6)) e aggiungendo a questo valore di PGA anche l'incertezza epistemica (σ_e) dell'intero processo, rappresentata da una deviazione standard dei risultati dei diversi rami rispetto alla media. Il valore atteso è di 0,40 g che sale a 0,50 se si tiene conto della dispersione dei risultati dei vari rami.

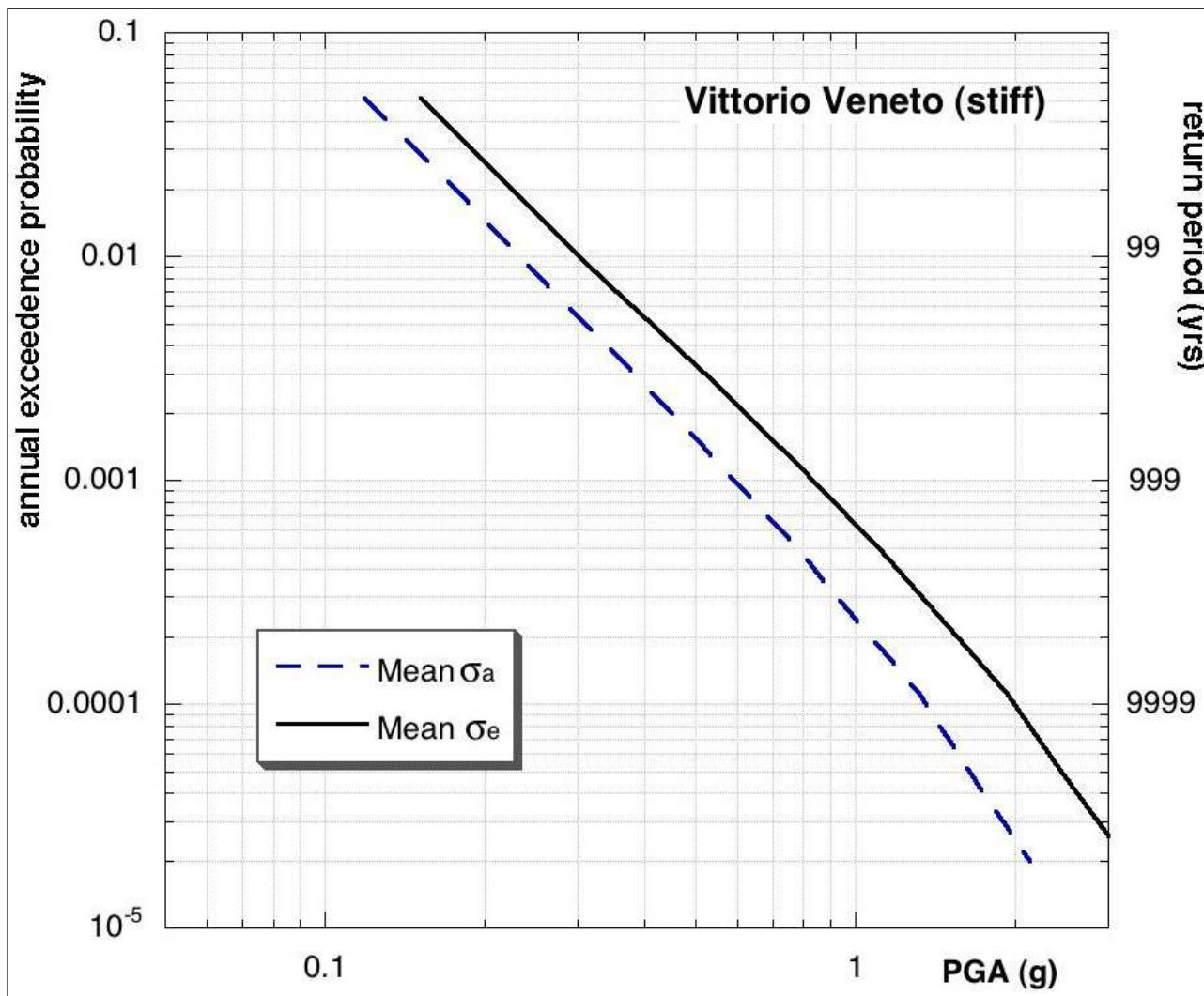


Figura 6 – Curve di pericolosità sismica per il sito di Vittorio Veneto riferite a terreno rigido. Curva riferita valore di PGA con deviazione standard sulle relazioni di attenuazione σ_a (linea tratteggiata), curva riferita valore di PGA considerando oltre alla deviazione standard sulle relazioni di attenuazione σ_a anche la deviazione standard relativa all'incertezza epistemica σ_e dell'intero processo (linea continua)

CONCLUSIONI

Le stime di pericolosità sismica sviluppate nell'ambito del progetto GNDT "Scenari di danno nell'area veneto – friulana" hanno interessato sia la regione più orientale dell'Italia settentrionale sia il sito specifico di Vittorio Veneto. La pericolosità è stata calcolata facendo ricorso alle tecniche di calcolo più avanzate e tenendo in considerazione le incertezze coinvolte nel calcolo. Lo scuotimento è stato calcolato per tre tipologie di terreno e riassunto nella mappa alla superficie libera, dove è stato tenuto conto della specifica tipologia di terreno presente in ogni sito.

La carta di pericolosità regionale mostra che lo scuotimento più elevato è atteso nel Friuli centrale, con valori di PGA intorno a 0,50 g mentre nell'area circostante Vittorio Veneto le stime non superano 0,40 g.

La curva completa di pericolosità per Vittorio Veneto, riferita ad un terreno rigido mostra un valore di PGA, per il periodo di ritorno di 475 anni, pari a 0,40 g, che diventa 0,50 g tenendo conto delle incertezze derivanti dall'utilizzo di diversi modelli di geometria e caratterizzazione sismica delle sorgenti e di propagazione del moto del suolo.

Le stime illustrate dalla più recente mappa nazionale di pericolosità sismica (Gruppo di Lavoro, 2004) sono riferite ad un terreno roccioso e mostrano per l'area di Vittorio Veneto valori compresi tra 0,250 e 0,275 g, inferiori a quelli visibili in Figura 4a. La ragione per questa differenza può venir spiegata dall'utilizzo nel presente studio anche di zonazioni sismogenetiche locali, dove i terremoti vengono riferiti talvolta a territori di limitate dimensioni.

RICONOSCIMENTI

Il lavoro qui descritto brevemente è stato svolto nell'ambito del progetto GNDT "Scenari di danno nell'area veneto – friulana", coordinato da Marcello Ruscetti dell'Università di Udine. Le elaborazioni fatte ed i risultati ottenuti sono più dettagliatamente descritti nell'articolo "Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy)" di Slejko, Rebez e Santulin (2008). Un ringraziamento è dovuto ad Alberto Bernardini, Università di Padova, che ha letto il manoscritto fornendo utili commenti.

RIFERIMENTI

- Albarello D. and Mucciarelli M.; 2002: *Seismic hazard estimates using ill-defined macroseismic data at site*. Pure Appl. Geophys., **159**, 1289-1304
- Ambraseys N.N., Simpson K.A. and Bommer, J.J.; 1996: *Prediction of horizontal response spectra in Europ.*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, **25**, 371-400
- Bender B. and Perkins D.M.; 1987: *SEISRISK III; a computer program for seismic hazard estimation*. U. S. Geological Survey, Reston, VA, United States, 48 pp
- Bragato P.L. and Slejko D.; 2005: *Empirical ground-motion attenuation relations for the Eastern Alps in the magnitude range 2.5 - 6.3*. Bull. Seism. Soc. Am., **95**, 252-276
- Gruppo di Lavoro; 2004: *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile*, INGV, Milano - Roma, 65 pp. + 5 App
- Kijko A. and Graham G.; 1998: *Parametric-historic procedure for probabilistic seismic hazard analysis. Part I: estimation of maximum regional magnitude m_{max}* . Pure Appl. Geophys., **152**, 413-442
- Meletti C., Patacca E. and Scandone P.; 2000: *Construction of a seismotectonic model: the case of Italy*. Pure Appl. Geophys., **157**, 1135
- Meletti C. e Valensise G.; 2004: *Zonazione sismogenetica ZS9 – Appendice 2 alla Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il DPC*, INGV, Milano-Roma, aprile 2004
- Ruscetti M. (ed.); 2008: *Seismic damage scenarios in the Veneto – Friuli area*. Boll. Geof. Teor. Appl., vol. 49, n. 3-4, 238 pp
- Sabetta F. and Pugliese A.; 1987: *Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records*. Bull. Seism. Soc. Am., **77**, 1491-1513
- Slejko D., Peruzza L. and Rebez A.; 1998: *Seismic hazard maps of Italy*. Annali di Geofisica, **41**, 183-214
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: *Probabilistic seismic hazard assessment and deterministic ground shaking scenarios for Vittorio Veneto (N.E. Italy)*. Boll Geof. Teor. Appl., **43**, 263-280
- Slejko D., Rebez A., and Santulin M.; 2008: *Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (N.E. Italy)*. Boll. Geof. Teor. Appl., **49**, 329-356
- Stucchi M., Galadini F., Meletti C. and Rebez A.; 2002: *Sorgenti sismogenetiche e zone-sorgenti: una alternativa irriducibile?*. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), 21° Convegno Nazionale G.N.G.T.S., Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Masetti, Trieste, pp. 46-47
- Wells D.L. and Coppersmith K.J.; 1994: *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement*. Bull. Seism. Soc. Am., **84**, 974-1002