



*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*

**Convenzione Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia –
Dipartimento della Protezione Civile 2004 – 2006**

Progetto S1

**Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento
e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista
dall'Ordinanza PCM 3274/2003 e progettazione di ulteriori
sviluppi**

Rendiconti scientifici delle UR

Project S1

***Continuation of assistance to DPC for improving and using
the seismic hazard map compiled according to the Prime
Minister "Ordinanza" 3274/2003 and planning future
initiatives***

Scientific Reports of the Research Units

<http://esse1.mi.ingv.it>

Coordinators:

Massimiliano Stucchi (01/07/2005 – 31/12/2006)

Gian Michele Calvi

Carlo Meletti (01/01/2007 – 31/07/2007)

Milano-Pisa, 31st July 2007

INDICE

UR1 INGV Milano-Pavia (Resp. 1.anno Carlo Meletti; Resp. 2. anno Massimiliano Stucchi)	1
UR2 INGV Milano-Pavia (Resp. Fabrizio Meroni)	7
UR3 INGV Bologna (Resp. Romano Camassi)	13
UR4 INGV Catania (Resp. Raffaele Azzaro)	16
UR5 INGV Roma1 (Resp. Calvino Gasparini)	20
UR6 INGV Napoli (Resp. Aldo Marturano)	21
UR7 Eucentre Pavia (Resp. 1.anno Claudio Strobbia; Resp. 2. anno Rui Pinho)	30
UR8 Università di Siena (Resp. Dario Albarello)	37
UR9 Università di Bologna (Resp. Paolo Gasperini)	39
UR10 Università di Genova (Resp. Daniele Spallarossa)	48
UR11 CNR Milano (Cessata dopo il primo anno) (Resp. Renata Rotondi)	
UR12 INOGS Trieste (Resp. Alessandro Rebez)	52
UR13 INGV Milano-Pavia (Resp. Paola Albini)	57



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR1 - Coordinatore 1. anno: Carlo Meletti (INGV Milano - Pavia)

UR1 - Coordinatore 2. anno: Massimiliano Stucchi (INGV Milano - Pavia)

Questa UR del progetto S1 ha svolto le funzioni di coordinamento dell'intero progetto: dall'avvio del progetto fino al 15 dicembre 2006 con il coordinamento di Stucchi in collaborazione con G.M. Calvi di Eucentre, dal 15 dicembre alla fine del progetto con il coordinamento di Carlo Meletti (conseguentemente il coordinamento della UR è passato da Meletti a Stucchi per incompatibilità tra il coordinamento del progetto e quello di UR). Oltre al coordinamento del progetto, anche i task 1, 2 e 4 sono stati coordinati da membri di questa UR. Per dare un'ulteriore misura dell'impegno di questa UR nella realizzazione degli obiettivi di questo progetto si può ricordare che 15 deliverables su 23 sono stati coordinati da questa UR, che ha complessivamente partecipato a 20 deliverables.

Per rendere conto del contributo della UR al progetto, si elencano nel seguito i deliverables a cui ha partecipato il personale della UR1 (riportato tra parentesi) e le tematiche relative.

Per quanto riguarda il Task 1 (Completamento delle elaborazioni relative a MPS04, coordinato da C. Meletti in collaborazione con A. Rebez) l'UR ha partecipato ai seguenti deliverables:

D1, valutazioni di pericolosità sismica per le aree insulari (M. Stucchi, C. Meletti, V. Montaldo). Questa elaborazione è stata quasi interamente curata dalla UR, con contributi di R. Azzaro, F. Galadini, A. Rebez e G. Valensise, portando a valutazioni di pericolosità sismica ad hoc per quelle isole non adeguatamente considerate in MPS04, nonché a suggerire l'adozione dello spettro di risposta elastico più consono per queste aree;

D2, valutazioni di amax (16mo, 50mo e 84mo percentile) con diverse probabilità di superamento in 50 anni (C. Meletti, V. Montaldo), elaborazione interamente curata dalla UR che ha portato al rilascio di mappe di hazard per complessivi 9 periodi di ritorno (da 30 a 2500 anni);

D3, valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico (V. Montaldo, C. Meletti), elaborazione interamente curata dalla UR che ha portato alla definizione di spettri di risposta elastica per ogni nodo della griglia di riferimento e per 9 diversi periodi di ritorno;

D4, valutazioni sperimentali di amax corrispondenti a periodi di ritorno di 5.000 e 10.000 anni (V. Montaldo), curato in collaborazione con la UR INOGS Trieste, nel quale sono stati considerati gli aspetti principali da tenere in considerazione nell'esecuzione di tali stime;

D5, valutazioni sperimentali di amax provenienti da un albero logico più complesso di quello adottato per la redazione di MPS04 (V. Montaldo, C. Meletti, L. Gulia), elaborazioni interamente curate dalla UR che hanno portato ad individuare quali potrebbero essere gli ulteriori sviluppi della valutazione della pericolosità sismica in Italia, compresi nuovi modelli o diverse modalità di calcolo dei tassi di sismicità;

D6, valutazioni sperimentali di amax calibrata per le condizioni locali (L. Luzi), curato in collaborazione con la UR2, che ha portato a definire delle procedure speditive o approfondite per valutare gli effetti di sito;

D7, mappe di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica (A.A. Gomez Capera, C. Meletti, M. Stucchi), curato in collaborazione con la UR INOGS Trieste;

D8, sviluppo del sito web (C. Meletti, F. Martinelli, M. Stucchi) curato in collaborazione con la UR2, che ha portato alla pubblicazione di un sistema di siti web per la più completa ed efficace disseminazione dei dati rilasciati dal progetto, con la realizzazione di un'interfaccia webGis innovativa ed efficiente;

D14, disaggregazione dei dati di MPS04 (C. Meletti, F. Martinelli), attività svolta dalla UR10 (UNI Genova), nell'ambito della quale è avvenuto lo scambio dei dati necessari per realizzare l'elaborazione ed è stato poi sviluppata l'interfaccia webGis per la distribuzione dei dati;

Per quanto riguarda il Task 2, l'UR ha partecipato ai deliverables D9 (Valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica utilizzando metodi di sito) e D10 (Nuova formulazione delle procedure per la stima dell'intensità macrosismica da dati epicentrali o da risentimenti in zone vicine) attraverso l'attività di G. Zonno: in questo ambito sono state svolte attività di ricerca per la determinazione dell'intensità al sito da dati epicentrali utilizzando una forma parametrica binomiale. La metodologia probabilistica alla base di questo approccio permette di passare dai campi macrosismici alla probabilità di superamento di una certa intensità al sito (Rotondi e Zonno, 2004) tramite "matrici di probabilità" (I_0, d) definite per fasce di distanza di 10 km e per intensità epicentrali I_0 uguali a 7, 8, 9, 10 e 11 MCS.

Sempre in questo Task ha partecipato al deliverable D11 (Aggiornamento delle relazioni amax/I, curato in collaborazione con le UR8 e UR9) con A.A. Gomez Capera contribuendo anche alla compilazione dell'evoluzione di questo tipo di relazioni attraverso l'esame bibliografico.

Il Task 3 è stato coordinato da V. Montaldo nel primo anno di progetto in cui è stato attivo. In questo ambito è stato seguito il deliverable D15 (Valutazioni sperimentali di probabilità di occorrenza dei terremoti utilizzando metodologie non parametriche applicate a zonazioni diverse, curato da C. Meletti in collaborazione con la UR3). I risultati principali consistono nella mappa di probabilità di occorrenza di terremoti nelle zone sismogenetiche nei prossimi 10 anni.

Il Task 4 è stato coordinato dalla UR attraverso M. Stucchi. Le attività in cui la stessa UR è stata coinvolta sono le seguenti:

D17, versione aggiornata al 2006 del database macrosismico (M. Stucchi, A. Rovida), curato in collaborazione con UR3, che ha portato al rilascio dapprima del database macrosismico relativo al catalogo CPTI04 e poi alla realizzazione del database aggiornato con l'inserimento di tutti i dati che derivano da studi recenti e successivi al rilascio di CPTI04, nonché alla raccolta di dati macrosismici dei terremoti avvenuti negli ultimi 20 anni;

D18, versione aggiornata del catalogo CPTI (M. Stucchi, A.A. Gomez Capera, A. Rovida) curato in collaborazione con UR9, attività nell'ambito della quale si sta

procedendo al rilascio di un catalogo aggiornato sia dal punto di vista dei dati di base, sia dal punto di vista delle procedure per la determinazione dei parametri epicentrali;

D19, versione aggiornata delle stime di completezza su base storica e statistica (M. Stucchi, A.A. Gomez Capera, A. Rovida), curato in collaborazione con le UR12 e UR13, nell'ambito del quale sono state svolte analisi tese a migliorare il grado di conoscenza sulle completezze del catalogo basata su approcci di analisi differenti.

I deliverable D20-D23, cui si è aggiunto successivamente il D13, non sono organizzati in un Task vero e proprio, ma sono prodotti finali del progetto, a cura dei coordinatori, che suggeriscono alcune possibili applicazioni dei risultati del progetto stesso:

D20, suggerimenti per la gestione delle fasce di tolleranza di MPS04 (C. Meletti, M. Stucchi), propone delle strategie per la gestione della fasce di tolleranza così come definite dalla OPCM 3519/2006 ai fini dell'assegnazione dei comuni alle zone sismiche, per quanto l'evoluzione della normativa sembra andare verso il superamento delle zone sismiche e puntare all'utilizzo diretto dei risultati del progetto per definire l'azione sismica di riferimento;

D21, suggerimenti per l'adeguamento delle azioni sismiche di progetto delle norme (C. Meletti, M. Stucchi), la cui attività si è svolta in stretta collaborazione con DPC per la messa a punto dell'OPCM 3519, partecipando ai lavori della Commissione LL.PP. e successivamente fornendo assistenza a DPC per la messa a punto del set di riferimenti dei dati di pericolosità sismica da utilizzare nella nuova normativa tecnica;

D22, suggerimenti per l'eventuale aggiornamento di MPS04 (C. Meletti, M. Stucchi), di fatto è stato reso superato dallo sviluppo della normativa tecnica (di cui al punto precedente) ed è stato pertanto abbandonato;

D23, trasferimento al progetto S5 degli elementi di input (C. Meletti), ha consentito il perfetto allineamento dei dati di input usati nei due progetti che stimano la pericolosità sismica attraverso parametri descrittivi differenti.

D13, procedure per la valutazione comparativa di stime di hazard (C. Meletti, M. Stucchi), curato con la UR8, ha realizzato stime di validazione della mappa MPS04 rispetto ai dati osservati negli ultimi 30 anni.

A completamento della descrizione della attività svolta da questa UR, si elencano le pubblicazioni e le presentazioni a convegni relative alle attività del progetto.

Brambilla C., Rotondi R., Zonno G. (2007). Predicting macroseismic fields. 56th Session of the ISI International Statistical Institute Conference, 22-29 August 2007, Lisboa, Portugal, pp. 4, (poster).

Crowley H., Pinho R., Faravelli M., Montaldo V., Meletti C., Calvi G.M., Stucchi M. (2007). Gli effetti dell'introduzione della nuova mappa di pericolosità sulla valutazione del rischio sismico in Italia. Atti del XI Congresso Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Pisa 10-14 giugno 2007, pp. 11.

Faenza L., Marzocchi W., Meletti C. (2006). The stability of the proportional hazard model with respect to the input elements. First European Conference on Earthquake Engineering and

Seismology, Ginevra, 3-8 settembre 2006, Abstracts.

Faenza L., Meletti C., Marzocchi W. (2006). La stabilità del proportional hazard model rispetto agli elementi di input e valutazione della sua capacità predittiva. 25° Conv. Naz. GNGTS, Roma, 28-30 novembre 2006, Riassunti, 242

Gavridou S., Pinho R., Crowley H., Calvi G.M., Montaldo V., Meletti C., Stucchi M. (2006). Preliminary study on the impact of the introduction of and updated seismic hazard model for Italy, *J. Earthq. Eng.*, 11 (suppl.1), 89-118. DOI: 10.1080/13632460701280195.

Gómez A. A. (2006). Utilizzo dei dati macrosismici per la determinazione dei parametri delle sorgenti sismogenetiche e la valutazione della pericolosità sismica. Dottorato di Ricerca in Sc. Geologiche e Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi di Milano-Bicocca. 160pp.

Gómez Capera A.A. (2006). Seismic hazard map for the Italian territory using macroseismic data, *Earth Sci. Res. J.*, 10, 2, 67-90.

Gómez Capera A.A., Meletti C., Rebez A., Stucchi M. (2006). Seismic hazard assessment for the Italian territory in terms of macroseismic intensity. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Ginevra, 3-8 settembre 2006, Abstracts.

Gomez Capera A.A., Meletti C., Rebez A., Stucchi M. (2007). Seismic hazard assessment in terms of macroseismic intensity for Italy. Submitted to *J. Seism.*

Gulia L., Meletti C. (2006). The influence of b-value estimate in seismic hazard assessment. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Ginevra, 3-8 settembre 2006, Poster.

Gulia L., Meletti C. (2007). Testing the b-value variability in Italy and its influence on Italian PSHA, *Boll. Geofis. Teor. Appl.* (accepted).

Locati M., Meletti C., Rovida A., Rubbia G., Ercolani E., Meroni F. (2006). A WebGIS tool for the dissemination of earthquake data. EGU, General Assembly 2006, Vienna, 2-7 April 2006, poster.

Martinelli F., Meletti C. (2007). A webgis application for rendering seismic hazard data in Italy, *Seismol. Res. Lett.* (submitted).

Martinelli F., Meletti C. (2007). Dissemination of seismic hazard data in Italy through a WebGIS application. EGU, General Assembly 2007, Vienna, 15-20 April 2007.

Meletti C., Stucchi M., Boschi E. (2006). Dalla classificazione sismica del territorio nazionale alle zone sismiche secondo la nuova normativa sismica. In: Guzzoni D. (a cura di), *Norme Tecniche per le costruzioni*. Il Sole 24 Ore editore, Milano, 139-160.

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. & Galadini F. (2006). Earthquake Probability in North-Eastern Italy in the Next 30 Years. *Eos Trans. AGU*, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract S31C-05

Montaldo V., Meletti C., Martinelli F., Stucchi M., Locati M. (2006). On-line seismic hazard data for the new Italian seismic code, *J. Earthq. Eng.*, 11 (suppl.1), 119-132. DOI: 10.1080/13632460701280146.

Rotondi R., Zonno G. (2006). Seismic scenarios in terms of macroseismic intensity. First European Conference on Earthquake Engineering and seismology, 3-8 September 2006, Geneve, Switzerland, p. 124.

Rotondi R., Zonno G.(2006). Bayesian analysis of the local intensity attenuation. The 4th International Workshop on Statistical Seismology, The Graduate University for Advanced Studies, Shonan Village, Japan, 9-13 January 2006, ISM (Institute of Statistical Mathematics) Report on Research and Education No. 23, 210-213.

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F., Azzaro R. (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, 49, pp. 38.

Stucchi M., Galadini F., Rovida A., Moroni A., Albini P., Migliavacca P. (2006). Investigation of pre-1700 earthquakes between the Adda and the middle Adige river basins (Southern Alps). In: J. Frechet, M. Meghraoui and M. Stucchi (eds), Modern Approaches in Historical Seismology Interdisciplinary studies of past and recent earthquakes. "Jean Vogt in memoriam" (submitted).



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR2 - Coordinatore: Fabrizio Meroni (INGV Milano - Pavia)

L'attività dell'unità di ricerca ha riguardato prevalentemente i Task 1 e 4 del progetto. In particolare per quanto riguarda il Task 1 (Completamento delle elaborazioni relative a MPS04), l'attività svolta dalla U.R. ha permesso la completa revisione dei contenuti del sito web zonesismiche.mi.ingv.it realizzato nel 2004 per la disseminazione dei risultati prodotti dal progetto per l'elaborazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'ordinanza PCM 3274 e completamente ristrutturato nell'aprile 2006 dopo la promulgazione dell'ordinanza PCM 3519 recante "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" - G.U. n.108 del 11/05/2006.

A questo riguardo è stata completata la nuova versione del sito (figura 1) che ha permesso di semplificare i contenuti del sito web precedente in modo da dare risalto alle elaborazioni finali prodotte nel corso del progetto di redazione della mappa di pericolosità sismica e come richiesto esplicitamente dall'ordinanza PCM 3519 del 28/04/06. L'ordinanza contiene, oltre ai criteri per l'individuazione delle zone sismiche, la pubblicazione della mappa di pericolosità sismica MPS04 (ag con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) espressa come valori della mediana, 16mo e 84mo percentile stimati sulle 16 mappe corrispondenti ai 16 rami dell'albero logico utilizzato nel progetto del 2004. Il nuovo sito web permette, in forma semplificata, di accedere al download delle griglie con i risultati degli indicatori della mappa di hazard. Sono inoltre resi disponibili i link alle principali normative in materia di zonazione sismica e ai recepimenti da parte delle Regioni e Province Autonome dell'OPCM 3274.

Nel corso del secondo anno di attività del progetto DPC-INGV S1, si è realizzato un sito dedicato esclusivamente alla disseminazione delle attività del progetto, che riportasse la documentazione di quanto elaborato nel corso dello stesso e che permettesse la distribuzione dei dati prodotti che vanno a integrare l'informazione già contenuta in zonesismiche.mi.ingv.it. Il sito esse1.mi.ingv.it, la cui homepage è mostrata in figura 2, è organizzato per consentire rapidamente il reperimento dei dati di pericolosità sismica che l'utenza richiede. L'organizzazione del sito è tale da rendere disponibile in modo immediato tutte informazioni sull'organizzazione del progetto (programma di lavoro, organizzazione dei tasks, lista dei deliverables, stato di avanzamento), mettendo in evidenza i risultati più rilevanti e di più immediato utilizzo dagli utenti del progetto.

Sempre sulle tematiche della disseminazione via web delle informazioni contenute nella mappa di pericolosità MPS04 è stato dedicato un importante investimento di tempo alla realizzazione di un webGis per la pubblicazione delle mappe e la loro consultazione interattiva. In sostanza il singolo utente con lo strumento realizzato può interrogare, zoomare, selezionare i dati e salvarli sul proprio computer in modalità interattiva.

Il sistema webGis (figura 3) realizzato nel corso del progetto consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, rappresentata con diversi parametri dello scuotimento.

Le mappe riportano due parametri dello scuotimento, $a(g)$ (accelerazione orizzontale

massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrisponde a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $Se(T)$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T); l'unità di misura è g , vale a dire l'accelerazione di gravità, corrispondente a $9.8m/sec^2$.

Le mappe in $a(g)$ sono state calcolate per differenti probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%). Per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità di ogni determinazione.

Le mappe in $Se(T)$ sono state pure calcolate per le stesse probabilità di superamento in 50 anni (in totale 9, dal 2% all'81%) e per differenti periodi (in totale 10, da 0.1 a 2 secondi). Anche in questo caso per ogni stima è disponibile la distribuzione del 50mo percentile (mappa mediana, che è la mappa di riferimento per ogni probabilità di superamento) e la distribuzione del 16mo e dell'84mo percentile che indicano la variabilità di ogni determinazione.

L'applicazione visualizza la mappa prescelta relativa ai valori calcolati sulla griglia regolare con intervallo di $0,05^\circ$, alla scala geografica richiesta dall'utente e restituendo dettagli relativi ai confini amministrativi (regioni, province, comuni) adeguati automaticamente alla scala di visualizzazione richiesta.

Per ciascuno dei punti della griglia è possibile ottenere i grafici ed i dati tabellari relativi ai dati di pericolosità visualizzati, per un totale di 4 grafici: un grafico con i valori di a_{max} relativi ai 3 percentili; un grafico con i valori di Se , relativo ad ogni percentile, le curve relative alle 9 probabilità di superamento. È possibile salvare sia le mappe visualizzate che i grafici ottenuti come file sul proprio computer in formato PNG.

Dal punto di vista tecnologico, lo sviluppo dell'interfaccia webGis ha richiesto un forte impegno, in quanto si tratta di una tecnologia abbastanza recente, la cui implementazione ha richiesto un importante investimento di tempo dedicato alla sperimentazione di tecnologie, non ancora del tutto consolidate. La tabella 1 mostra le diverse componenti che costituiscono il sistema che è stato realizzato; scelta adottata dopo aver analizzato i pacchetti per lo sviluppo di webGis più diffusi (sia commerciali che gratuiti e open source).

Volendo descrivere brevemente il sistema, si può dire che esiste un database relazionale che, con una apposita estensione, riesce a gestire dati georeferenziati vettoriali. I dati sono acceduti dal server cartografico che produce le mappe secondo le richieste dell'utente. Le richieste dell'utente sono analizzate da un'applicazione scritta con il linguaggio PHP che può chiedere al sistema un aggiornamento della mappa visualizzata oppure costruire in tempo reale grafici rappresentativi dei dati stessi.

La seconda parte del programma di attività ha riguardato l'aggiornamento dei database sismologici (Task 4) e ha portato alla pubblicazione del sito per la consultazione del database macrosismico nella versione DBMI04. L'interfaccia utente del database permette la consultazione per terremoto e per località citate (figura 4). Lo schema di progettazione dell'interfaccia è rappresentato in figura 5.

La consultazione per terremoto permette la selezione di un evento sia da una lista cronologica degli eventi, sia attraverso una mappa interattiva che mostra i singoli eventi rappresentati in funzione della magnitudo; su quest'ultima mappa è possibile eseguire lo zoom, il pan e al semplice passaggio del mouse vengono visualizzati in tempo reale i dettagli dell'evento sottostante.

Una volta selezionato un terremoto, vengono mostrate le osservazioni macrosismiche sia in formato tabellare che su mappa. La tabella delle osservazioni è riordinabile sia per località che per intensità macrosismica osservata ed è scaricabile in locale in formato MS Excel. E' possibile individuare sulla mappa le località elencate facendo click sul toponimo ricercato: la mappa si posizionerà automaticamente sulla località ricercata evidenziandola in rosso. La mappa è interattiva e l'utente può effettuare sia lo zoom, sia il pan: l'inquadratura viene aggiornata in tempo reale, senza che nessun dato debba essere trasferito dal server.

Le osservazioni macrosismiche rappresentate in mappa sotto forma di simboli colorati sono anch'esse interattive: se selezionati forniscono in una finestra popup i dettagli sulla località e sull'intensità osservata; da questa finestra è possibile richiedere la visualizzazione della storia sismica della località che verrà a sua volta mostrata in un'altra finestra popup.

Se il software Google Earth è installato sul computer in uso, è possibile visualizzare l'elenco delle osservazioni nel formato richiesto da questo ambiente software facendo click sull'apposita icona; tutti i dettagli (posizione epicentrale, intensità e le località) saranno consultabili sul DEM fotografico tridimensionale fornito dall'applicazione.

La consultazione per località permette di visualizzare la storia sismica dei siti che siano stati citati in almeno tre terremoti differenti. La ricerca può essere eseguita sia in un elenco tabellare, sia dalla mappa interattiva (anch'essa zoomabile e navigabile); i nomi delle località in mappa sono visualizzati al passaggio del mouse in tempo reale nella parte inferiore della finestra.

Selezionando la località ricercata, viene mostrata la storia sismica contemporaneamente in formato tabellare (MS Excel), che sotto forma di diagramma temporale (data/intensità osservata).

Il sito poggia su script in linguaggio PHP che, una volta prelevati i dati dal gestore di database MySQL, creano pagine in standard html. Le mappe interattive sono in formato SVG (Scalable Vector Graphic), un dialetto di XML per la descrizione di immagini vettoriali comandabili da script, anch'esse generate da codice PHP.

Attraverso una serie di ottimizzazioni che limitano le richieste computazionali del webserver (le mappe e le tabelle sono generate dal server solo alla prima richiesta), si è riusciti a fornire un sistema che rende la consultazione fluida e priva di tempi d'attesa. Le soluzioni adottate permettono inoltre un ottimo rapporto tra le richieste di banda di trasferimento dati e le funzioni d'interattività offerte, il tutto senza richiedere eccessive risorse computazionali sia dal lato webserver, sia dal lato client.

Sul fronte dell'interazione tra il gruppo di lavoro per lo sviluppo del database macrosismico e chi lo consulta, è stato creato un sistema di invio e di risposta ai quesiti che, previa liberatoria del visitatore, registra su pagine web aperte al pubblico l'elenco delle domande sottoposte e delle risposte prodotte.

Sul fronte dei dati, il nuovo database macrosismico è basato su studi di terremoti (principalmente DOM, CFTI e Bollettino Macrosismico INGV) che non erano mai stati omogeneizzati né resi disponibili in un unico database e su cui si è basata la parametrizzazione del catalogo CPTI04. Il gruppo di lavoro ha proceduto alla omogeneizzazione di tali dati e alla compilazione del database macrosismico unificato denominato DBMI04 (rilasciato solo per un uso interno al progetto). Dal punto di vista tecnologico l'implementazione è basata sul pacchetto Microsoft Access 2003 che si è dimostrato affidabile e immediato nelle operazioni di interrogazione. La soluzione adottata ha permesso uno scambio semplice e senza perdite

d'informazione sia verso gli altri applicativi del pacchetto Office sia con le applicazioni GIS della famiglia ESRI (ArcView, ArcMap). Sul fronte operativo sono stati schematizzati e sperimentati processi di analisi e validazione dei dati che hanno coinvolto tutto il gruppo di lavoro; tali operazioni hanno portato in taluni casi alla modifica del dato originale. E' stata poi avviata la realizzazione di una versione aggiornata del database macrosismico, denominata DBMI06; essa comprenderà una base di dati molto più aggiornata di quella di DBMI04 e la conseguente compilazione del nuovo catalogo CPTI06. In questa seconda fase, iniziata a gennaio 2006, la documentazione e l'esperienza precedente ha aiutato molto l'ottimizzazione dei processi d'analisi. I controlli di validazione sono stati eseguiti periodicamente ad ogni nuovo inserimento e/o modifica dei dati e il risultato è sempre a disposizione del gruppo di lavoro che ha così la possibilità di visionare l'integrità e coerenza del database nel procedere delle operazioni.

Durante la fase di compilazione di DBMI04 è stata messa a punto una nuova directory geografica di riferimento; con il procedere delle operazioni legate alla compilazione del DBMI06 viene mantenuta aggiornata e le eventuali correzioni dettagliatamente documentate.

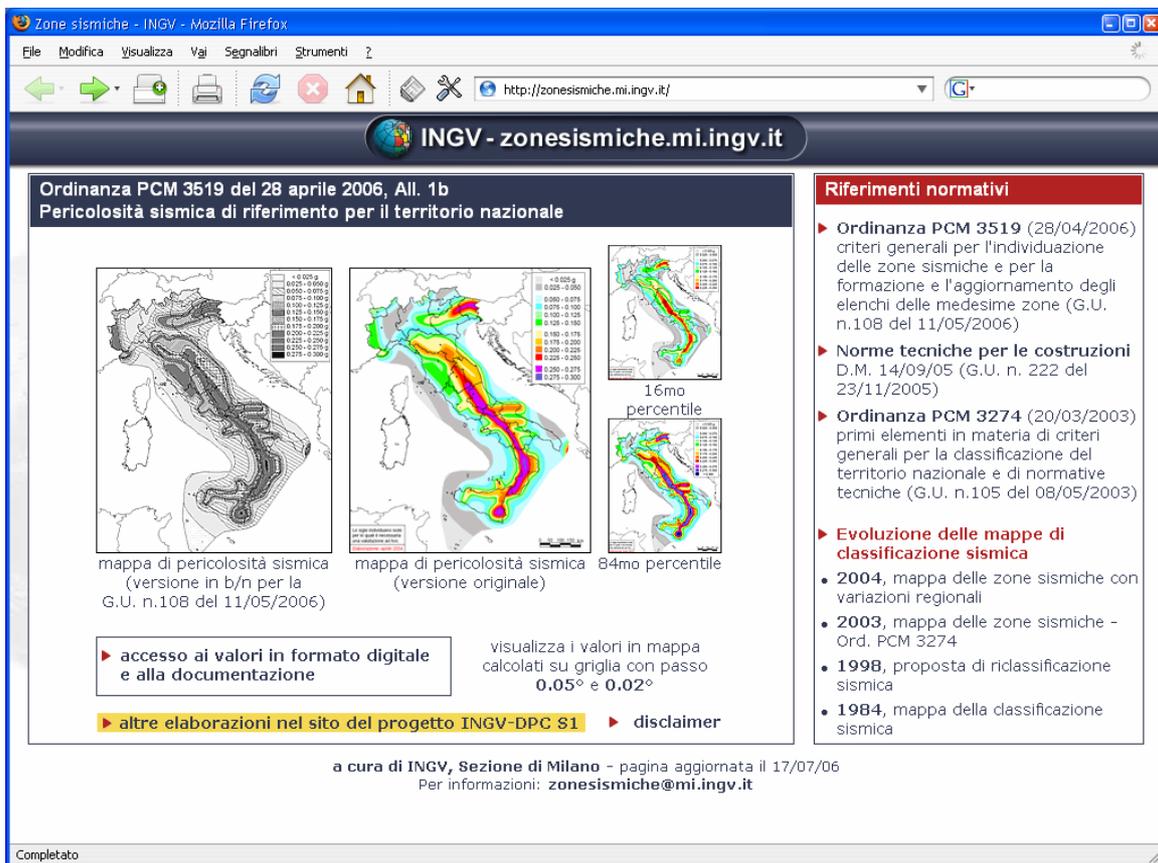


Figura 1: Homepage del sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.

Progetto DPC-INGV - S1 - Mozilla Firefox

File Modifica Visualizza Cronologia Segnalibri Strumenti ?

http://esse1.mi.ingv.it/

INGV-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

DPC-Dipartimento della Protezione Civile

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

Coordinatore: Carlo Meletti (INGV)

<p>Il progetto S1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Testo del progetto (file pdf - 482 kb) • Organizzazione • Cambio coordinatori (file pdf - 149 kb) • Scadenze 	<p>Mappe statiche di pericolosità sismica</p> <ul style="list-style-type: none"> • PGA per varie probabilità di eccedenza in 50 anni (deliverable D2) • Accelerazioni per diversi periodi spettrali (deliverable D3)
<p>I rendiconti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primo anno (file pdf - 4415 kb) • Secondo anno 	<p>Mappe dinamiche di pericolosità sismica</p>
<p>I prodotti del progetto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deliverables D1-D23 	<p>Mappe interattive della pericolosità sismica (Interactive maps of seismic hazard) (webgis)</p>

Disclaimers

Il progetto S1 è uno dei progetti sismologici e vulcanologici di interesse per il Dipartimento della Protezione Civile, attivati nell'ambito della convenzione 2004-2006 tra DPC e INGV. Per una descrizione completa di tutti i progetti di rimanda al sito relativo: www.ingv.it/progettiSV

Homepage Pagine a cura di INGV, Sezione di Milano Ultimo aggiornamento: 21 marzo 2007 Info: dpcS1@mi.ingv.it

Completato

Figura 2: Homepage del sito <http://esse1.mi.ingv.it>.

Progetto DCP-INGV - S1 - Mozilla Firefox

File Modifica Visualizza Cronologia Segnalibri Strumenti ?

Mappe interattive di pericolosità sismica

Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna la mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala della mappa
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)

Scala:

Coordinate del centro della mappa

Latitudine:

Longitudine:

Ricerca Comune

Il nome:

contiene:

Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Ridisegna mappa

Parametro dello scuotimento:

Probabilità in 50 anni:

Percentile:

Periodo spettrale (sec):

Completato

Figura 3: Homepage del sito webGis del progetto INGV-DPC S1 <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.

Applicazione	Software	Sito web sviluppatori
Server cartografico GIS	MapServer	http://mapserver.gis.umn.edu/
RDBMS	PostgreSQL	http://www.postgresql.org/
Estensione GIS al RDBMS	PostGIS	http://postgis.refractory.net/
Linguaggio di programmazione dell'applicazione Web	PHP	http://www.php.net/
Server Web	Apache	http://www.apache.com/

Tabella 1. Elenco dei componenti che costituiscono l'interfaccia webGIS.

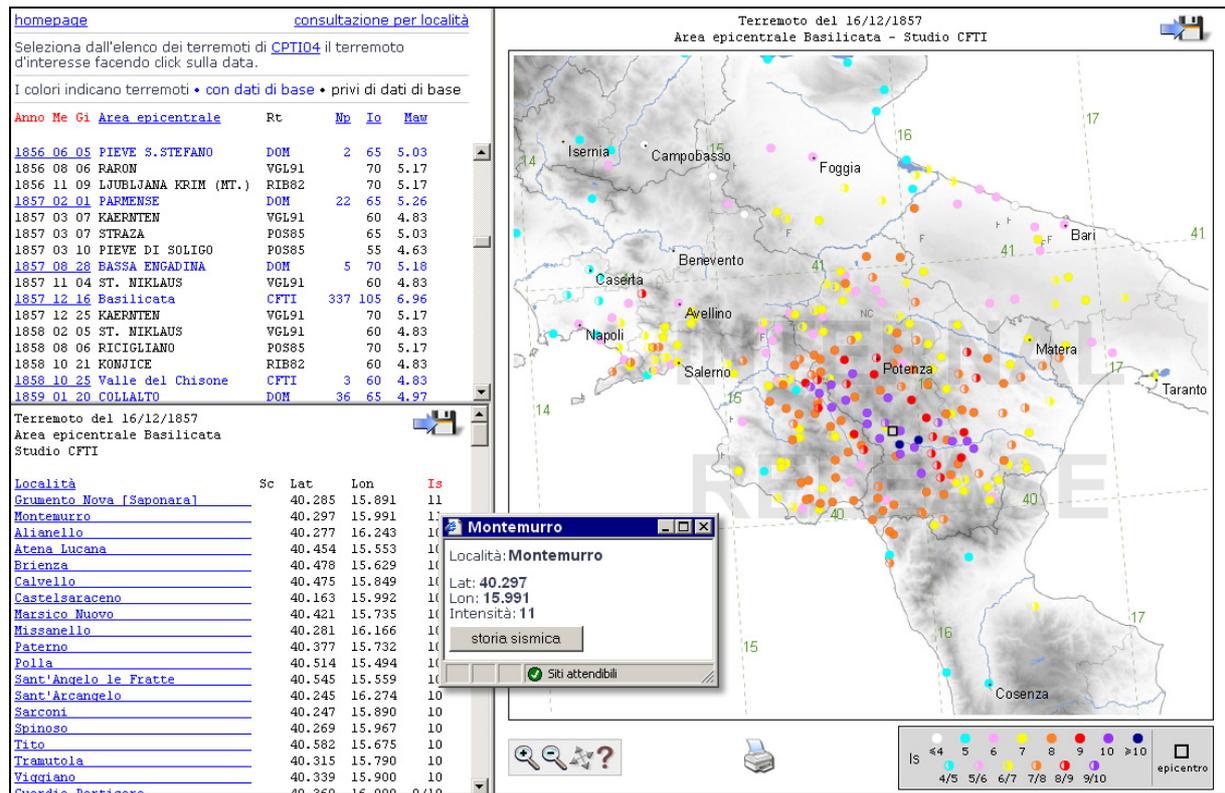


Figura 4: Interfaccia web del database macrosismico DBMI04 per la consultazione per terremoto, realizzata tramite programmi PHP e il formato grafico vettoriale SVG.

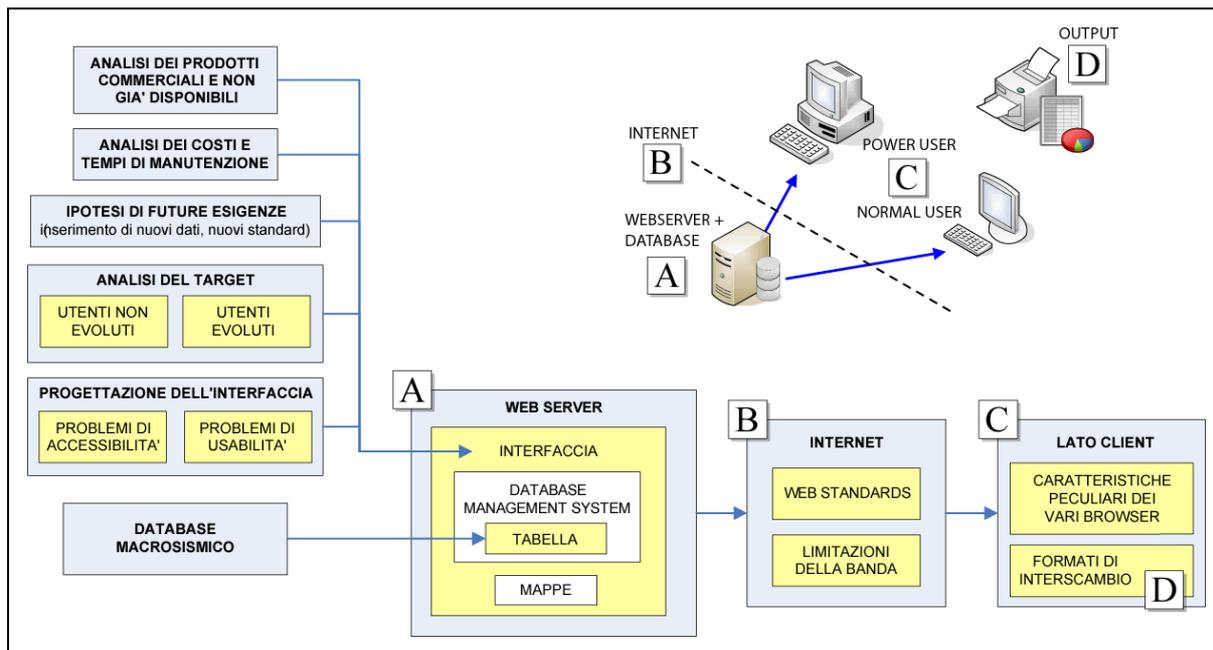


Figura 5: Schema di progettazione dell'interfaccia del sito web di consultazione della nuova versione del database macrosismico.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR 3 - Coordinatore: Romano Camassi (INGV, Sezione di Bologna)

Risultati delle attività delle due annualità del progetto

L'UR3 ha svolto la propria attività nel progetto contribuendo principalmente al Task 3 ("Contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente") e al Task 4 ("Aggiornamento dei database sismologici").

L'attività svolta per il task 3, si è sviluppata principalmente nel primo anno di attività. L'UR ha sviluppato confronti fra le elaborazioni basate su modelli stazionari della sismicità e quelle già disponibili o ottenibili in modo speditivo, basate sull'utilizzo di modelli di sismicità non stazionari (D15). Nello studio della distribuzione dei grandi terremoti diversi fattori entrano in campo: oltre alla distribuzione spazio-temporale degli eventi, hanno un ruolo importante il catalogo sismico e la zonazione sismogenetica. Gli stessi elementi di MPS04 sono stati analizzati con il modello di hazard proporzionale, con lo scopo studiare la dipendenza del modello dai dati di input, e la stabilità dei risultati e delle mappe di probabilità rispetto a fattori quali la zonazione, il catalogo e la finestra temporale e di magnitudo per la completezza.

Lo stesso modello non-parametrico per la distribuzione spazio temporale dei forti terremoti è stato applicato a due diverse zonazioni e usando 2 cataloghi sismici. Come dati di ingresso, sono stati valutati diversi parametri geologici e tettonici in grado di caratterizzare il comportamento tettonico e sismico di ogni singola zona, e diverse finestre di completezza. In tutte le applicazioni è stato trovato lo stesso pattern per l'occorrenza dei forti terremoti; la funzione di hazard ha prima un andamento a cluster per poi raggiungere un andamento di tipo Poisson. Sembra anche che le caratteristiche del cluster, sua durata e sua intensità, dipendano dal catalogo usato, mentre non sembrano dipendere dalla zonazione. Infine, i risultati vengono espressi tramite la mappa di occorrenza per i prossimi grandi terremoti ($M > 5.5$) in Italia nei prossimi 10 anni, nelle singole ZS.

Relativamente all'attività prevista per il task 4, l'UR di Bologna ha lavorato prevalentemente all'aggiornamento del database macrosismico (D17), che contribuisce all'aggiornamento del catalogo (D18). Alcune diramazioni della ricerca, forniscono indicazioni utili anche per l'aggiornamento delle stime di completezza (D19).

Una parte rilevante dell'attività è stata dedicata al controllo e alla omogeneizzazione di tutto l'insieme dei dati macrosismici utilizzati per la compilazione della versione 2004 del catalogo CPTI (in collaborazione con le UR di Milano e Catania), recentemente pubblicati. Questi dati non erano mai stati verificati rigorosamente e ricompilati in un insieme omogeneo, pur essendo stati utilizzati per la determinazione dei parametri epicentrali. In particolare è stata integralmente ricompilata la finestra cronologica 1981-2002. Questo lavoro ha comportato un controllo di coerenza generale, la verifica sistematica di tutte le incoerenze, anche

minori, nella georeferenziazione, oltre che nella denominazione dei toponimi, e la revisione della localizzazione di alcune centinaia di punti, con correzioni molto significative per una parte di essi.

Successivamente l'UR3 ha contribuito all'assemblaggio di tutti i dati macrosismici disponibili più recenti di quelli utilizzati per la compilazione del catalogo CPTI04, a partire da una inventariazione preliminare degli studi che era stata realizzata nell'estate del 2003, nella fase di compilazione del catalogo CPTI04, e all'integrazione dell'inventario con la verifica di ulteriori lavori realizzati o pubblicati a tutto il 2006. Tale inventariazione non si è limitata agli eventi principali già inclusi nel catalogo, ma ha considerato anche le repliche maggiori, eventi di soglia inferiore e possibili eventi non inclusi in catalogo per altre ragioni ed è stata particolarmente approfondita l'analisi della documentazione che ha contribuito o contribuisce alla cancellazione di eventi dai cataloghi parametrici o a un loro drastico declassamento. Gli insiemi di dati principali che sono stati organizzati nel nuovo database sono la versione più recente del Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (CFTI3, Boschi et al., 2000), i dati di interesse per il territorio nazionale resi disponibili da agenzie di paesi di confine (il database francese SISFRANCE: SisFrance, 2002, scaricato dal sito web relativo), debitamente uniformati agli standard previsti. Sono stati censiti anche numerosi studi resi disponibili negli ultimi anni da diversi autori, relativamente a singole aree del territorio nazionale, oltre che studi su singoli terremoti, pubblicati su riviste o monografie. Sono stati inclusi nel database anche i dati relativi ai rilievi macrosismici di terremoti recenti e i dati dei bollettini macrosismici, aggiornati al 2006.

Tutto questo nuovo insieme di dati è stato formattato e georeferenziato utilizzando gli strumenti cartografici utilizzati per la compilazione del DBMI04 (repertorio di località e strumenti cartografici accessori) e seguendo i medesimi criteri nella scelta delle denominazioni, nella georeferenziazione e nella codifica di casi particolari.

In collaborazione con le UR di Milano e Catania, e con il contributo di alcuni ricercatori del Centro Nazionale Terremoti di Roma, è stato ricompilato integralmente l'inventario delle determinazioni strumentali e dei dati macrosismici disponibili per la finestra cronologica 1981-2006. Il lavoro, che ha richiesto un lungo e meticoloso lavoro di organizzazione e selezione dei dati, verifiche automatiche e manuali, realizzate anche attraverso numerose sessioni di lavoro congiunte, ha considerato oltre 5.000 record, con una soglia energetica più bassa di quella del catalogo attuale, e senza interventi di declustering. Per ogni "famiglia" di determinazioni, è stato selezionato un record strumentale di riferimento - secondo criteri condivisi - e, ove disponibile, uno studio macrosismico.

Relativamente all'obiettivo dell'aggiornamento delle stime di completezza del catalogo, la UR ha contribuito sviluppando ulteriori indagini per l'individuazione e lo studio di eventi sfuggiti alla tradizione sismologica: sono stati effettuati alcuni spogli di fonti seriali (principalmente diaristica e fonti giornalistiche) fra XVI e XVIII secolo, con una particolare attenzione alla diaristica del XVI secolo, spoglio che - per il '500 - ha come esito preliminare l'incremento di circa il 30% del numero di eventi con effetti superiori alla soglia del danno.

Bibliografia essenziale

Azzaro R., Bernardini F., Camassi R. and Castelli V., 2007. The 1780 seismic sequence in NE Sicily (Italy): shifting an underestimated and mislocated earthquake to a seismically low rate zone, *Natural hazards*, Volume 42, Number 1 / July, 2007, 149-167.

Camassi R., F. Bernardini, V. Castelli and C. Meletti, 2007. A 17th century damaging earthquake cluster in the Gargano area and its implications on the understanding of local seismicity. Submitted to the *Journal of Earthquake Engineering*.

Castelli V. e Bernardini F., 2006. Unearthing earthquakes in the Sienese "Crete", *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, 3-8 september 2006, Geneve (CH) (Id paper 837). 9 pp.

Castelli V. e Bernardini F., 2006. Sismologia storica e conservazione del patrimonio culturale: il caso delle Crete senesi. In: *GNGTS, 25° Convegno Nazionale, Riassunti estesi delle comunicazioni*, pp. 210-212.

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F. e Azzaro R., 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*, 49, INGV, 38 pp.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR 4 - Coordinatore: Raffaele Azzaro (INGV-CT)

L'attività della UR4 nell'ambito del progetto si è svolta nei **Task 2** (Valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica e confronti fra MPS04 e le tali valutazioni) e **Task 4** (Aggiornamento dei database sismologici).

Per quanto riguarda il primo task, il lavoro svolto ha riguardato i **Deliverables 9** (Valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica utilizzando metodi di sito) e **10** (Nuova formulazione delle procedure per la stima dell'intensità macrosismica da dati epicentrali o da risentimenti in zone vicine).

I calcoli di pericolosità sismica attraverso dati di intensità al sito (D9) hanno riguardato le isole minori della Sicilia e l'area etnea. Esso rappresenta uno studio di dettaglio rispetto alle mappe prodotte con tale approccio per l'intero territorio nazionale dalla UR Albarello, cui si rimanda per maggiori delucidazioni, ma ha rappresentato anche l'occasione per testare a fondo codici di calcolo e gli approcci metodologici sviluppati nell'ambito del task. I risultati ottenuti per le isole minori della Sicilia sono stati poi confrontati con quelli della carta MPS04, ricavati con una metodologia probabilistica attraverso il codice di calcolo Cornell. Le stime di hazard per l'area etnea, sono state affrontate durante il secondo anno di attività di ricerca, utilizzando la versione finale del codice di calcolo denominato SASHA (D'Amico e Albarello, 2007) sviluppato in D12.

Dati di input

Per quanto riguarda le isole minori siciliane (Eolie, Ustica, Egadi, Pantelleria), le stime di hazard sono state ottenute sfruttando l'intera base informativa disponibile sia nel database macrosismico DBM04 (Stucchi et al., 2007) che nel catalogo CPTI04 (Gruppo di lavoro CPTI04, 2004). In particolare, dato il numero contenuto di osservazioni macrosismiche disponibile per ognuna di esse, abbiamo integrato l'eventuale mancanza di informazione nella località principale per un dato terremoto (solitamente la più rappresentativa, che compare più frequentemente in database) con quelle di altre località presenti sull'isola, in modo da avere più dati osservativi. Ciò è stato reso possibile data la contiguità dei siti all'interno di una stessa isola (2-4 km) e la mancanza di effetti di sito di rilievo.

Per le analisi in area etnea sono stati integrati due differenti dataset: il catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI04 con il suo database delle intensità DBMI04, e il catalogo macrosismico dei terremoti etnei (Azzaro et al., 2000, 2006). Il catalogo nazionale comprende il periodo che va dal 217 A.C. al 2002, ma usa finestre spazio-temporali di 30 km e 90 giorni per selezionare solo gli eventi "principali", mentre il catalogo locale va dal 1832 al 2005 ed adotta soglie energetiche più basse, includendo premonitrici e repliche. L'integrazione è stata fatta a partire dal 1832: il catalogo CPTI04 è stato sostituito da quello etneo solo per la parte che riguarda gli eventi originatisi nell'area vulcanica. Il dataset di intensità derivante risulta composto da 4783 osservazioni macrosismiche per le località etnee, relative sia a terremoti regionali che locali. A causa della mancanza di osservazioni e/o terremoti nell'area etnea prima dell'anno 1000, il "catalogo integrato" utilizzato per le analisi copre l'intervallo di tempo 1000-2005.

Elaborazioni

A partire dalle storie sismiche al sito, è stata calcolata la pericolosità espressa in termini di intensità massima caratterizzata da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (periodo di ritorno 475 anni).

Per le isole minori della Sicilia, sono state calcolate le probabilità di eccedenza relative ai gradi dal VI all'XI MCS e, utilizzando la relazione di conversione tra intensità macrosismica e PGA di Margottini et al. (1992), la pericolosità è stata espressa anche in termini di massima accelerazione del suolo caratterizzata da una probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni. I valori ottenuti (Tab. 1) sono pressoché equivalenti a quelli specificatamente calcolati nell'ambito del Task 1, D1 per la carta di pericolosità MPS04. In particolare gli scarti maggiori riguardano Panarea, Filicudi e Alicudi (0.20, 0.19 e 0.24 g rispetto al valore di 0.175 g ottenuto con l'impiego delle storie sismiche al sito).

Sono stati anche fatti alcuni test per verificare la stabilità del metodo in funzione del numero di osservazioni macrosismiche disponibili. A tal fine sono stati scelti due capoluoghi, Palermo e Messina (Azzaro et al., 2004; Barbano et al., 2005) per i quali, grazie a studi di dettaglio disponibili in letteratura, si hanno 34 e 41 dati di intensità in più rispetto alla base dati DBM04. In un caso si è osservato una lieve diminuzione del valore di PGA atteso (Tab. 2).

Tab. 1: Valori di PGA per le isole minori siciliane ottenute attraverso dati di intensità macrosismica.

Isole	PGA
Pantelleria	0.075
Ustica	0.100
Alicudi	0.175
Filicudi	0.175
Panarea	0.175
Stromboli	0.200
Lipari	0.175
Salina	0.200
Vulcano	0.200

Tab. 2: Stabilità dei risultati in PGA rispetto al numero di osservazioni macrosismiche disponibili.

Capoluoghi	PGA	PGA arr
Messina	0.250	0.225
Palermo	0.175	0.175

Area etnea

Durante il secondo anno del progetto, date le caratteristiche della sismicità nelle aree vulcaniche, è stato affrontato uno studio particolareggiato dell'hazard nell'area etnea che ha consentito anche di testare a fondo la release finale del codice di calcolo SASHA (D'Amico e Albarello, 2007). Tra le possibili scelte di elaborazioni offerte dal programma si è scelto di utilizzare le storie sismiche integrate, per sfruttare al meglio la base informativa disponibile (database delle Int + catalogo dei terremoti). La storia sismica di sito viene definita a partire dai dati osservati che sono integrati, quando mancanti in una data località, da dati calcolati attraverso l'uso di leggi di attenuazione da dati epicentrali. In quest'ultimo caso, per i terremoti regionali sono state utilizzate le due relazioni sviluppate da Pasolini et al. (2007) e Albarello et al. (2007), mentre per gli eventi locali la relazione specificatamente sviluppata per il territorio etneo da Azzaro et al. (2006), tutte sviluppate nel progetto (D10). Infine, è stata anche testata la procedura che consente di integrare la storia di sito attraverso la stima delle probabilità di superamento di un dato valore di intensità a partire dai valori di intensità risentiti per lo stesso terremoto in località vicine (entro 20 km). Quest'ultimo approccio sembra riprodurre in modo migliore i dati osservati,

riducendo gli effetti di sovrastima determinati dalla legge di attenuazione per i terremoti regionali.

Dalle storie sismiche così definite il programma esegue un'analisi di completezza per ciascuna località considerata e fornisce, per ogni grado d'intensità, la probabilità che in un intervallo di 50 anni si verifichi almeno un terremoto con effetti al sito di una data intensità. I valori di intensità I_{ref} di tutte le località che abbiano una probabilità di superamento del 10% vengono infine rappresentati, per punti, su mappa (Fig. 1a). Il programma consente anche la rappresentazione areale della stima della pericolosità, calcolando la storia sismica ad ogni nodo di una griglia regolare con un passo di 1 km (Fig. 1b). Con questa scelta di calcolo e rappresentazione, saranno utilizzati tutti i dati osservati prossimi al nodo, integrati dai dati calcolati attraverso la legge di attenuazione prescelta.

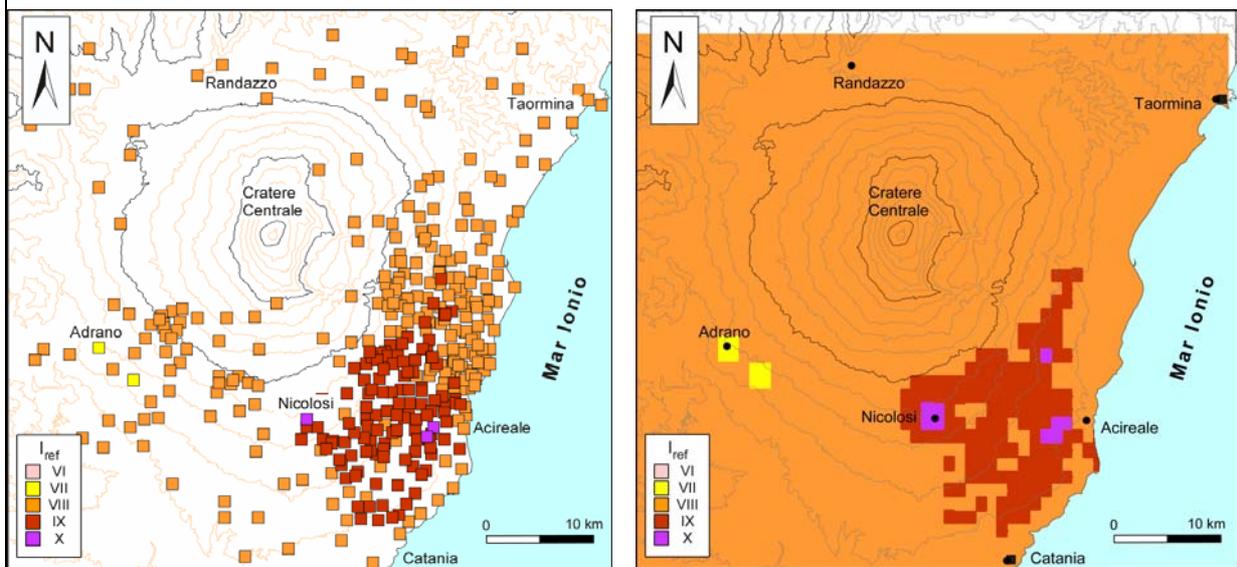


Fig. 1: Mappa di pericolosità in termini di intensità macrosismica attesa (probabilità del 10% in 50 anni). a) rappresentazioni per località del database, b) rappresentazione su griglia con passo di 1 km.

La mappa evidenzia un'area omogenea di valori di intensità attesa elevati ($I_{ref}=IX$ MCS) nel versante sud-orientale dell'Etna, con due massimi ($I_{ref}=X$ MCS) relativi alle località di Nicolosi e Aci Consolazione (frazione del comune di Acicatena). Quest'ultimo è in particolare determinato dal valore osservato del terremoto del 20-2-1818. Alcuni punti con valori più bassi ($I_{ref}=VIII$ MCS) localizzati nell'area tra Acireale e Nicolosi derivano da dati di intensità osservati relativi all'evento dell'11-1-1693. Ciò indica che in alcune condizioni la legge di attenuazione adottata non riproduce il pattern osservato, ed induce una leggera sovrastima. Analoga considerazione vale per il versante sud-occidentale del vulcano, dove i valori più bassi ($I_{ref}=VII$ MCS) di Adrano e Biancavilla, sempre per l'evento del 1693, vengono superati da quelli calcolati per le aree circostanti. I risultati ottenuti dimostrano che i valori di pericolosità nell'area etnea, per larga parte determinati dagli effetti dei terremoti delle zone calabro-messinese (1908) e Iblea (1169, 1693), sono tuttavia influenzati dagli eventi locali generati dal sistema di faglie attive che attraversa il versante orientale del vulcano.

Sempre all'interno del Task 2, la UR 4 ha svolto attività anche nel **Deliverable 10**, analizzando il problema dell'attenuazione dell'intensità macrosismica nei distretti vulcanici italiani (Azzaro et al., 2006). Tale studio ha messo in evidenza che le relazioni disponibili valide per l'intero territorio nazionale portano a sovrastime

dell'intensità macrosismica calcolata da dati epicentrali, e quindi ad un innalzamento dei valori dell'hazard ricavato da metodi di sito. Infatti. Per l'Etna in particolare, si ha una forte attenuazione dell'intensità in funzione della distanza ($\Delta I=4$ in 20 km rispetto ai circa 70 km nelle aree tettoniche) (Fig. 2). La relazione ottenuta è in forma logaritmica del tipo:

$$\Delta I = 0.98 \ln (D) + 1.01 \quad R^2 = 0.92 \quad \text{per } D \geq 0.4 \text{ km}$$

dove D è la distanza ipocentrale. Essa è stata utilizzata per i calcoli di pericolosità di cui sopra.

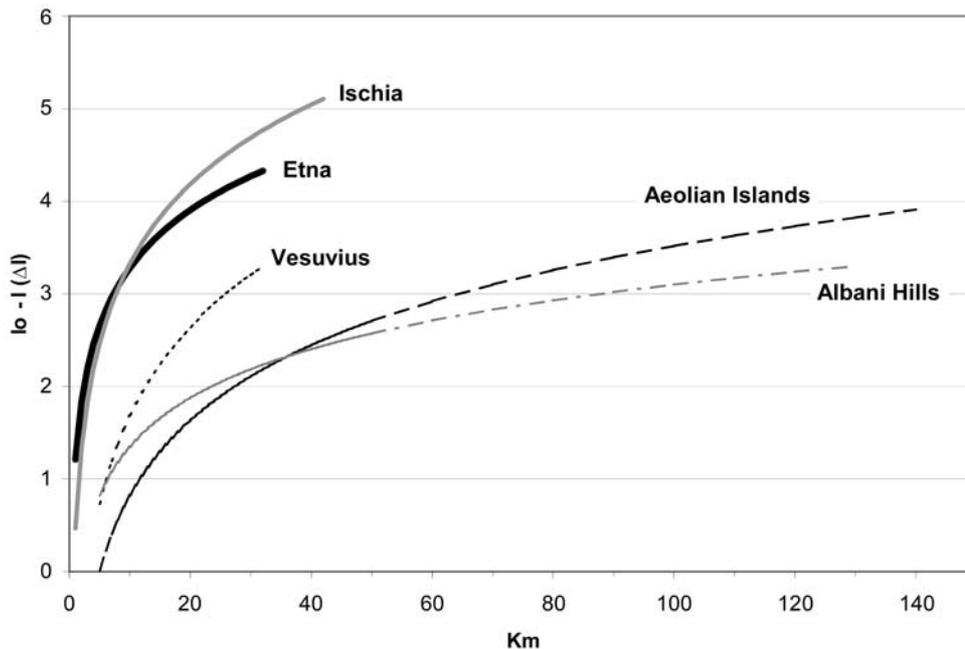


Fig. 2: trend dell'attenuazione dell'intensità macrosismica nelle aree vulcaniche italiane.

Per quanto riguarda il **Task 4** (Aggiornamento dei database sismologici), la UR 4 ha contribuito ai **Deliverables 17 e 18**, finalizzati rispettivamente alla compilazione delle versioni aggiornate del database macrosismico DBM07 e del catalogo CPTI07. Circa il primo (D17), nel secondo anno del progetto, la UR4 si è occupata del caricamento dei dati relativi ai Bollettini Macrosismici INGV dal 2000 al 2006 e di numerosi terremoti siciliani, sia storici che recenti. L'inserimento di nuovi dati provenienti da fonti/repertori differenti ha come conseguenza la necessità di identificare univocamente le località indicate negli studi originali con quelle presenti nella directory geografica compilata per DBMI04 o, qualora la località non fosse presente, di creare un nuovo punto. La risoluzione di questi problemi ha richiesto la consultazione integrata di diversi strumenti geografici, tra i quali la cartografia IGM (sia tradizionale sia in formato digitale attraverso il sito del Portale Cartografico Italiano), gli Annuari generali dei Comuni e delle frazioni d'Italia (TCI, 1980-1985; 1993) e il Dizionario di Toponomastica UTET (AA.VV., 1990). Dopo la prima fase di associazione dei dati di intensità al riferimento geografico, sono state compiute varie verifiche sia mediante interrogazioni mirate del database, sia attraverso l'analisi in mappa della distribuzione dei punti di intensità per ogni terremoto. Complessivamente per il Bollettino Macrosismico sono state inserite 37.524 osservazioni relative a 556 terremoti, che interessano 7.290 località; Per i terremoti siciliani 260 osservazioni relative a 14 terremoti. Rispetto al numero totale delle

località presenti in DBMI04, 975 (corrispondenti a 1.945 osservazioni) risultano essere nuove.

L'aggiornamento del catalogo parametrico (D18) prevede un formato innovativo nel quale coesisteranno parametri macrosismici e strumentali. A partire da una prima compilazione fatta dalla UR Stucchi per il periodo successivo al 1980, la UR4 ha collaborato alla verifica, controllo ed implementazione dei dati di un dataset di 4.884 records relativi ad eventi di $M \geq 3.5$ (intensità macrosismica $I \geq V-VI$). In particolare: per il periodo 1981-2002 è stata controllata la correttezza delle informazioni riportate rispetto ai records originali per gli eventi già inseriti in CPTI04, e sono stati aggiunti ulteriori records sia macrosismici che strumentali prima non disponibili; per il periodo 2003-2006 l'inserimento è stato ex-novo.

In particolare, per quanto riguarda i cataloghi strumentali sono stati aggiunti 20 terremoti del 2003 provenienti da CSTI03, 207 terremoti dai Bollettini della sismicità strumentale INGV del 2003-2006; 74 eventi etnei localizzati dalla rete sismica della sezione INGV di Catania.

Per quanto riguarda i cataloghi macrosismici, dai Bollettini macrosismici dell'INGV sono stati aggiunti sia i terremoti per gli anni 2000-2002 non ancora inseriti (37 eventi) sia tutti quelli degli anni 2003-2005 (36 eventi). Per tutti gli studi è stata infine verificata l'associazione in famiglie di terremoti ed è stato indicato in forma preliminare il record macrosismico e strumentale di riferimento. Dopo aver apportato le correzioni e integrazioni sopra richiamate, il catalogo, per il periodo 1980-2006, contiene 1.770 terremoti, di cui 234 nuovi, per un totale di 5.254 records.

Pubblicazioni

Azzaro, R., Barbano, M.S., D'Amico, S. & Tuvè, T. (2006): The attenuation of seismic intensity in the Etna region and comparison with other Italian volcanic districts. *Ann. Geophys.*, **49**, 4/5, 1003-1020.

Azzaro, R., D'Amico, S., Tuvè, T., Albarello, D., Barbano, M.S. & D'Amico, V. (2006): Preliminary results of probabilistic seismic hazard assessment in the volcanic region of Mt. Etna. *1° European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3-8 september 2006, Ginevra (Svizzera), Abstract book*, 151.

Azzaro, R., D'Amico, S., Tuvè, T., Albarello, D., Barbano, M.S. & D'Amico, V. (2006): Studio preliminare di pericolosità sismica nell'area del M. Etna attraverso l'uso probabilistico di dati di intensità. *25° Convegno Nazionale GNGTS, 28-30 novembre, Roma, riassunti estesi comunicazioni*, 243-244.

Azzaro, R., Barbano, M.S., D'Amico, S., Tuvè, T., Albarello, D. & D'Amico, V. (2007): First studies of Probabilistic Seismic Hazard Assessment in the volcanic region of Mt. Etna (Southern Italy) by means of macroseismic intensities. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, in stampa.

Stucchi, M., Camassi, R., Rovida, A., Locati, M., Ercolani, E., Meletti, C., Migliavacca, P., Bernardini, F. & Azzaro, R. (2007): DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. *Quad. Geof.*, 27 pp.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR5 - Coordinatore: Calvino Gasparini (INGV-Roma1)

Scheda non ancora pervenuta al 31 luglio 2007.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR 6 - Coordinatore: Aldo Marturano (INGV-Osservatorio Vesuviano)

L'iniziativa della UR nel corso del progetto si è concentrata sulle attività descritte nel seguito per argomenti.

Terremoti tra il IX e l'XI secolo in Italia Meridionale

Riesame di eventi sismici che hanno interessato l'Italia Meridionale basata su fonti di origine ecclesiastica, essenzialmente benedettina, provenienti, per la precisione, dalle abbazie di Montecassino, di S. Vincenzo al Volturno, di S. Sofia di Benevento, di S. Clemente a Casauria, dal monastero di S. Benedetto di Salerno, da un ignoto monastero di Capua (in cui opera il cronista Erchemperto) e dalla cattedrale di Bari. Fonti che hanno offerto alcuni notevoli vantaggi ai fini dello studio in oggetto, che può infatti così fondarsi, per un considerevole lasso di tempo, su 'stazioni' informative omogenee, delle quali sono conosciute, oltre che la localizzazione, le modalità di annotazione degli eventi, il periodo di attività nonché le procedure di conservazione e trasmissione delle registrazioni. In Fig. 1 sono riportate le collocazioni topografiche di tali centri scrittori, e nel riquadro i rispettivi periodi di attività. Tali caratteristiche hanno permesso fra l'altro, per il periodo IX-XI secolo, di stimare la probabilità di occorrenza per una determinata area sismogenetica di un evento di assegnata magnitudo, una sorta di valutazione di completezza per aree sismogenetiche considerata la rete dei centri di registrazione non strumentali operanti (Marturano e Rinaldis, 1996; 2002). Gli eventi considerati sono elencati in Tab. 1.

Il contributo per ciascun evento si articola nell'esame critico delle fonti e nell'analisi sismologica. Le soluzioni proposte vincolano la datazione, la collocazione geografica, il piano quotato e la magnitudo dell'evento (Figliuolo e Marturano, 2002).

Bibliografia:

- Marturano A., and Rinaldis V., (1996). Seismic History and consistent seismicity: Evidence from Southern Italy. *Natural Hazard* 14: 11-21, 1996.
- Marturano A. (Ed). (2002). Contributi per la storia dei terremoti nel Bacino del Mediterraneo. Oss. Ves., Istituto It. Studi Filosofici. Storia e Scienze della Terra: Collana diretta da G. Luongo, G. Macedonio, G. Polara, G. Vitolo.
- Figliuolo B., Marturano A. (2002). Terremoti in Italia Meridionale dal IX all'XI secolo. In Marturano A. (Ed), 33-68.
- Marturano A., Rinaldis V., (2002). Il territorio e la sua storia sismica implicazioni e conseguenze di ricerca multidisciplinari mirate. In Marturano A. (Ed), 11-32.

Il terremoto del 15.01.1466

Riesame delle fonti note ed esplorazione completa dei fondi diplomatici. Il contributo si articola nell'esame critico delle fonti e nell'analisi sismologica. Il sisma si verificò nella notte tra martedì 14 e mercoledì 15 gennaio del 1466 procurando

danneggiamenti sensibilmente maggiori rispetto a quelli precedentemente valutati. Si colloca nella stessa area sismogenetica del terremoto irpino del 23 novembre 1980 e, inoltre, il confronto tra località parimenti danneggiate di questi due eventi, evidenzia la sovrapposizione perfetta della parte meridionale del piano quotato del terremoto recente su quello antico (Figliuolo e Marturano, 1996). Questa particolarità ha permesso di stimare la superficie di faglia interessata dal terremoto medievale permettendo di determinarne il meccanismo focale come quello del terremoto del 1980 (strike: $315\pm 15^\circ\text{N}$; dip: 60°NE), il momento sismico ($M_0=7.5E18\text{ Nm}$) la magnitudo ($M_s=6.5$) e il più probabile punto di nucleazione (Marturano, 2007). In Fig. 2 sono riportate le località maggiormente colpite dal terremoto del 1466 che hanno contribuito alla determinazione dei parametri sismici soprariportati e la faglia sismogenetica comparata a quella determinata per il terremoto del 23.11.1980.

Bibliografia:

Figliuolo B. and Marturano A., (1996): Il terremoto del 1466. Rassegna Storica Salernitana, 25, 93-109.

Marturano A., 2007. The January 15, 1466 and November 23, 1980 Irpinia (Italy) earthquakes. Boll. Geof. Teor. Appl. (in press).

Terremoti nelle aree vulcaniche napoletane

Le aree vulcaniche napoletane sono caratterizzate da terremoti di elevata intensità prodotti da eventi di magnitudo minori comparati alle limitrofe aree appenniniche.

Vesuvio

L'area Vesuviana ha sperimentato gli eventi di maggiore intensità nel periodo precedente l'eruzione del 79 d.C. tra i quali quello del 62 d.C. è considerato il maggiore. Comunque per questi eventi, la disponibilità di un piano quotato limitato a pochi punti ha sempre lasciato notevoli incertezze sulla valutazione della loro magnitudo. I terremoti successivi, dalla crisi sismica precedente l'eruzione del 1631 ad oggi, sono stati tutti di intensità inferiore, ma conservano, come per i terremoti di età classica, piani quotati insufficienti per una valutazione in termini di magnitudo che tenga conto delle peculiarità dell'area. Recentemente, durante la crisi sismica del 1999 è stato prodotto il maggiore terremoto dal 1944, l'anno dell'ultima eruzione vesuviana. Pur se di moderata energia, $M_l=3.6$, il terremoto del 9.10.1999 ha raggiunto in area epicentrale un'intensità pari al VI grado MCS ed è stato avvertito in una zona abbastanza ampia da permetterne una stima dei parametri macrosismici (I_0 , M_m , attenuazione) ora confrontabili con quelli strumentali.

Questa opportunità ha permesso finalmente di poter rianalizzare i terremoti storici utilizzando dei vincoli testati localmente. È stato pertanto possibile stimare il terremoto del 62 d.C. ($M=5.1\pm 0.3$), i terremoti correlati alla crisi sismica pre eruttiva del dicembre 1631 e quelli posteriori che non sembrano aver mai superata la soglia $M=4.5$.

Bibliografia:

Marturano A. e Rinaldis V. (1995). Il terremoto vesuviano del 62 d.c.: un evento carico di responsabilità. In: ARCHAOLOGIE UND SEISMOLOGIE - La Regione

Vesuviana dal 62 al 79 D.C. Colloquium • Boscoreale • 26-27 November 1993. p 131-135. Deut. Arch. Inst. Rom, Sopr. Arch. Pompei, Oss. Ves. - Biering & Brinkmann, Munchen.

Figliuolo B. e Marturano A. (1997). Catalogo delle eruzioni vesuviane in età medioevale (secoli VII-XV). In: "Mons Vesuvius" a cura di Luongo G., Fiorentino (Ed.), Napoli, 77-90.

Marturano A. e Scaramella P. (1997). L'eruzione del 1631 dedotta dall'analisi delle relazioni sincrone. In: "Mons Vesuvius" a cura di Luongo G., Fiorentino (Ed.), Napoli, 115-130.

Marturano A. and Cubellis E., (2000). The vesuvian earthquake of october 9, 1999. Macrosismic survey. Open File Report N.4 2000. <http://www.ov.ingv.it>.

Cubellis E., Marturano A. (2002). Mt.Vesuvius:a macroseismic study of the earthquake of october 9, 1999. *J.Volcanol.Geotherm.Res.*, 118: 339-351.

Marturano A. (2006). Geophysical precursors at Vesuvius from historical and archaeological sources. In: Dobran F. (Ed.), *Vesuvius education, security and prosperity. Developments in Volcanology*, 8, Elsevier.

Cubellis E., Marturano A. (2006). Analysis of historical and present earthquakes at Vesuvius for seismic hazard evaluation. EGU06-A-08131, Vienna, 2-7 Aprile 2006. Deposited Earth-Prints: <http://hdl.handle.net/2122/1086>

Cubellis E., Luongo G., Marturano A., (2007). Seismic hazard assessment at Mt. Vesuvius: maximum magnitude expected. *J.Volcanol.Geotherm.Res.*, 162: 139-148.

Campi Flegrei

Come per l'area vesuviana il terremoto del 4.10.1983 (M=4.2) collegato alla crisi bradisismica del 1982-84 può essere utilizzato come riferimento per i terremoti dell'area. I maggiori terremoti in tempi storici sono stati registrati in connessione con l'eruzione storica del Monte Nuovo e di magnitudo stimate $M \leq 4.5$.

Bibliografia:

Branno A., Esposito E, Luongo G., Marturano A., Porfido S., Rinaldis V. (1984). The October 4th, 1983. Magnitude 4 earthquake in Phlegraean fields: macroseismic survey. in Barberi F., Hill D.P., Innocenti F., Luongo G. and Trevisi M. (editors). *Bulletin Volcanologique*, 47, 2, 233-38.

Cubellis E., Marturano A. (2006). Analysis of historical and present earthquakes at Campi Flegrei caldera for seismic hazard evaluation. Int. Workshop "Campi Flegrei Caldera Deep Drilling Project", INGV, Napoli, 29-31 maggio 2006. Deposited Earth-Prints: <http://hdl.handle.net/2122/2072>.

Ischia

Studio approfondito, con analisi di fonti edite e inedite, della sismicità dell'isola d'Ischia che registra i più alti livelli di intensità dei terremoti storici dell'area vulcanica napoletana. Notevoli tuttavia sono ancora le incertezze sui fenomeni sismici che hanno preceduto ed accompagnato l'ultima eruzione storica, quella dell'Arso 1301-1302, nel settore orientale dell'isola.

Particolare attenzione è stata rivolta agli effetti del terremoto del 28 luglio 1883 (Fig. 3), stimato XI grado MCS, che per qualità e quantità dei dati ha consentito uno studio

di maggiore dettaglio delle caratteristiche sismologiche dell'evento, localizzazione epicentrale, valutazione della magnitudo (in un range 4.3-5.2), con risultati che modificano quanto si riporta nel catalogo. La delimitabilità della sorgente (faglia subverticale circa E-W, con lunghezza circa 2 Km, profondità circa 1 km), coerente con l'area sismogenetica definita dalla sismicità storica, e l'alta intensità rilevata attribuiscono a questo evento anche le caratteristiche del massimo terremoto atteso nell'isola e quindi le conoscenze sui parametri che lo caratterizzano sono di fondamentale importanza per la valutazione dell'hazard sismico a Ischia

I dati sul danneggiamento al costruito, congiuntamente a quelli sull'ambiente, sono stati integrati con il quadro geologico e strutturale dell'area per fornire maggiori vincoli sulla sorgente (quindi sulla magnitudo) e sul meccanismo mentre sono emersi chiari elementi di amplificazione di circa 1 grado MCS tra siti ubicati su substrato rigido e sciolto, condizione molto diffusa nell'isola con importanti ricadute sulla mappa del danno atteso (Fig. 4).

Bibliografia

Cubellis E. (1985). Il terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883 : Analisi degli effetti, modellizzazione della sorgente ed implicazioni sulla dinamica in atto" - Boll. Soc. Natur. in Napoli, 94,157-186

Cubellis E., Luongo G. (1998). "Il terremoto del 28 luglio 1883 a Casamicciola nell'isola d'Ischia - Il contesto fisico", 49-123. In: AA.VV (1998). Monografia N.1, Presidenza del Consiglio dei Ministri, S.S.N., Ist. Polig. Zecca dello Stato, pp.332, Roma.

Cubellis E., Carlino S., Iannuzzi R., Luongo G., Obrizzo F. (2002). Gestione di dati sismici storici tramite GIS : il caso dell'Isola d'Ischia. Atti ASITA, I : 947- 951.

Cubellis E., Carlino S., Iannuzzi R., Luongo G., Obrizzo F. (2004). Management of Historical Seismic Data Using Gis: The Island of Ischia. Natural Hazard , 33: 379-393.

Carlino S., Cubellis E., Luongo G., Obrizzo F. (2006). On the mechanics of caldera resurgence of Ischia Island (southern Italy). Geological Society, London, Special Publications, 269, 181-193

Luongo G., Carlino S., Cubellis E., Delizia I., Iannuzzi R, Obrizzo F. (2006). Il terremoto di Casamicciola del 1883 : Una ricostruzione mancata. Alfa Tipografia, Napoli

Carlino S., Cubellis E., Marturano A. (2007). Macro seismic data of the catastrophic 1883 earthquake at the Island of Ischia (southern Italy): influence of geological conditions on local seismic amplification (in preparazione).

Carlino S., Cubellis E., Marturano A. (2006). Historical earthquakes at Ischia Island and seismic hazard assesment. EGU06-A-08819, Vienna, 2-7 Aprile 2006. Deposited Earth-Prints: <http://hdl.handle.net/2122/1084>

Terremoti posteriori al 1980

A seguito del terremoto del 1980 fu espedita una indagine macrosismica che contemplò un rilevamento in loco per i centri colpiti da intensità $\geq VII$ e da una indagine mediante questionari per i centri con $\leq VII$. Tale metodologia è stata sistematicamente riproposta per i terremoti posteriori al 1980 di seguito elencati:

2 Febbraio 1983	potentino
20 Settembre 1983	caposele
4 Ottobre 1983	campi flegrei
9 Novembre 1983	parma
7 Maggio 1984	parco naz. d'abruzzo
20 Maggio 1985	aquilano
18 Gennaio 1986	isernia prov.
23 Luglio 1986	potentino
2 Maggio 1987	reggio emilia
14 Aprile 1987	colli albani
3 Luglio 1987	marche
8 Gennaio 1988	calabria sett.
5 Maggio 1990	potentino
13 Dicembre 1990	sicilia orientale
3 Aprile 1996	basilicata
26 Settembre 1997	umbria
9 ottobre 1999	vesuvio
31 Ottobre 2002	san giuliano

Come per il questionario del 1980, le domande erano poste per ricevere una risposta collettiva da un campione di studenti che poteva interessare anche l'intera platea di una struttura scolastica. Per il terremoto vesuviano del 1999 le domande sono state formulate per ottenere risposte da ogni singolo compilatore di quella stessa platea scolastica. Il numero delle risposte pervenute è naturalmente aumentato almeno di un ordine di grandezza. Questo ha permesso di evitare sintesi da parte dei compilatori e di poter valutare statisticamente l'avvertibilità per ogni singolo campione, definita ora come "felt index", ed esprimibile comunque in termini di intensità. Il soddisfacente risultato ottenuto per un terremoto di bassa energia ($M_l < 4$) in un'area vulcanica, ha fornito le basi per poter riproporre lo stesso metodo di indagine su un terremoto di moderata energia in aree tettoniche, quello del 31.11.2002, caratterizzato da un'area di avvertibilità molto vasta, e da un'area di danneggiamento ristretta solo ad alcuni comuni.

Bibliografia:

Branno A., Esposito E., Luongo G., Marturano A., Porfido S, Rinaldis V. (1985). Il terremoto di Parma del 9 novembre 1983 e il terremoto di Alfedena del 7 maggio 1984. CNR. GNGTS, Roma.

Petrini V., Esposito E., Luongo G., Marturano A., Porfido S. (1986). Il terremoto del Potentino del 23 luglio 1986. Campi macrosismici della stessa area a confronto. GNGTS, Roma.

E. Esposito, G. Luongo, A. Marturano, S. Porfido (1987). Rilievo macrosismico del terremoto di Reggio Emilia del 2.5.1987 ($M_l = 4.8$). Confronto con alcuni terremoti della stessa area. CNR, GNGTS, pp. 307-318 Roma.

Esposito E., Guerra I., Marturano A., Luongo G., Porfido S. (1990). Il terremoto dell'8 gennaio 1988 ($M_l = 4.1$) in Calabria settentrionale. CNR, GNGTS, pp 1637-1646, Roma.

Luongo G., Marturano A., Rinaldis R. (1990): Analisi dei questionari macrosismici

relativi al terremoto del Potentino del 5.5.1990. CNR, GNGTS. Roma, 13-15/11/1990.
 Cubellis E., Marturano A.(2003). The 31 october 2002 Molise earthquake -
 Macroseismic survey. Open File Report : <http://www.ov.ingv.it>
 Cubellis E., Marturano A. (2004). „Felt Index% del terremoto del Molise del 31
 ottobre 2002. Atti 23° Convegno Nazionale GNGTS, CNR Roma, 15-16 dicembre
 2004, su CD-ROM.

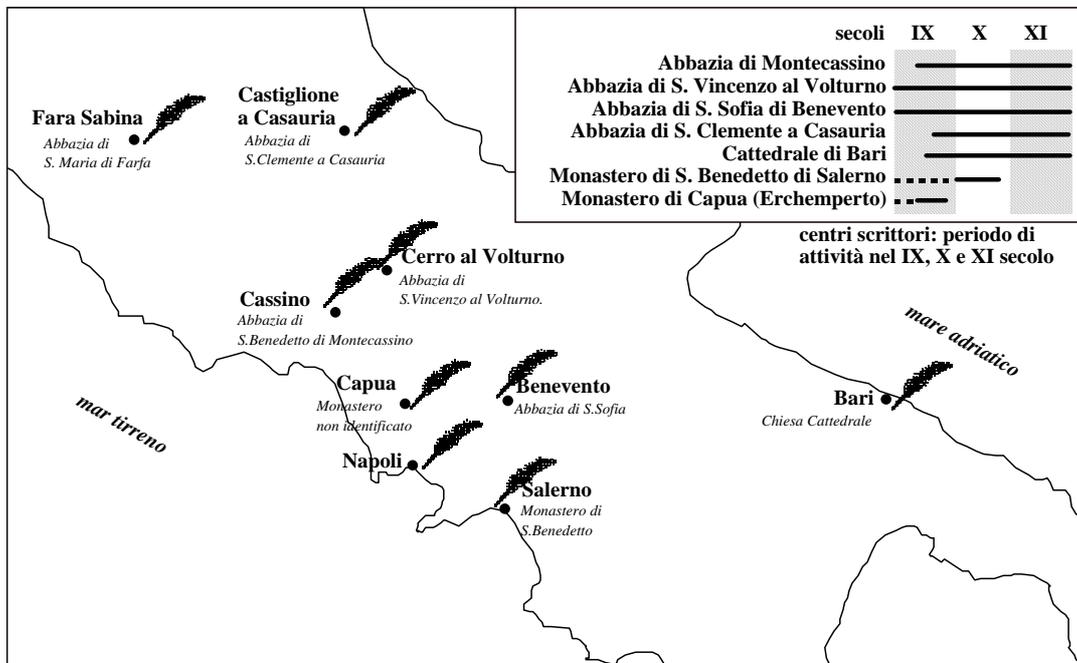


Fig. 1. Collocazioni topografiche dei centri scrittori (IX-XI sec.). Nel riquadro i periodi di attività.

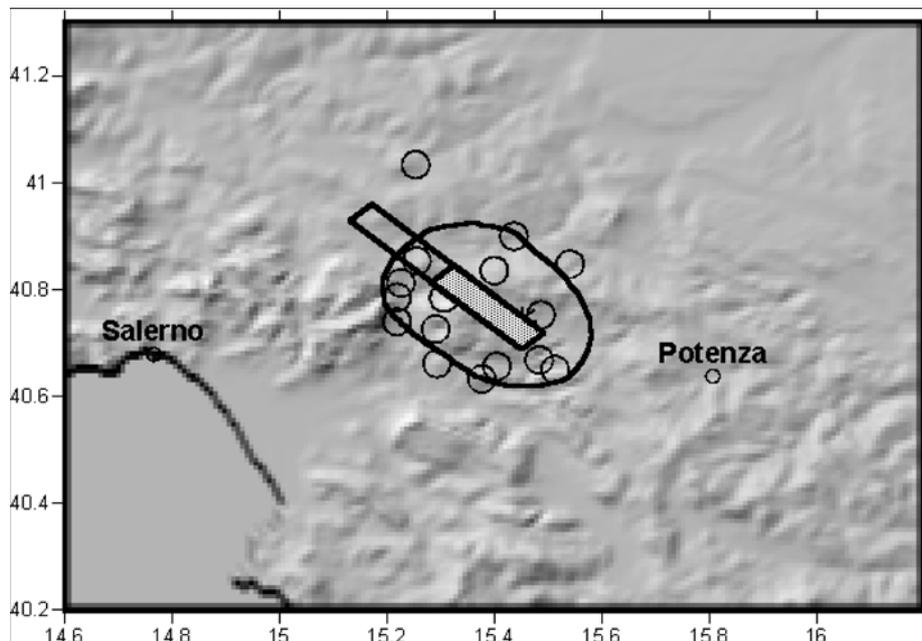


Fig. 2. Terremoto del 15.01.1466. Isosisma sintetica ($I=IX$) e siti con intensità $I \geq IX$. La stella indica il punto di nucleazione, il rettangolo la faglia del terremoto del 23.11.1980, di cui, la parte evidenziata con tratteggio la faglia causativa del terremoto del 15.01.1466.

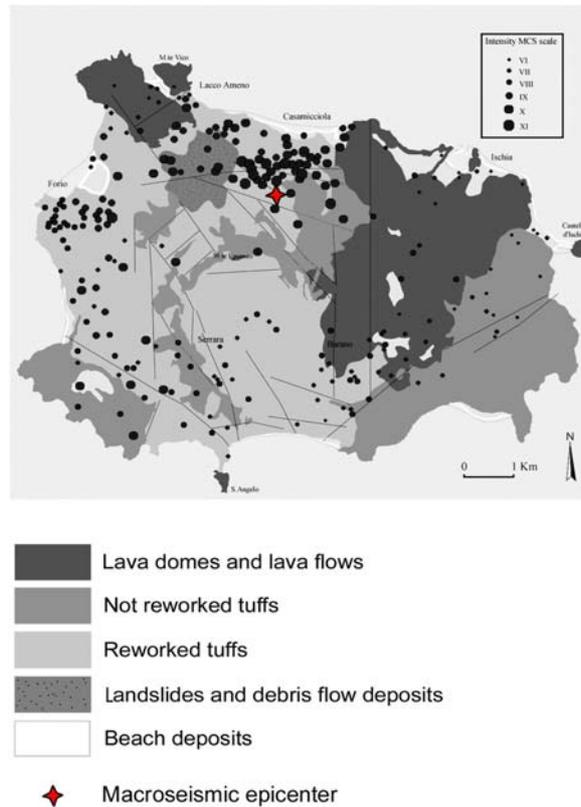


Fig. 3. Mappa dell'intensità del terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883 sovrapposta alla mappa geologica e strutturale dell'isola d'Ischia per evidenziare l'influenza delle condizioni geologiche sull'amplificazione sismica locale (da Cubellis et al., 2004, modificata).

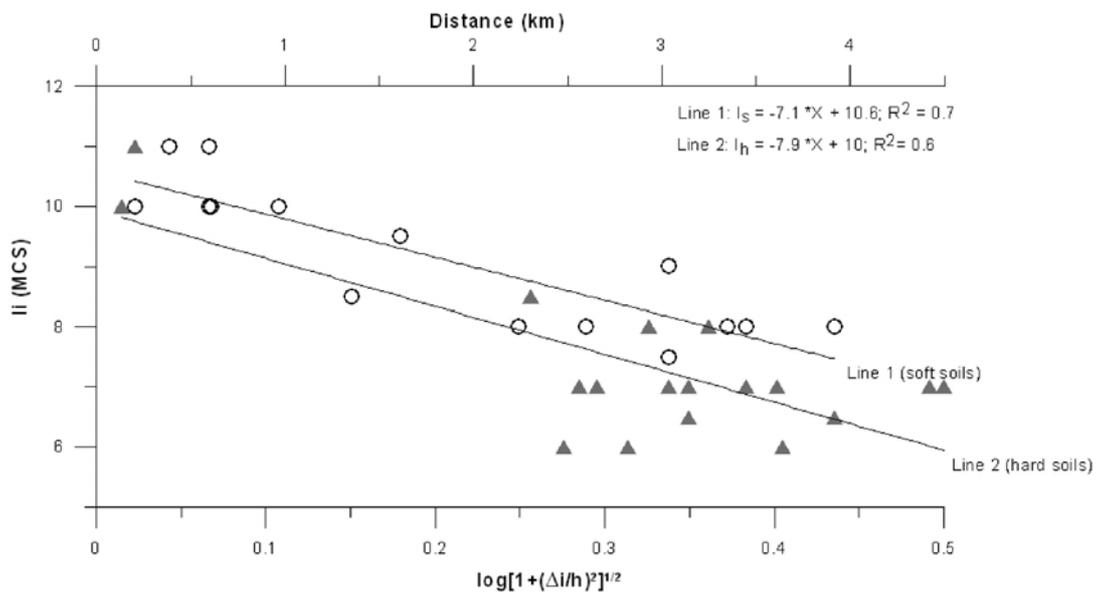


Fig. 4. Terremoto di Casamicciola del 28 luglio 1883. Attenuazione dell'intensità con la distanza dall'epicentro secondo direzioni NW, SE and E, dove la presenza di depositi sciolti e compatti per siti equidistanti dall'epicentro evidenzia la differenza nei livelli di intensità. Questa differenza è più evidente a distanze maggiori di 2 km, dove l'effetto della sorgente diminuisce (da Carlino et al., 2007 - in prep.).

Tab 1. Eventi sismici in Italia Meridionale nel IX, X e XI secolo. Per ogni evento sono indicate: località, provincia, latitudine, longitudine, intensità.

847, giugno				
Cassino	FR	41°29'	13°49'	VI-VII
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	X
Isernia	IS	41°35'	14°13'	X
Roma	ROMA	41°54'	12°29'	V-VI
852, settembre, 1 - 853, agosto, 31				
Sicilia				
893, dicembre, 25 - 894, ante luglio, 13				
Bari	BA	41°08'	16°51'	nr
Benevento	BN	41°7'	14°46'	<VII
Cassino	FR	41°29'	13°49'	nr
Salerno	SA	40°40'	14°45'	nr
989, ottobre, 25				
Ariano Irpino	AV	41°09'	15°05'	IX-X
Ascoli Satriano	FG	41°12'	15°33'	<(VIII-IX)
Avellino	AV	40°54'	14°47'	<(VIII-IX)
Bari	BA	41°08'	16°51'	nr
Benevento	BN	41°7'	14°46'	VIII-IX
Bovino	FG	41°15'	15°20'	<(VIII-IX)
Capua	CE	41°06'	14°12'	VII
Cassino	FR	41°29'	13°49'	<VII
Castiglione a Casauria	PE	42°14'	13°53'	nr
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	<VII
Conza della Campania	AV	40°52'	15°19'	IX-X
Frigento	AV	41°00'	15°05'	IX-X
Lucera	FG	41°30'	15°20'	<(VIII-IX)
S.Agata dei Goti	BN	41°05'	14°30'	<(VIII-IX)
Telese	BN	41°12'	14°31'	<(VIII-IX)
Volturara Appula	FG	41°29'	15°03'	<(VIII-IX)
1004, dicembre 25 - 1005, agosto 31				
Cassino	FR	41°29'	13°49'	VII
Benevento	BN	41°7'	14°46'	nr
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	nr
Castiglione a Casauria	PE	42°14'	13°53'	nr
Fara in Sabina	RI	42°12'	12°43'	nr
1019, aprile, 1				
Benevento	BN	41°7'	14°46'	VI
Bari	BA	41°8'	16°51'	nr
Cassino	FR	41°29'	13°49'	nr
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	nr
Castiglione a Casauria	PE	42°14'	13°53'	nr

1044, aprile, 19, ore 9

Benevento	BN	41°7'	14°46'	VI
Bari	BA	41°8'	16°51'	nr
Cassino	FR	41°29'	13°49'	nr
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	nr
Castiglione a Casauria	PE	42°14'	13°53'	nr

1087, settembre, 10

Bari	BA	41°8'	16°51'	VI-VII
Benevento	BN	41°7'	14°46'	nr
Cassino	FR	41°29'	13°49'	nr
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	nr
Castiglione a Casauria	PE	42°14'	13°53'	nr

1094, gennaio, 14

Benevento	BN	41°7'	14°46'	VI
Bari	BA	41°8'	16°51'	nr
Cassino	FR	41°29'	13°49'	nr
Cerro al Volturno	IS	41°39'	14°06'	nr
Castiglione a Casauria	PE	42°14'	13°53'	nr



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR 7 - Coordinatore 1. anno: Claudio Strobbia (EUCENTRE Pavia)

UR 7 - Coordinatore 2. anno: Rui Pinho (EUCENTRE Pavia)

Il lavoro è stato svolto nell'ambito delle attività previste per il Task 3, *Contributo alla definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati sismicamente*, ed ha portato alla preparazione del Deliverable D16, denominato "Strumenti speditivi per la definizione di priorità di intervento per edifici non adeguati". Si è quindi sviluppato una metodologia per la definizione delle priorità e le tempistiche necessarie all'intervento sismico per edifici non adeguati, pensando ad una prima applicazione concettuale al caso delle scuole Italiane.

Il metodo proposto è basato su più livelli che presentano un grado di dettaglio sempre maggiore. In ogni stadio viene valutato il livello di rischio a cui sono sottoposti gli edifici scolastici. Ogni step della metodologia, riportata in Figura 1, prevede lo studio e l'approfondimento unicamente per quelle strutture che sono state definite ad alto livello di rischio nella fase precedente. Il passaggio da uno step all'altro è di fondamentale importanza perché, oltre a permettere la selezione degli edifici che verranno sottoposti a controlli più dettagliati, evidenzia anche quelli che possono restare senza ulteriori analisi e quindi senza intervento. Lo scopo di selezionare una parte ridotta del numero degli edifici diventa quello di discriminare tra i due gruppi (edifici abbastanza sicuri ed edifici non abbastanza sicuri).

1° Fase: Stima basata su un "desk study"

Come è già stato discusso precedentemente, non è possibile svolgere, immediatamente, stime di rischio per tutti gli edifici scolastici presenti nel territorio italiano, circa 60.000, perché occorrerebbe troppo tempo. La prima fase della metodologia va quindi condotta nel modo più semplice e veloce possibile in maniera da poterla applicare ad un gran numero di edifici. Una prima stima approssimata del rischio sismico delle scuole, viene condotta ipotizzando che tutti gli edifici siano stati fabbricati secondo la normativa vigente nell'anno di progetto. Sotto questa ipotesi di coerenza con il codice in vigore nell'anno di interesse, è possibile assumere la capacità di un edificio pari alla domanda richiesta dalla specifica normativa. Una volta che si è convertito questo valore in termini di PGA si paragona questa prima stima di vulnerabilità (Design PGA) con la mappa di pericolosità valutata attraverso recenti studi (Gruppo di Lavoro, 2004; OPCM, 2006; Montaldo et al., 2005). In questa maniera si ottiene una misura relativa del rischio sismico basata unicamente sull'età dell'edificio e sulla sua posizione geografica. In questo primo step le condizioni locali del terreno non sono prese in considerazione.

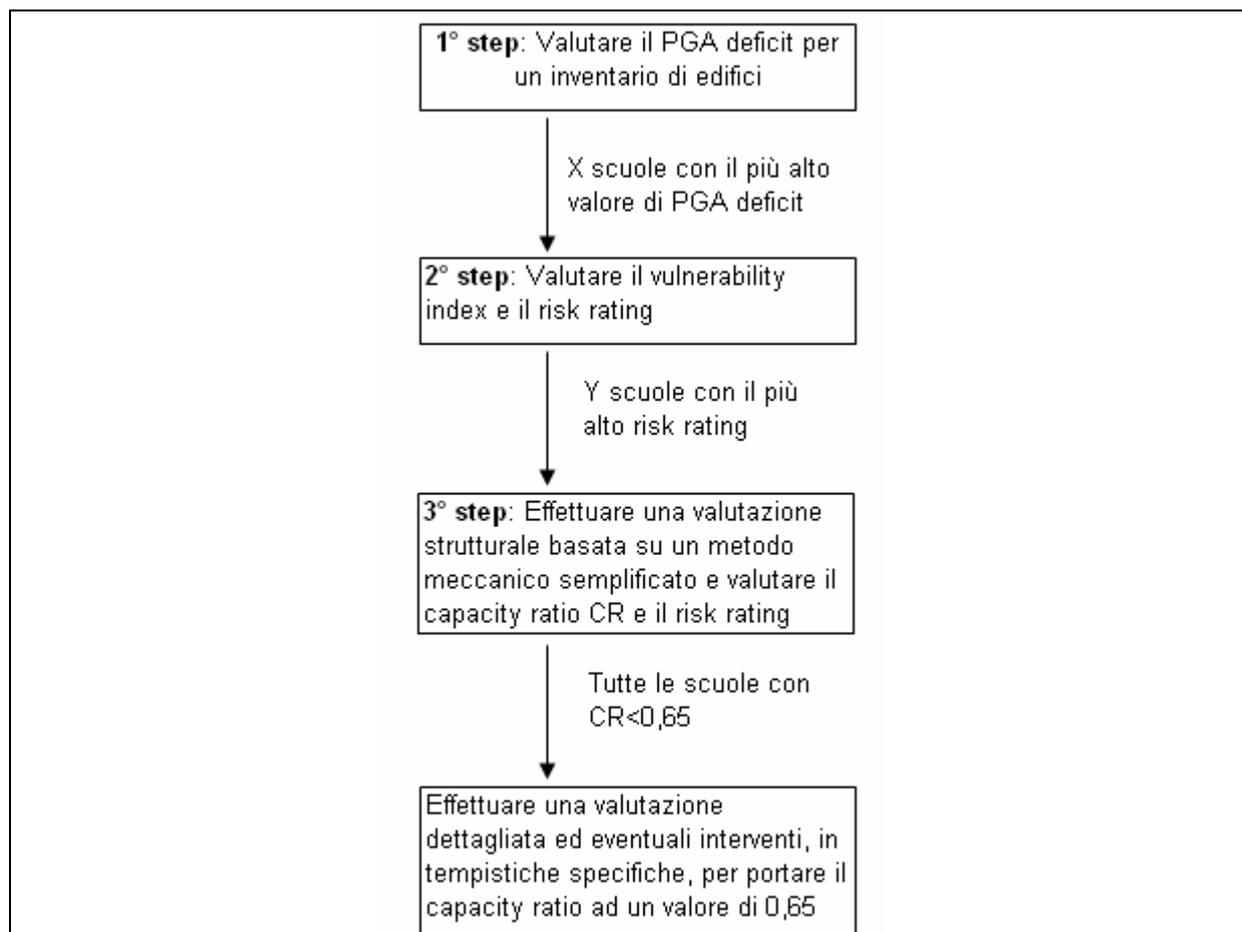


Figura 1: Schema riassuntivo degli steps presenti nella metodologia proposta

Dopo aver calcolato il PGA Deficit (la differenza tra il Current PGA richiesto dalla normativa e il valore di Design PGA effettivo delle strutture) per tutti gli edifici scolastici italiani, quest'ultimi devono essere classificati in ordine decrescente di deficit. Da questo elenco un numero X di edifici viene scelto per passare allo step successivo. Si fissa un valore di deficit di soglia al di sopra del quale sono necessarie analisi più accurate per la stima della vulnerabilità.

2° Fase: Valutazione di vulnerabilità tramite controllo visivo

Come è stato appena discusso, il primo step della metodologia non prevede lo studio delle caratteristiche specifiche dei singoli edifici e fa l'ipotesi forte di uniformità del codice sismico su tutto il territorio italiano. Da questa prima fase, però, un numero importante di edifici X viene selezionato per analisi successive di maggior dettaglio. Questo secondo stadio prevede una valutazione di vulnerabilità basata su ispezioni visive delle X scuole identificate precedentemente e si pone, come obiettivo, l'ulteriore riduzione del numero di edifici a più alto rischio sismico.

L'indice scelto per questo step è il GNDT vulnerability index V. Questo indice, già ampiamente utilizzato in Italia, è un valore noto per molti ingegneri italiani ed è stato già valutato per un numero consistente di edifici, in modo particolare per quelli localizzati in zone ad alto rischio sismico (SERGISAI Working Group, 1997; AA.VV.,

1999; AA.VV., 2000). Per questi motivi, questa seconda fase della metodologia, può essere condotta in tempi relativamente brevi. Occorre tenere presente che, sebbene questo indicatore non rappresenta un livello di accuratezza molto elevato, può, comunque, essere significativo ai fini di una seconda selezione del numero delle scuole italiane.

Il Vulnerability index viene stimato come somma pesata di parametri che considerano sia la configurazione e la tipologia della struttura che la qualità del materiale con cui questa viene edificata. La fascia dei valori caratteristici dell'indice V è diversa se si considera un edificio in muratura oppure uno in cemento armato. Per la prima categoria, V varia tra 0 e 100, mentre per la seconda assume valori tra 25 e 100. Un valore più elevato del Vulnerability index rappresenta un grado di vulnerabilità maggiore. Questo indicatore viene correlato con il valore di PGA in grado di causare il collasso di una struttura attraverso la relazione proposta da Zonno et al. (1999).

Per non discriminare quelle scuole a rischio che hanno un numero di studenti minore rispetto ad altre, è utile utilizzare il Risk Rating che cerca di bilanciare in modo opportuno le due tipologie di rischio che si possono considerare; individual risk (il numero di studenti della scuola non è preso in considerazione) e social risk (il numero di studenti della scuola (NC) è considerato in modo direttamente proporzionale). Questo indice è espresso dall'equazione:

$$\text{Risk Rating} = (PGA_d \times (1.54 + \frac{9.74}{1000}(V + 25)^{1.81}))^k \times (N_c)^a$$

dove \square rappresenta un valore compreso tra 0 e 1 e viene assegnato dalle autorità di governo. Quando $a=0$ si ricade nel caso dell'Individual Risk, viceversa quando $a=1$ ci si riferisce al Social Risk. Il parametro k rappresenta la pendenza dalla curva di pericolosità, introducendo così anche l'influenza della ricorrenza del sisma.

Dopo aver stimato i diversi Risk Rating di ogni scuola, si ordinano gli edifici in ordine decrescente di rischio e si selezionano i primi Y edifici scolastici da far passare alla terza fase della metodologia. Come nel passo precedente, il numero Y va scelto in modo appropriato, in base alle risorse che si hanno a disposizione, prima di procedere con l'ultimo step della metodologia. Anche in questo caso la riduzione deve essere circa di un ordine di grandezza.

3° Fase: Valutazione di vulnerabilità basata su un metodo meccanico semplificato

Le prime due fasi, come si è potuto notare, sono basate su stime molto semplici e veloci in cui non vengono richieste ispezioni e studi specifici sui vari edifici scolastici. Il primo step, infatti, prevede solo la conoscenza dell'anno di progetto e di costruzione della struttura e la sua localizzazione geografica, mentre il secondo step necessita di informazioni già presenti nel database del GNDT. Sebbene questi primi due stadi abbiano permesso di ridurre in modo significativo il numero di edifici da studiare, in questa ultima fase è necessario utilizzare un metodo di stima di maggior

dettaglio per poter prendere delle decisioni finali. Per questo scopo si utilizzeranno i metodi DBELA (Crowley et al., 2004) e MeBaSe (Restrepo-Vélez and Magenes, 2004) rispettivamente per edifici in cemento armato e per quelli in muratura. Questi due metodi forniscono un ottimo equilibrio tra semplicità di applicazione e accuratezza del risultato. La domanda sismica è rappresentata dallo spettro di spostamento calcolato per lo stesso periodo di ritorno e per lo stesso valore di smorzamento della struttura. La capacità, invece, è basata sulla geometria e sul materiale con cui è costruito l'edificio. I risultati che si ottengono da questi due metodi vengono rappresentati in termini di Capacity Ratio ($CR = SC/SD$). Quest'ultimo è definito come il rapporto tra la capacità e la domanda, dove SC è il valore della capacità di un edificio e SD è il valore della domanda. Un valore di CR pari ad uno implica il fatto che la struttura è conforme alla recente normativa sismica e che non ha bisogno di alcun tipo di intervento. Al contrario, un valore di CR inferiore all'unità implica il fatto che la struttura è inadeguata. Il Capacity Ratio CR può essere visto anche come Risk Rating, CR-k, dove k rappresenta come al solito il gradiente della curva di pericolosità.

Basandosi sul CR e sul Risk Rating è ora possibile determinare quali edifici possono essere ritenuti sicuri e compilare un'elenco di scuole a rischio stabilendo delle priorità di intervento. L'importanza della struttura viene considerata nel calcolo del Capacity Ratio. I fattori di importanza di un edificio sono assegnati in modo diverso in base alla funzione che la struttura deve sostenere. I codici sismici sono molto più rigidi quando si tratta di costruzioni finalizzate a contenere un numero ingente di persone (p.e. sale conferenze), per edifici che assumono ruoli importanti durante le emergenze (p.e. ospedali) e per le strutture il cui collasso risulta essere particolarmente grave (p.e. scuole). Per quanto riguarda le scuole il fattore di importanza è stabilito pari a 1,2. Questo valore comporta una soglia di CR_{pre} pari a 0,65. Le scuole che presentano un $CR < 0,65$ devono subire inevitabilmente degli interventi strutturali, mentre quelle che hanno $CR \geq 0,65$ possono essere ritenute sicure a seguito di decisioni da parte delle autorità regionali.

4° Fase: Assegnazione delle priorità e dei tempi di intervento

L'assegnazione delle priorità e dei tempi di intervento sono concetti indispensabili per distribuire in modo corretto le risorse a disposizione. Lo schema di Figura 2 illustra un modo possibile di elencare le priorità. In primo luogo le scuole sono raggruppate in bande di uno stesso valore di Risk Rating. All'interno dello stesso gruppo, gli edifici scolastici sono ordinati in ordine decrescente di numero di studenti NC occupanti l'edificio. Infine, ognuna di queste sottoclassi viene ordinata secondo un valore decrescente di un fattore di rischio dipendente dal tempo. Riassumendo, all'interno della stessa classe di rischio, le scuole sono ordinate, prima, secondo il numero di occupanti l'edificio e, poi, secondo un fattore che indica il rischio possibile in funzione del tempo. La filosofia che sta alla base di questo schema è quella di massimizzare il numero di studenti sicuri nel più breve tempo possibile senza discriminare gli studenti che si trovano nelle scuole più piccole e che sono considerate a rischio.

Dopo aver stabilito una scala di priorità occorre valutare le tempistiche corrette che si hanno a disposizione per ristrutturare le scuole. Anche lo studio di queste tempistiche prende in considerazione il valore di k . Per ottenere una relazione lineare tra il tempo e il Capacity Ratio, si introduce una nuova grandezza, l'Effective Capacity Ratio, ottenuto come $(\text{Risk Rating})^{1/3}$.

Risk Rating	N_c	Final ranking according to time-dependent hazard factor
> 500	> 1000	↓
	500 – 1000	↓ ↓
	250 – 500	↓ ↓ ↓
	100 – 250	↓ ↓ ↓ ↓
	50 – 100	↓ ↓ ↓ ↓ ↓
100 – 500	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
40 – 100	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
20 – 40	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
10 – 20	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
5 – 10	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
3 – 5	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
< 3	> 1000	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	< 50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

Figura 2: Schema delle priorità basato sul Risk Rating, sul numero di studenti N_c e, se necessario, su un fattore di rischio dipendente dal tempo

La relazione che intercorre tra il tempo di intervento, il Risk Rating (espresso come Effective Capacity Ratio) e il numero di alunni occupanti la scuola è completamente determinata da cinque parametri - CR_{min} , CR_{max} , t_{min} , t_0 e \square . Per valori di Effective Capacity Ratio minori di un CR_{min} il tempo necessario all'intervento è costante e pari ad un valore minimo di t_{min} . Il valore di t_{min} è totalmente indipendente dal numero NC di occupanti la scuola. Per dei valori di Effective Capacity Ratio maggiori di un CR_{max} , il valore del tempo è limitato da un t_{max} che, invece, dipende dal numero NC . La relazione tra il t_{max} e NC è governata dagli altri due parametri t_0 e \square ed è ulteriormente limitata da un t_{min} . Infine, per i valori intermedi si assume una relazione lineare.

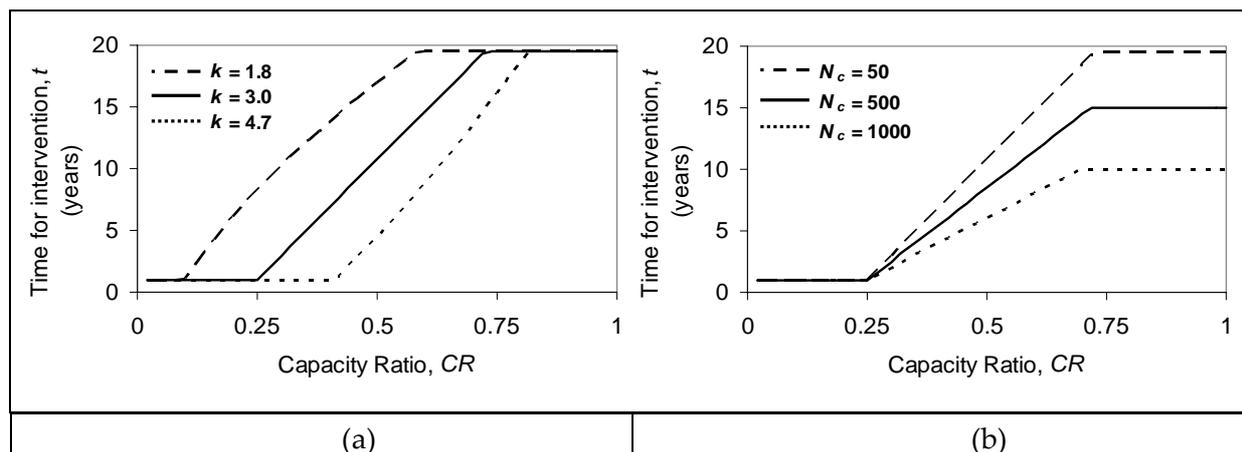


Figura 3: Tempo necessario agli interventi sugli edifici in funzione del CR per (a) tre diversi valori del parametro k, e (b) tre diversi valori del numero di occupanti NC. Le figure riportate sono solo a scopo di esempio e si riferiscono ai valori dei parametri nel testo

In Figura 3a viene riportata la relazione tra il CR e il tempo per valori differenti di k e per un numero $N_C=50$ studenti. Le curve, riportate a titolo di esempio, presentano un $CR_{min}=0.25$, $CR_{max}=0.75$, $t_{min}=1$ anno, $t_0=20$ anni e un $\square=0,01$ anni/studenti. Questi valori possono essere modificati dalle autorità competenti. La figura mostra come, per una curva di pericolosità a pendenza maggiore, che corrisponde ad un valore di k più elevato, il tempo richiesto per l'intervento sia minore.

In Figura 3b è, invece, riportata la relazione tra CR e il tempo per valori differenti di NC e per un valore costante di $k=3$. In particolare si sono considerate scuole con 50, 500 e 1000 studenti. E' interessante notare che, per valori di CR molto bassi, ovvero per scuole ad alto rischio sismico, il valore NC non influenza la stima del tempo di intervento. Al contrario, per scuole a più basso rischio sismico e, quindi, valori di CR maggiori, il tempo di intervento diminuisce all'aumentare di NC. Quest'ultima osservazione sottolinea come questa metodologia tenta di non discriminare quelle scuole con un numero di occupanti minore. Per valori molto alti di NC il valore di t_{max} si avvicina moltissimo a quello di t_{min} . Generalmente, questa condizione non si verrà mai a verificare in quanto non esistono edifici che contengano un numero tanto elevato di studenti.

Dopo aver stabilito una scala di priorità e aver determinato le tempistiche corrette di intervento per gli edifici, occorre approfondire le analisi in modo puntuale. In questo modo si possono identificare le mancanze strutturali di ogni scuola. E' così possibile progettare, in modo efficace, gli interventi sismici più appropriati da compiere sui diversi edifici scolastici.

Oltre al Deliverable D16, si sono preparate anche le seguenti pubblicazioni in cui questo lavoro viene descritto:

Grant D.N., Bommer J.J., Pinho R., Calvi G.M., Goretti A. and Meroni F. [2007] "A prioritization scheme for seismic intervention in school buildings in Italy," *Earthquake Spectra*, Vol. 23, No. 2, pp. 291-314.

Grant D.N., Bommer J.J., Pinho R. and Calvi G.M. [2006] "Defining Priorities and Timescales for Seismic Intervention in School Buildings in Italy," Research Report ROSE 2006/03, IUSS Press, Pavia, Italy.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

*UR 8 - Coordinatore: Dario Albarello
(Dipartimento di Scienze della Terra , Università degli Studi di Siena)*

Le attività svolte hanno avuto come obiettivo principale la definizione di carte di pericolosità sismica dell'intera area italiana prodotte utilizzando un approccio alternativo a quello standard. Scopo ultimo di queste carte è stato quello di consentire una valutazione comparativa delle stime pericolosità ottenute con procedure differenti nell'area italiana.

La produzione di queste nuove carte di pericolosità ha comportato la messa a punto di una serie di prodotti di corredo che sono stati sviluppati in collaborazione con altre UR coinvolte nel progetto e forniti in forma di specifici "Deliverable" (D9, D10, D11, D12).

Il primo di questi prodotti è costituito dalla messa a punto di un codice di calcolo numerico per la determinazione della pericolosità sismica a partire dalle informazioni disponibili sugli effetti dei terremoti del passato ai diversi siti indagati (storie sismiche locali). Il codice di calcolo (descritto in dettaglio nel Deliverable 12) permette la stima delle probabilità di eccedenza relative alle diverse possibili soglie di intensità. Dall'analisi di questi valori di probabilità è poi possibile risalire al valore di una intensità di riferimento I_{ref} , ovvero del massimo valore di intensità caratterizzato da una probabilità di eccedenza non inferiore del 10% in 50 anni. Questa stima è effettuata sulla base delle storie sismiche di sito ricostruite combinando i valori di intensità osservata (e documentata) e quelli "virtuali" dedotti da informazioni epicentrali o da osservazioni disponibili in località vicine. Mediante una opportuna procedura numerica messa a punto nell'ambito del progetto, il codice permette anche di stimare il valore di PGA corrispondente alla stima di I_{ref} ottenuta con la procedura descritta sopra.

Per il suo corretto funzionamento, il codice di calcolo richiede la determinazione di relazioni probabilistiche per la stima dei valori di intensità al sito da dati epicentrali o da località limitrofe. Nel Deliverable 10 sono illustrati nel dettaglio i risultati delle indagini condotte dalla UR in collaborazione con le altre UR coinvolte nel progetto per lo sviluppo di nuove relazioni empiriche valide per l'area Italiana.

Un altro prodotto necessario al funzionamento del codice di calcolo sviluppato dalla UR di Siena è la disponibilità di una relazione empirica per la "conversione" in PGA (A_{max}) dei risultati di pericolosità ottenuti in forma di I_{ref} . A questo scopo, la UR ha collaborato con altre UR per un riesame critico delle relazioni empiriche finora proposte. I dettagli relativi ai contributi forniti in questa direzione sono riportati nel Deliverable 11.

L'applicazione del codice numerico (corredato dalle relazioni di attenuazione e conversione in PGA) ai dati disponibili sulla sismicità storica (DBMI04, CPTI04) ha consentito la definizione di alcune carte di pericolosità relative ai valori di I_{ref} per

l'area italiana. Le mappe ottenute considerando varie opzioni previste dal codice numerico sono state descritte e commentate nel Deliverable 9.

Nella fase conclusiva del progetto, la UR ha collaborato alla messa a punto ed alla applicazione di una procedura di confronto e validazione delle carte di pericolosità prodotte nell'ambito del progetto (Deliverable 13).



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

*UR 9- Responsabile scientifico: Paolo Gasperini
(Dipartimento di Fisica , Università di Bologna)*

Le attività svolte dall'unità di ricerca, nel corso dei due anni del progetto, hanno avuto come obiettivo principale la definizione di una nuova relazione di attenuazione in termini di intensità macrosismica. L'U.R. ha anche collaborato ad altre attività del progetto riguardanti la stima di relazioni Intensità-accelerazione, la compilazione di un nuovo catalogo sismico da utilizzare per le valutazioni di pericolosità, la validazione delle stime di pericolosità e lo studio delle proprietà statistiche di occorrenza dei terremoti per la formulazione di stime time-dependent. Il responsabile scientifico ha anche partecipato al coordinamento dei Task 2 del progetto. I risultati di tale attività sono confluiti in una serie di prodotti che sono stati sviluppati in collaborazione con altre U.R. coinvolte nel progetto e forniti in forma di specifici "Deliverable" (D10, D11, D18).

In particolare i risultati del deliverable D10, relativo alla definizione di una nuova relazione di attenuazione in termini di intensità (che ha portato alla preparazione di due articoli scientifici attualmente in corso di revisione sul *Bull. Seism. Soc. Am.*: Pasolini et al., 2007a; 2007b) hanno rappresentato uno strumento di lavoro per i deliverables D7, D9 e D13. Inoltre tali risultati sono stati utilizzati anche nell'ambito di altri progetti per il confronto tra probabilità di danno e di livello di scuotimento (nell'ambito di S3) e per la formulazione algoritmi di localizzazione epicentrale e di calcolo della magnitudo tramite il codice Boxer (nell'ambito di S2).

È stata eseguita inizialmente un'analisi critica delle relazioni di attenuazione disponibili in letteratura con particolare riguardo a quelle per l'area italiana proposte da Gasperini (2001), Carletti e Gasperini (2003), Albarello e D'Amico (2004). Sebbene tali studi non contengano errori, si è dimostrato che le leggi di attenuazione proposte non riproducono al meglio il reale decadimento dell'intensità macrosismica con la distanza in Italia a causa dell'inadeguatezza di alcune assunzioni. In particolare si è dimostrato che l'intensità epicentrale I_0 fornita dal catalogo CPTI04 (che è calcolata come la massima intensità osservata o leggermente meno quando è presumibile la presenza di effetti di amplificazione locale) non è consistente con l'intensità attesa all'epicentro IE per nessuna delle precedenti relazioni (vedi Fig. 1, curve blu e nera).

La ragione principale di questa incongruenza è che le intensità massime non corrispondono in genere all'intensità media osservata in prossimità dell'epicentro in quanto spesso sono strettamente mescolate con intensità più basse. Oltre a rappresentare di per se una caratteristica negativa è stato mostrato che tale inconsistenza è una delle cause della discrepanza già segnalata da Albarello e D'Amico (2004; 2005) tra le frequenze di occorrenza osservate e calcolate di intensità al di sopra di soglie prefissate. Abbiamo anche verificato che utilizzando al posto di I_0 una ri-definizione coerente dell'intensità all'epicentro ottenuta vincolando la relazione di attenuazione alla media delle intensità osservate e alla distanza media di tali località, rimuove l'inconsistenza (Fig. 1, curve verde e rossa) e migliora notevolmente anche la bontà dell'adattamento della relazione di attenuazione ai dati. Un'altra fonte di errore sistematico per le relazioni di attenuazione proviene dall'utilizzo di un dataset incompleto per le basse intensità. Infatti, le stime al di sotto

del livello di percezione diffusa (IV grado della scala) possono essere facilmente omesse dai rilievi macrosismici soprattutto per i piccoli insediamenti. Questa incompletezza potrebbe riflettersi in una sovrastima dell'intensità media a distanze epicentrali relativamente elevate (in dipendenza dell'energia del terremoto) in quanto è probabile che le intensità al di sopra della soglia di percettibilità diffusa vengano riportate più frequentemente di quelle al di sotto di tale soglia. L'utilizzo di questi dati nella stima della legge di attenuazione potrebbe avere l'effetto di sovrastimare l'intensità prevista e quindi di ridurre l'attenuazione prevista a distanze epicentrali elevate. Per evitare questo problema, Gasperini (2001) suggerisce di rimuovere dal dataset tutte le località poste a distanze superiori a quella per cui, sulla base di una legge di attenuazione preliminare, è attesa un'intensità al di sotto di IV. Sulla base di un'analisi dei residui di intensità abbiamo dimostrato che tale errore sistematico è presente nella legge proposta da Albarello e D'Amico (2004) (vedi Fig. 2) e che l'applicazione del criterio di selezione proposto da Gasperini (2001) è in grado di rimuovere tale errore (Fig. 3) e anche di ribilanciare i conteggi delle frequenze di occorrenza di intensità osservate e calcolate al di sopra di soglie prefissate senza ricorrere, come proposto da Albarello e D'Amico (2004), ad un incremento artificiale del σ della relazione di attenuazione.

Le conclusioni di questo primo lavoro (Pasolini et al, 2007a) consistono nella formulazione di alcune "ricette" che le successive analisi dell'attenuazione dell'intensità in Italia dovranno seguire per evitare stime affette da errori sistematici:

1) i dati di intensità che si trovano a distanze epicentrali superiori al limite di diffusa percettibilità (grado IV MCS) sono incompleti e quindi devono essere esclusi. Ciò può essere fatto applicando la procedura descritta da Gasperini (2001) che consiste nell'escludere tutti i dati di intensità per cui

$$I_0 - 0.53 - 0.055 \min(D, 45) - 0.022 \max(D - 45, 0) < 4 \quad [1]$$

dove $D = \sqrt{R^2 + h^2}$ è la distanza ipocentrale approssimata ($h=10$ km).

2) l'equazione di attenuazione non deve includere un termine proporzionale all'intensità epicentrale con un coefficiente determinato empiricamente (in generale diverso da 1) in quanto, in questo modo l'equazione di attenuazione prevederebbe un offset variabile tra I_0 e l'intensità attesa all'epicentro che è in contraddizione con la definizione di I_0 .

3) l'intensità epicentrale deve essere resa consistente con l'intensità prevista all'epicentro dalla legge di attenuazione, ad esempio ridefinendola in funzione dell'intensità media \bar{I} e della distanza media \bar{D} delle località che osservano l'intensità attraverso una relazione del tipo

$$I_0 = \bar{I} - g(D = h) + g(D = \bar{D})$$

dove g è il funzionale che rappresenta la dipendenza dell'intensità con la distanza e h è la profondità ipocentrale.

Queste ricette sono state il punto di partenza per un secondo lavoro (Pasolini et al, 2007b) in cui i dati di intensità aggiornati, messi a disposizione dal D17 con il database DBMI04, sono stati analizzati attraverso una nuova procedura che descrive il modello di attenuazione nella forma probabilistica completa necessaria per un suo utilizzo in stime di pericolosità sismica. In questo approccio si è cercato di valutare, non solo il valore medio di intensità previsto al sito per un terremoto di data magnitudo o intensità epicentrale ma anche la probabilità associata al superamento di un certo valore di intensità. A questo scopo si è cercato di tenere conto nel modo statisticamente più rigoroso anche di quei dati di intensità che si possono definire

“incerti” (es. VI-VII) e che spesso vengono indicati come numeri seminteri (es. 6.5). Ad essi è stata associata una funzione di densità di probabilità del tipo

$$p(I) \equiv [0,0,0,0,0,0,w_1,w_2,0,0,0,0]$$

con l'ulteriore condizione che

$$\sum_I p(I) = 1$$

Per poter utilizzare tale definizione è stato adottato, per l'analisi di regressione, un approccio di massima verosimiglianza (maximum likelihood). Quest'ultimo ha anche il pregio di permettere l'adattamento di leggi non lineari. Sotto l'ipotesi, suffragata dai risultati ottenuti da alcuni recenti lavori (Gasperini, 2001, Albarello e D'Amico, 2004), che la distribuzione dei residui dell'intensità sia approssimativamente gaussiana, la funzione di verosimiglianza di un modello di attenuazione, che fornisce stime μ_j del valore medio di intensità atteso e σ della relativa deviazione standard, è data da

$$L = \sum_{j=1}^N \ln \left\{ \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \sum_{I=1}^{12} p_j(I) \int_{I-0.5}^{I+0.5} \exp \left[-\frac{(i - \mu_j)^2}{2\sigma^2} \right] di \right\}$$

Per poter valutare a posteriori l'adeguatezza della legge di attenuazione è stata preliminarmente valutata la variabilità intrinseca dei dati di intensità, dovuta ad esempio ad effetti di sorgente e propagazione anisotropi, che non può essere descritta in termini di dipendenza dalla distanza e dall'energia della sorgente. La deviazione standard di 0.62, gradi ottenuta da tale analisi, rappresenta il limite inferiore a cui qualsiasi legge di attenuazione può avvicinarsi ma al di sotto della quale non può andare.

Come modello di attenuazione è stata adottata una funzione log-lineare del tipo

$$\mu(J,D) = I_E + a(D-h) + b \ln \left(\frac{D}{h} \right) \quad [2]$$

in cui il valore medio dell'intensità attesa al sito $\mu(J,D)$ è espressa in funzione dell'intensità attesa all'epicentro I_E e della distanza ipocentrale approssimata D . Il coefficiente a esprime la dipendenza dell'attenuazione dalla dissipazione anelastica e il b dallo spargimento geometrico. In base ai risultati del primo lavoro si è deciso di non utilizzare direttamente I_0 riportata sul catalogo per stimare I_E , e si è optato per una procedura di regressione in due stadi, nel primo dei quali viene ricavata la dipendenza dalla distanza indipendentemente dal termine di sorgente e nel secondo il termine di sorgente viene stimato da I_0 o dalla magnitudo macrosismica M_{aw} . A tale fine l'intensità attesa all'epicentro viene descritta, per ogni m -esimo terremoto in funzione della intensità media di tutti i dati \bar{I}_m e delle medie delle distanze \bar{D}_m e dei logaritmi $\overline{\ln(D)}_m$ delle distanze ipocentrali dei dati come

$$I_E \equiv \bar{I}_m - a(\bar{D}_m - h) - b \left[\overline{\ln(D)}_m - \ln(h) \right] \quad [3]$$

Sostituendo nell'equazione [2], la legge di attenuazione (indipendente da I_E) diventa

$$\mu(\bar{I}_m, D) = \bar{I}_m + a(D - \bar{D}_m) + b \left[\ln(D) - \overline{\ln(D)}_m \right] \quad [4]$$

Per tutti i terremoti con dati di intensità, il termine di sorgente può essere calcolato, noti che siano a e b , attraverso l'equazione [3]. Per permettere l'utilizzo della legge di attenuazione anche per terremoti definiti solo da dati strumentali o di cui si conosca solo l'intensità epicentrale occorre poter stimare I_E da tali dati. Quindi nel secondo stadio della procedura si stimano relazioni empiriche tra I_E e M_{aw} e I_0 sulla base dei dati disponibili per i terremoti presenti nel dataset di intensità.

Cautelativamente sono stati esclusi, dal database di intensità DBMI04, tutti i terremoti con meno di 10 dati e quelli anteriori all'anno 1200. Sono stati anche esclusi tutti i dati non associati a specifiche località, quelli che non si riferiscono a vere stime di intensità (felt, damage ecc.) e quelli relativi a singoli edifici. Sono stati anche esclusi i terremoti con probabile epicentro in mare, quelli di Ischia e quelli entro 25 km dalla sommità dell'Etna. È stata infine applicata la regola di selezione [1] suggerita da Gasperini (2001). Ciò porta a un numero totale di soli 21932 dati utilizzabili sul totale dei 58926 presenti in DBMI04. Si tratta di una notevole perdita di informazione (dovuta in massima parte all'applicazione dell'equazione [1]) ma che garantisce l'affidabilità delle elaborazioni.

I risultati della regressione con massima verosimiglianza dell'equazione [4] in cui anche la profondità h della sorgente (unica per tutti i terremoti, inclusa implicitamente nella distanza ipocentrale) è stata trattata come parametro libero sono:

$$a = (0.0086 \pm 0.0005)$$

$$b = (1.037 \pm 0.027)$$

$$h = (3.91 \pm 0.27) \text{ km}$$

$$\sigma = 0.69$$

di conseguenza il valore medio dell'intensità prevista al sito è data da

$$I = I_E - 0.0086(D - 3.91) - 1.037[\ln(D) - \ln(3.91)]$$

$$D = \sqrt{R^2 + 3.91}$$

Il valore di I_E per terremoti senza dati di intensità può essere ricavato dalle relazioni (ricavate da regressioni ortogonali e quindi reversibili)

$$I_E = -(5.862 \pm 0.301) + (2.460 \pm 0.055)M_{aw} (\sigma_r = 0.50)$$

$$I_E = -(0.893 \pm 0.254) + (1.118 \pm 0.033)I_0 (\sigma_r = 0.63) \quad [5]$$

Si può notare che il valore della deviazione standard $\sigma=0.69$ differisce di poco dal minimo di 0.62, stimato a priori, indipendentemente dalla relazione di attenuazione. Ciò indica che la legge di attenuazione stimata non è lontana da essere ottimale. Quando il valore di I_0 viene fornito attraverso le relazioni [5] la varianza totale deve essere valutata come composizione di quelle delle singole regressioni. Quindi i valori di σ da utilizzare nelle stime di pericolosità, diventano rispettivamente 0.97 (con M_{aw}) e 0.87 (con I_0).

Sulla relazione così ottenuta sono state condotte analisi di stabilità riguardo a scelte operative concernenti parametri "nascosti" adottati nella procedura quali il numero minimo di dati per terremoto, la distanza minima dalla sorgente, i valori dei pesi attribuiti ai gradi intermedi, la massima distanza dei punti di intensità da includere nel calcolo delle medie. In tutti i casi si è verificato che le scelte effettuate non influenzano significativamente i parametri stimati eccetto la profondità media della

sorgente. Anche in questo caso tuttavia si tratta di effetti che non modificano la capacità predittiva della relazione di attenuazione e quindi non hanno influenza sulle valutazioni di pericolosità.

Infine è stata applicata la procedura di validazione a posteriori proposta da Albarello e D'Amico (2004; 2005) che confronta i numeri totali dati di intensità osservati e previsti, al di sopra di varie soglie. È stata notata una significativa discrepanza per i dati maggiori o uguali di X e di XI (dell'ordine rispettivamente del 18% e 33%) che potrebbe essere messa in relazione con le attribuzioni di questi gradi della scala MCS. In particolare tali gradi sembrano essere stati attribuiti dagli interpretatori macrosismici più frequentemente di quanto non dovrebbe capitare, nell'ipotesi che i diversi gradi rappresentino livelli di scuotimento coerenti con la legge di attenuazione log-lineare. In parte tali attribuzioni eccedenti potrebbero essere compensate da un leggero difetto (dell'ordine del 3%) per il grado IX. Ciò potrebbe suggerire la necessità di una revisione delle attribuzioni di intensità presenti nel database macrosismico, limitatamente ai gradi più alti, tenendo conto che nella scala MCS la distinzione tra gradi IX, X e XI è unicamente basata sulle percentuali (50%, 75% e 100%) di edifici in muratura crollati, percentuali che potrebbero essere di difficile valutazione nel caso di eventi abbastanza remoti. Si consideri, a questo proposito, anche la prassi, adottata già da alcuni anni da parte dell'USGS, di non attribuire in genere intensità MM maggiori di IX).

Per quanto riguarda il deliverable D11, relativo all'aggiornamento delle relazioni a_{max}/I e v_{max}/I , il contributo della U.R. è consistito principalmente nel calcolo di regressioni ai minimi quadrati sui dataset disponibili che sono state utilizzate anche nell'ambito dei Deliverables D9 e D13. Sulla base dei dataset disponibili (Margottini, 1992 Faccioli e Cauzzi, 2006). Sono stati considerati quattro diversi database:

DB1: Dati di Margottini et al. (originali con i valori della local intensity, considerati più rappresentativi dello scuotimento misurato nelle stazioni accelerometriche considerate)

DB2: Dati di Faccioli e Cauzzi (originali)

DB3: Dati di Faccioli e Cauzzi con la sostituzione (laddove possibile) dei dati di local intensity di Margottini et al.

DB4: Combinazione del DB1 e DB3 (eliminando i doppi e dando la preferenza ai valori di PGA riportati da Faccioli e Cauzzi).

Per ognuno di essi sono state stimate regressioni ai minimi quadrati ordinarie (LS) e ortogonali (GOR). Queste ultime sono state eseguite utilizzando la procedura suggerita da Fuller (1987) che ricede la conoscenza a priori dei rapporti tra le varianze delle variabili indipendente e dipendente. I risultati, riportati in Tabella 1 e Fig. 4 indicano che, a differenza di quella standard, la regressione ortogonale fornisce risultati pressoché identici per i vari dataset (se si esclude per i valori della deviazione standard). In particolare, il coefficiente di regressione per la GOR risulta prossimo a 0.3, corrispondente al valore teorico ipotizzato da Cancani (raddoppio dell'accelerazione per un incremento di un grado di intensità) invece di circa 0.21 precedentemente stimato da Margottini (1992). Questa diversa interpretazione della relazione può avere importanti conseguenze sui confronti tra le stime di pericolosità in intensità e PGA

Le attività nell'ambito del Task 4 (D18) hanno riguardato l'aggiornamento del database delle magnitudo strumentali per l'area italiana, il calcolo di relazione di conversione empiriche tra le diverse definizioni di magnitudo attraverso regressioni ortogonali e il contributo al completamento della lista degli eventi sismici attraverso la ricerca su cataloghi internazionali (ISC , NEIC, Harvard).

Pubblicazioni su riviste:

Gasperini P., e Lolli B., (2006). Correlation between the parameters of the aftershock rate equation, *Phys. Earth Plan. Int.*, 156, 42-58.

Lolli B., e 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.

Pasolini C., Gasperini P., Albarello D., Lolli B., e D'Amico V., (2007a). The attenuation of seismic Intensity in Italy part I: Theoretical and empirical backgrounds, *Bull. Seism. Soc. Am.*, (Sottomesso).

Pasolini C., Albarello D., Gasperini P., D'Amico, e V. Lolli B., (2007b). The attenuation of seismic Intensity in Italy part II: modeling and validation, *Bull. Seism. Soc. Am.*, (Sottomesso).

Bibliografia citata:

Albarello, D., and V. D'Amico (2004). Attenuation relationship of macroseismic intensity in Italy for probabilistic seismic hazard assessment, *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 45, 271-284.

Albarello, D., and V. D'Amico (2005). Validation of intensity attenuation relationships, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 719-724.

Carletti, F., and P. Gasperini (2003). Lateral variations of seismic intensity attenuation in Italy, *Geophys. J. Int.*, 155, 839-856.

Faccioli, E. and C. Cauzzi (2006). Macroseismic intensities for seismic scenarios estimated from instrumentally based correlations, *Proc. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, paper number 569.

Fuller, W. A., (1987). *Measurement error models*, John Wiley, New York.

Gasperini, P. (2001). The Attenuation of Seismic Intensity in Italy: A Bilinear Shape Indicates Dominance of Deep Phases at Epicentral Distances Longer than 45 Km, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 826-841.

Margottini, C., D. Molin and L. Serva (1992). Intensity versus ground motion: A new approach using Italian data, *Engineering Geology*, 33, 1, 45-58.

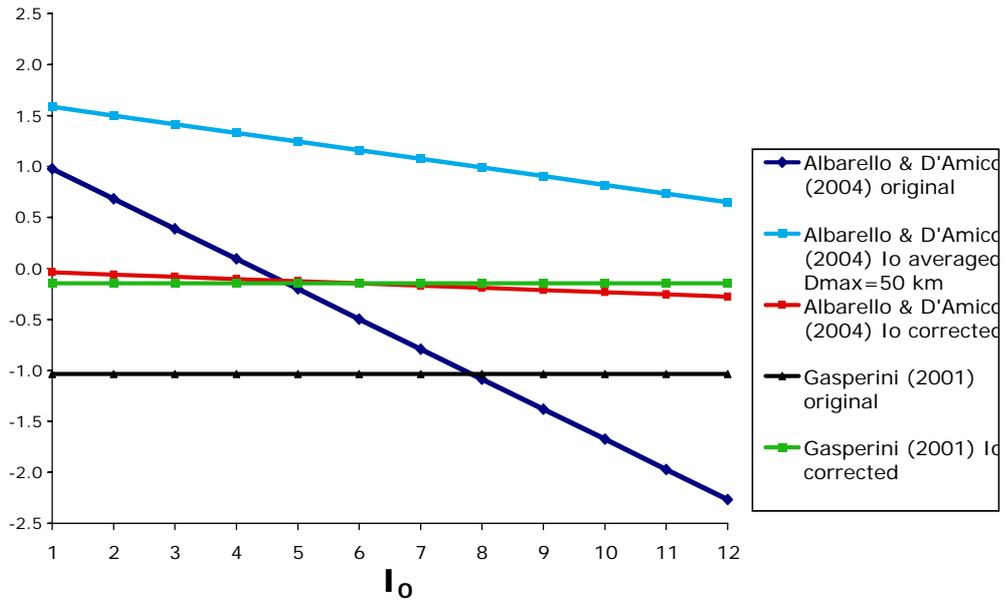


Figura 1 - Differenze tra intensità attesa all'epicentro IE e intensità epicentrale I₀ in funzione di quest'ultima per vari modelli di attenuazione che utilizzano la I₀ originale o quella ricalcolata secondo la procedura sviluppata nell'ambito del progetto.

Albarello and D'Amico (2004) original dataset

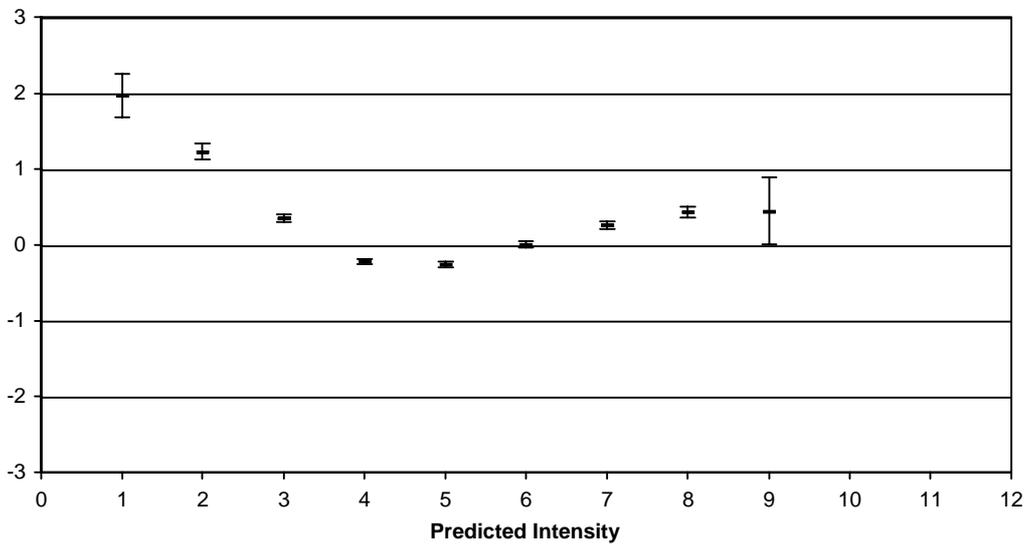


Figura 2- Residui medi della relazione di attenuazione di Albarello e D'Amico (2004) per classi di intensità prevista.

Albarello and D'amico (2004) corrected dataset

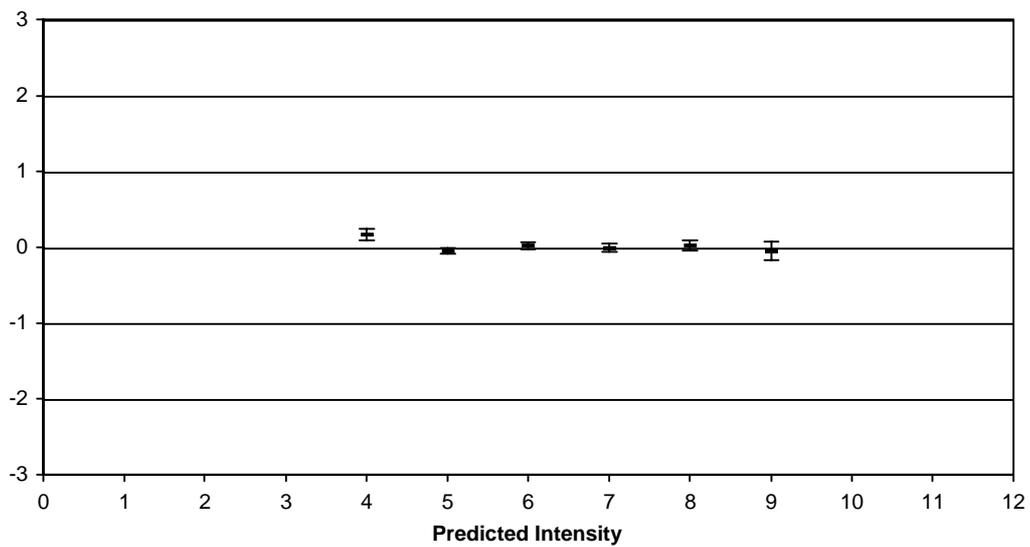


Figura 3 - Residui medi della relazione di attenuazione di Albarello e D'Amico (2004) per classi di intensità prevista se viene applicata la regola di selezione con la distanza proposta da Gasperini (2001).

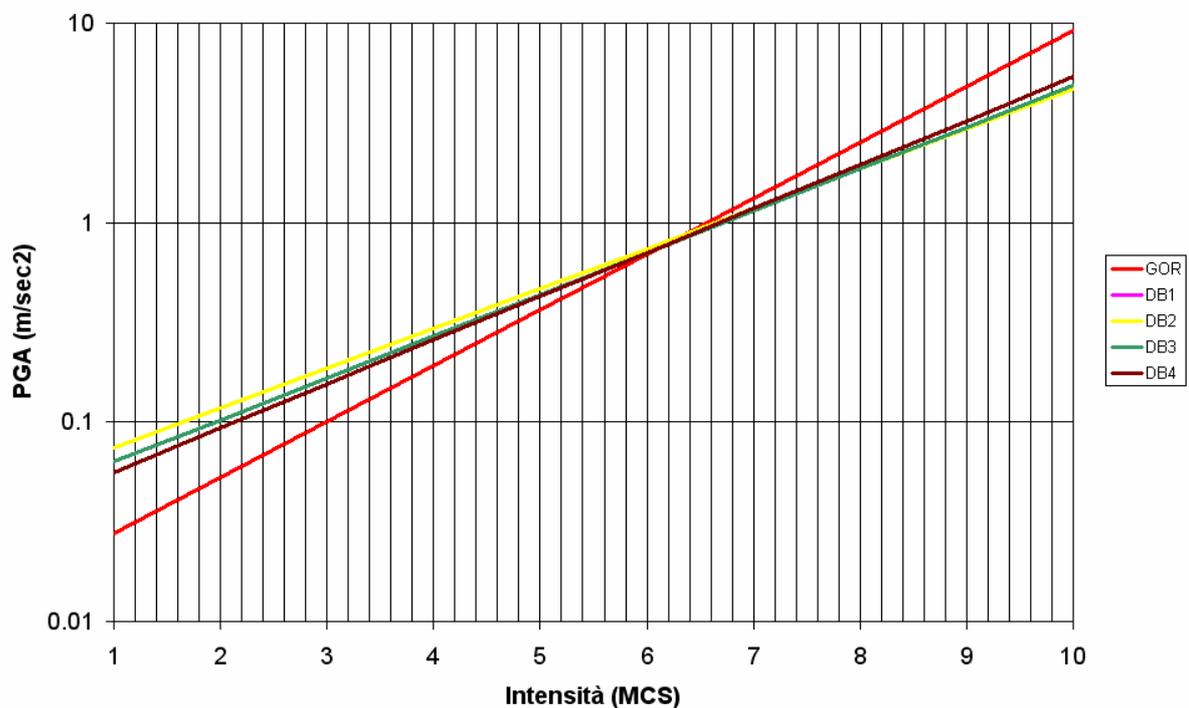


Figura 4. Confronto fra le forme assunte dalla relazione tra PGA e Intensità a partire dalle diverse analisi di regressione riportate in tabella 1.

Base dati	a	b	σ	Regressione
DB1	-1.47 ± 0.25	0.22 ± 0.04	0.21	LS
DB2	-1.33 ± 0.24	0.20 ± 0.04	0.29	LS
DB3	-1.41 ± 0.24	0.21 ± 0.04	0.27	LS
DB4	-1.47 ± 0.19	0.22 ± 0.03	0.25	LS
DB1	-1.85 ± 0.23	0.29 ± 0.04	0.21	GOR
DB2	-1.85 ± 0.23	0.28 ± 0.04	0.30	GOR
DB3	-1.85 ± 0.22	0.28 ± 0.04	0.28	GOR
DB4	-1.84 ± 0.16	0.28 ± 0.04	0.26	GOR

Tabella 1. Risultati delle regressioni standard (LS) e ortogonale (GOR) a partire da diverse combinazioni (DB) dei dati disponibili per l'area Italiana. I parametri a e b sono quelli che risultano quando i valori in PGA sono espressi in metri al secondo quadrato.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR 10 - Coordinatore: Daniele Spallarossa (Università degli Studi di Genova)

Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di $M-R-\varepsilon$

L'attività svolta dall' UR 10 ha previsto la disaggregazione in termini di $M-R-\varepsilon$ (dove M indica la magnitudo, R la distanza sorgente-sito e ε il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R) della pericolosità sismica relativa a 16852 siti corrispondenti ai nodi della griglia adottata per la redazione della mappa di pericolosità sismica d'Italia (Gruppo di Lavoro MPS, 2004). In particolare, sono stati disaggregati i valori mediani di scuotimento (riferiti a suolo rigido), espresso in termini di accelerazione orizzontale di picco (PGA) corrispondenti a 9 periodi medi di ritorno (MRP), valori rilasciati dal deliverable D2 di questo stesso progetto (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>): 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni. I risultati dell'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica sono consultabili sul sito web sviluppato nell'ambito del presente progetto (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>; per la descrizione si rimanda al deliverable D8 di questo progetto: <http://esse1.mi.ingv.it/d8.html>).

Poiché le mappe conclusive di pericolosità sismica, ottenute impiegando il formalismo ad albero logico, sono state elaborate in termini di mediana della distribuzione dei valori di pericolosità (anziché in termini di valori medi), la disaggregazione è stata condotta adottando quali input i modelli ed i valori dei parametri lungo il ramo dell'albero logico a cui corrispondono i valori di scuotimento più prossimi a quelli mediani di riferimento per un dato MRP. In particolare, le assunzioni, i modelli ed i parametri di input adottati per l'analisi di disaggregazione sono quelli corrispondenti al ramo 921 dell'albero logico impiegato per l'analisi di pericolosità sismica d'Italia:

- Catalogo CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004);
- Zonazione ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004);
- Intervalli di completezza definiti su base storica (ramo CO-04.2) (Gruppo di Lavoro MPS, 2004);
- Valori dei tassi di sismicità "individuali" (*activity rates* - AR) e valori di magnitudo massima "osservata" (M_{max1}) (Gruppo di Lavoro MPS, 2004);
- Relazione di attenuazione proposta da Ambraseys et al. (1996) per terreni classificati *rock*.

Il programma di calcolo adottato per la disaggregazione della pericolosità sismica è stato sviluppato presso l'Università di Genova a partire dal software realizzato da Norman Abrahamson e successivamente implementato ed impiegato da Paolo Bazzurro (Bazzurro e Cornell, 1999). Si ricorda che il software suddetto è stato sviluppato e testato nell'ambito del presente progetto durante il primo anno di attività.

La disaggregazione è stata condotta adottando intervalli di M , R ed ε di ampiezza costante. In particolare sono stati impiegati intervalli di M , R ed ε di ampiezza pari a 0.5, 10km e 1.0 rispettivamente. I risultati sono stati restituiti sia in termini di

distribuzioni M - R - ε che in termini di valori medi (\bar{M} , \bar{R} , $\bar{\varepsilon}$) e modali (M^* , R^* , ε^*) di M , R ed ε per ciascun sito. In Figura 1 la variazione geografica dei valori di \bar{M} , \bar{R} , e $\bar{\varepsilon}$ risultanti dalla disaggregazione dei valori di PGA corrispondenti ad un MRP di 475 anni è confrontata con quella di M^* , R^* , e ε^* . In Italia centro-settentrionale \bar{M} varia tra 4.5 e 6.0, mentre M^* assume un valore circa costante di 4.5-5.0 con la sola eccezione del settore orientale in cui, analogamente a \bar{M} , raggiunge valori massimi $M^*=6.0$. In Italia meridionale \bar{M} varia generalmente tra 5.5 e 7.0. M^* , invece, mostra variazioni sostanziali da sito a sito: la pericolosità in aree che in passato sono state colpite da terremoti deboli (es. Provincia di Bari) è controllata da terremoti forti e distanti; in siti caratterizzati da eventi frequenti di modesta magnitudo la pericolosità è dominata da terremoti deboli e locali (area laziale). Le distribuzioni di R e R^* non mostrano grosse differenze. Terremoti vicini, a distanze non superiori a 10km, controllano la pericolosità in aree la cui attività sismica è principalmente costituita da eventi deboli e moderati ma frequenti (Toscana meridionale, Lazio settentrionale o aree vulcaniche quali l'Etna). Generalmente, in siti caratterizzati da valori di PGA più elevati (es. Arco Calabro o zona assiale appenninica), la pericolosità è controllata da terremoti la cui distanza varia tra 10km e 20km. Per quanto concerne la distribuzione geografica di ε e ε^* , le mappe evidenziano che i valori di PGA corrispondenti ad un MRP di 475 anni sono compresi entro 2σ dal valore mediano predetto dalla legge di attenuazione impiegata (σ indica la deviazione standard del termine $\log(\text{PGA})$). Questo significa che il terremoto di scenario, caratterizzato da una data coppia $M=m$ e $R=r$, dovrà produrre uno scuotimento maggiore di quello mediano (predetto dalla legge di attenuazione, dati $M=m$ e $R=r$) affinché il valore di PGA stimato per un periodo di ritorno di 475 anni in un dato sito sia ecceduto. Da queste mappe si evince inoltre che la distribuzione dello scuotimento dovrebbe essere troncata almeno a 2σ dal valore mediano al fine di evitare sottostime della pericolosità (Abrahamson, 2006).

In Tabella 1, oltre al valore di PGA corrispondente ad un MPR di 475 anni, sono riportati i valori medi e modali dei parametri M , R ed ε per le principali città italiane. Per quanto concerne la disaggregazione dei valori di pericolosità corrispondenti ai restanti 8 periodi di ritorno, i risultati, in generale, mostrano che al diminuire del tasso di eccedenza (ovvero all'aumentare del periodo di ritorno) aumenta il contributo alla pericolosità di un dato sito da parte di terremoti forti a brevi distanze. In conclusione si vuole ricordare l'importanza dell'analisi di disaggregazione nell'ambito di uno studio dettagliato della pericolosità sismica di un sito dal momento che, nell'ambito di studi di microzonazione, analisi di liquefazione, analisi di risposta sismica locale, studi di stabilità dei versanti necessitano la conoscenza dei parametri del terremoto di scenario. I risultati elaborati in questo studio, pertanto, possono risultare utili al fine di selezionare (o simulare) accelerogrammi a scopi di progettazione e/o per analisi dinamiche (es. analisi numeriche di risposta sismica locale).

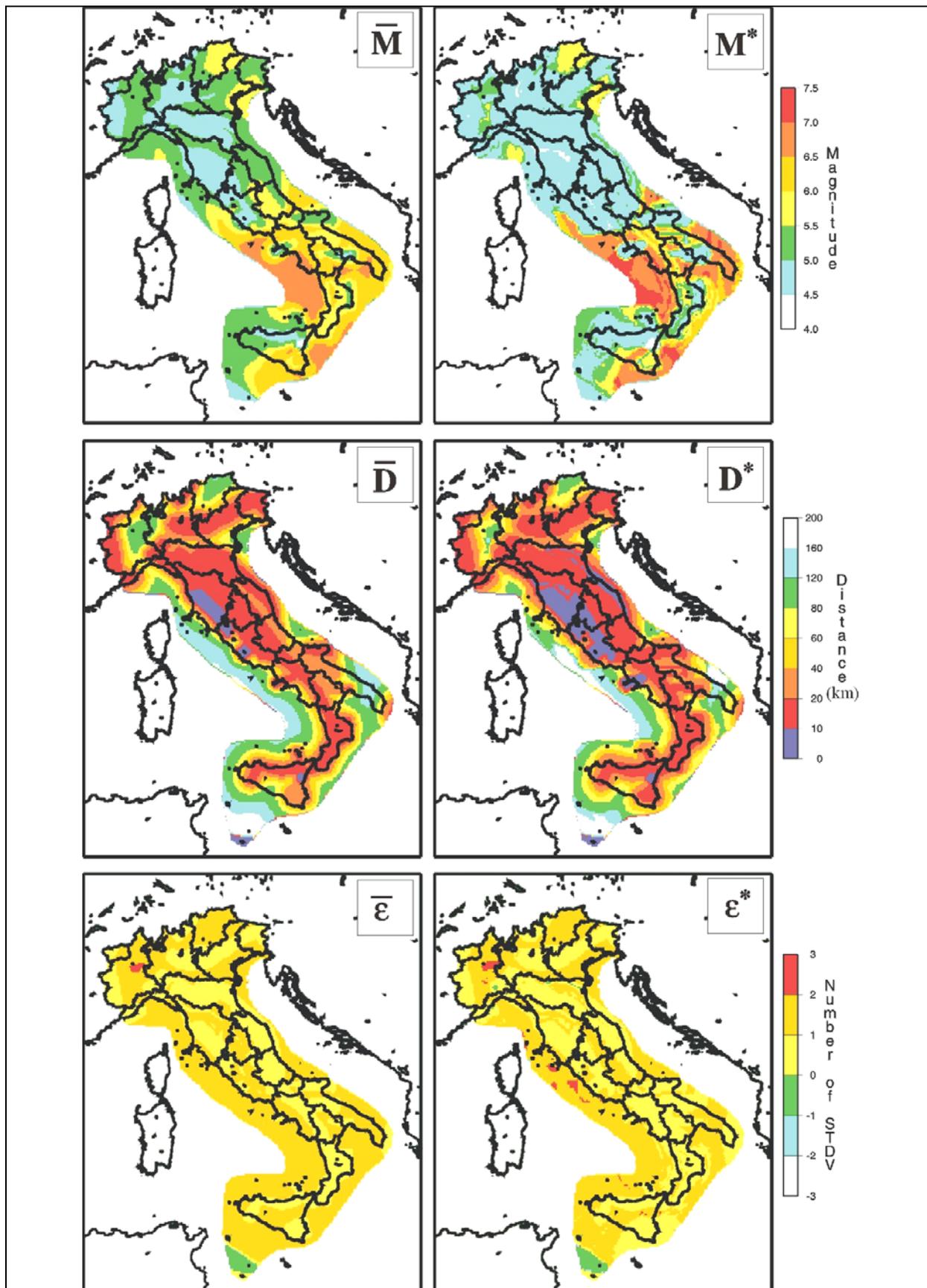


Figura 1. Distribuzione geografica dei valori medi e modali di M , R , e ϵ ottenuti a seguito della disaggregazione dei valori mediani di PGA con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (MRP: 475 anni) calcolati per il territorio nazionale.

Tabella 1. Valori medi e modali di M , R e ε per le principali città italiane.

CITTÀ	PGA (g)	\bar{M}	\bar{R}	$\bar{\varepsilon}$	M^*	R^*	ε^*
ANCONA	0.179	5.11	12.4	0.71	4.75	15.0	0.50
AOSTA	0.093	4.90	20.6	0.77	4.75	15.0	0.50
BARI	0.069	6.27	72.5	1.34	6.75	45.0	0.50
BOLOGNA	0.164	4.92	17.5	0.85	4.75	15.0	0.50
CAMPOBASSO	0.224	5.72	20.5	1.03	4.75	15.0	1.50
CATANZARO	0.249	5.83	15.0	0.82	5.25	15.0	0.50
FIRENZE	0.134	4.98	16.3	1.18	4.75	15.0	1.50
GENOVA	0.068	4.99	34.9	1.16	4.75	15.0	0.50
L'AQUILA	0.261	5.73	14.4	0.97	5.25	15.0	1.50
MILANO	0.048	5.04	66.5	1.68	4.75	45.0	1.50
NAPOLI	0.168	5.09	11.9	1.00	4.75	5.0	0.50
PALERMO	0.181	4.92	14.1	0.79	4.75	15.0	0.50
PERUGIA	0.187	5.08	13.4	1.20	4.75	15.0	1.50
POTENZA	0.201	5.80	20.5	0.98	4.75	15.0	0.50
ROMA	0.144	4.68	8.76	0.90	4.75	5.0	0.50
TORINO	0.054	4.94	50.8	1.73	4.75	35.0	1.50
TRENTO	0.074	5.38	48.7	1.51	4.75	35.0	1.50
TRIESTE	0.109	5.07	23.7	1.34	4.75	15.0	1.50
VENEZIA	0.069	5.66	63.7	1.60	5.25	45.0	0.50

Bibliografia

Abrahamson N. A.: 2006, Seismic hazard assessment: problem with current practice and future development, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: Keynote Address K2.

Ambraseys N. N., Simpson K. A., Bommer J. J.: 1996, Prediction of horizontal response spectra in Europe, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25, 371-400.

Bazzurro P. and Cornell C. A.: 1999, Disaggregation of seismic hazard, Bull. Seis. Soc. Am. 89, 501-520.

Gruppo di lavoro CPTI: 2004, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna. Internet web site: <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 di Protezione Civile, INGV, Milano - Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici, Internet web site: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/elaborazioni/>.

McGuire R. K.: 1995, Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop, Bull. Seism. Soc. Am. 85, 1275-1284.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR12 – Coordinatore: Alessandro Rebez (INOGS Trieste)

L'unità di ricerca UR12 ha avuto, nell'ambito del secondo anno del progetto INGV-DPC S1, una serie di attività divise in vari ambiti.

L'unità UR12 collabora i nel Task 2 - "Valutazioni di pericolosità sismica in termini di intensità macrosismica e confronti fra MPS04 e tali valutazioni" Resp. Albarello, Gasperini - curando, nella figura di Franco Pettinati, alcuni aspetti innovativi.

Il lavoro svolto da questa UR si pone nell'ambito delle nuove procedure di stima dell'intensità macrosismica da dati epicentrali o da risentimenti in zone vicine. In particolare, considerando che nelle procedure di calcolo della pericolosità sismica, le informazioni relative ai valori di intensità attesi al sito, entrano in una forma probabilistica del tipo

$$P_i(I_s) = \text{prob}[\geq I_s | T_i] \quad [1]$$

ovvero definendo la probabilità che l'intensità al sito durante l'*i*-mo terremoto (T_i) sia almeno pari a I_s . Solitamente la probabilità $P(I_s)$ viene espressa in termini di una probabilità condizionata all'intensità epicentrale I_0 che dipende da alcuni parametri epicentrali quali la distanza epicentrale R e la zona di appartenenza Z . In questo caso la [1] assumerebbe la forma

$$P(I_s) = P(I_s | I_0, R, Z) \quad [2]$$

dove, per semplicità, è stata considerata implicita la dipendenza dall'*i*-mo terremoto. L'idea di base di tale lavoro è: se le due località sono effettivamente vicine gli effetti potrebbero essere in generale simili. In questo caso, definendo una funzione di probabilità $q(I_s)$ relativa al valore di I_s si ottiene

$$q(I_s | I_v) = P(I_s | I_v) - P(I_s + 1 | I_v) \quad [3]$$

dove con I_v è stata designata l'intensità osservata nel corso dello stesso evento in una località vicina al sito considerato. Per tenere conto delle informazioni locali quindi, si può stimare con il teorema di Bayes la probabilità

$$q(I_s | I_v) = q(I_s) \frac{q(I_v | I_s)}{\sum_{J=1}^{12} [q(J)q(I_v | J)]} \quad [4]$$

ovvero la probabilità $q(I_s | I_v)$ che l'intensità al sito sia I_s posto una volta noto che in un sito vicino per lo stesso terremoto sia stata osservata l'intensità I_v . $q(I_v | I_s)$ rappresenta la probabilità che se l'intensità al sito è I_s , allora quella nel sito vicino è I_v . L'obiettivo di questa parte dell'indagine è stato quello di determinare la distribuzione di probabilità [2] nella forma [3]. Cioè in pratica si cerca di rispondere alla domanda: quanto è probabile che l'intensità in un dato sito (I_s) si discosti più di $DI = I_s - I_v$ dall'intensità osservata I_v nel sito ad esso più vicino fra quelli che hanno risentito dello stesso terremoto? Questo quesito è formalmente equivalente a quello di valutare l'adeguatezza del metodo di interpolazione locale, Nearest Neighbor,

(Okabe et al. 2000) per rappresentare il campo macrosismico di un dato evento sismico.

Procedura - E' stata quindi studiata la distribuzione degli scarti fra il valore di intensità osservato nel sito di studio e quello osservato in corrispondenza dello stesso terremoto nel sito più vicino alla località studiata. Dall'analisi delle frequenze relative di questi scarti è possibile stimare la probabilità che l'intensità osservata al sito I_s differisca di una quantità fissata DI da quella relativa al sito vicino I_v . In pratica, si valuta la probabilità

$$q(\Delta I = I_s - I_v) = q(I_v | I_s) \quad [5]$$

da utilizzare nella [4]. Si noti che in questo modo si valuta $q(I_v | I_s)$ e non $q(I_s | I_v)$ poiché la I_s è nota a priori e si valuta nei diversi casi qual è il valore di I_v .

I dati utilizzati, provengono dal catalogo DBM04 allegato al catalogo parametrico CPTI04 (Stucchi et al., 2007), usando tutti i risentimenti dei terremoti con più di 9 osservazioni di valore maggiore al V grado. I terremoti selezionati sono in numero di 367 per un totale di 24159 siti.

I gradi incerti (es. VII-VIII) sono stati trattati considerando come valori possibili (ed equiprobabili) i due gradi interi contigui (VII o VIII). Di conseguenza nell'ipotesi che sia valore osservato che quello "interpolato" (ovvero osservato nel sito più vicino) siano incerti, vengono calcolati alternativamente i residui di tutte le combinazioni dei 4 valori di intensità che ne competono. Se tutti due i valori sono certi, allora lo stesso residuo viene conteggiato quattro volte. Questo significa che in una statistica complessiva di tutti i residui: i residui tra due gradi certi hanno un peso pari a 1.0, mentre quelli tra un grado certo e uno incerto il peso uguale 0.5, e 0.25 nel caso in cui tutti due sono incerti. **Risultati** - La figura 1 (sinistra) mostra l'istogramma dei residui totali (distribuzione 1) uguale a 96636 valori (24159 siti per 4). Questa distribuzione viene confrontata (Figura 1 a destra) con quella relativa ai soli dati certi (distribuzione 2 relativa a 13370 valori).

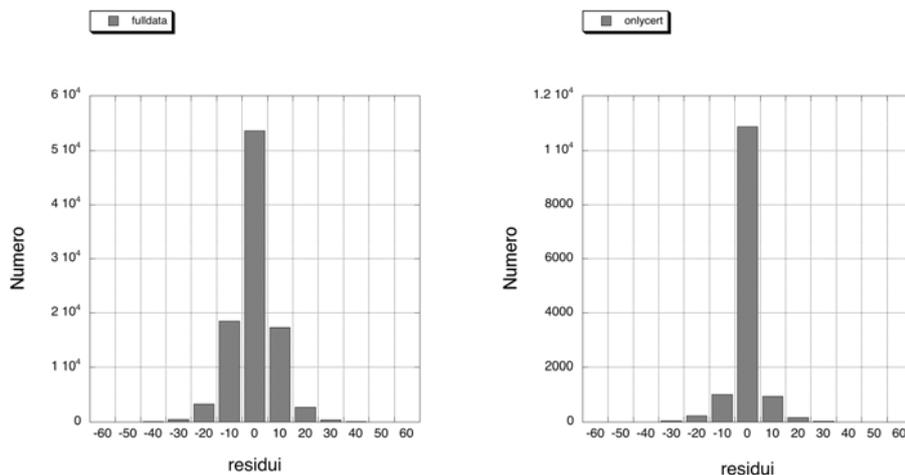


Figura 1: a sinistra, istogramma di tutti i residui calcolati (distribuzione 1). Vengono considerate anche le combinazioni dei dati di intensità non certi. A destra istogramma fatto con i residui tra i soli gradi certi (distribuzione 2) Le intensità sono nella forma $I \cdot 10$.

Sostanzialmente sono due distribuzioni abbastanza simmetriche; quasi perfettamente la 1 (skew=-0.09) contro lo skew=-0.264 della 2 che è anche più piccata

(kurtosis=8.895). Il confronto mostra in pratica l'effetto dei dati incerti sulla forma della distribuzione. Come atteso, l'effetto di questi ultimi è quello di aumentare la dispersione della distribuzione dei residui.

La figura 2 mostra la distribuzione 3: relativa ai siti considerati (24159) prendendo, nel caso dei gradi incerti, il minore dei due valori. Come si può vedere la forma non cambia rispetto alla distribuzione 1, con skew=0.113, kurtosis=2.406, e conserva molte caratteristiche della distribuzione (simmetria, con residui negativi un po' più alti dei positivi). La forma della distribuzione 3 non cambia se in presenza di gradi incerti si prendono in considerazione i soli valori superiori. La maggior kurtosis di quest'ultima conferma la minor dispersione dei residui.

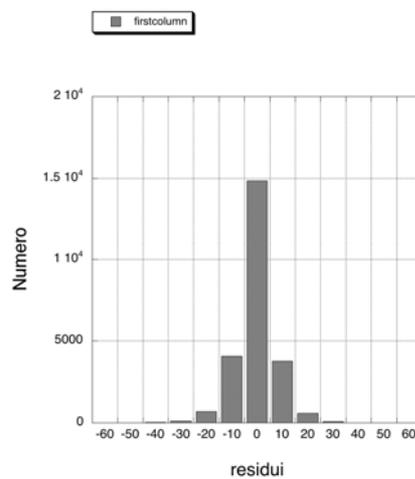


Figura 2: istogramma distribuzione 3.

$\Delta I = I_s - I_v$	$q(\Delta I)$
≤ -5	0.00000
-5	0.00001
-4	0.00053
-3	0.00396
-2	0.02823
-1	0.17920
0	0.55575
1	0.19115
2	0.03493
3	0.00539
4	0.00082
5	0.00002
≥ 5	0.00000

Tabella 1- probabilità che l'intensità osservata al sito I_s differisca di una quantità fissata DI da quella relativa al sito più vicino I_v .

In generale tali distribuzioni non sono compatibili con una distribuzione normale, come è possibile verificare facilmente con un test del χ^2 . La distribuzione di probabilità di eq. (5) viene quindi fornita in semplice forma tabellare (Tabella 1),

normalizzando i conteggi della distribuzione 1 rispetto al numero totale di osservazioni. Ai fini del calcolo di pericolosità, viene presi i parametri di una delle distribuzioni (es. per la distr. 3: media = -0.28, stand. dev. = 7.87, con le intensità nella forma $I*10$).

L'unità UR12 collabora nell'ambito del Task 4 - "Aggiornamento dei database sismologici - con il deliverable D19 "Versione aggiornata delle stime di completezza del catalogo" curando particolarmente la parte delle metodiche statistiche da utilizzare in congiunzione con quelle di tipo storico per la definizione delle completezze dei dati sismologici da adottare nei calcoli probabilistici di pericolosità sismica. La ricerca si svolge in collaborazione con Paola Albini che cura lo sviluppo della parte storica. Il problema delle valutazioni di completezza nell'ambito dell'intero processo di valutazione di pericolosità sismica costituisce un ruolo fondamentale perchè influenza significativamente le stime finali di hazard. Lo studio nell'ambito del deliverable D19 si concentra maggiormente sulla possibilità di arricchire le stime di completezza storica con la finalità di irrobustire le valutazioni di completezza da attribuire alle varie zone sismogenetiche per calcolare i ratei di sismicità. La parte statistica di calcolo agisce da supporto e da confronto con quella storica e aiuta inoltre la definizione di una necessaria valutazione delle incertezze associate alle stime di completezza storica proposte.

La completezza calcolata su base statistica per realizzare MPS04 è stata effettuata su indagini puntuali. Questo è dovuto, almeno in parte, al fatto che considerando l'urgenza della realizzazione della mappa al tempo delle analisi di completezza non c'era la zonazione definitiva e anche il catalogo di terremoti era in costruzione. I calcoli di completezza si basavano su una finestra circolare con un raggio di ricerca di 200 km.

Dai test effettuati si desume che la finestra adottata ha un raggio troppo esteso. E' vero che si irrobustisce la consistenza della base di dati ma è altrettanto vero che in questa maniera si considerano molto spesso molti terremoti delle zone limitrofe.

La cosa ha senso per zone dove i terremoti sono scarsi ma è da evitare nel caso delle zone con delle storie sismiche ricche di terremoti. Il concetto è: se dobbiamo caratterizzare con la massima accuratezza possibile la pericolosità sismica di una certa zona perchè devo usare delle stime di completezza cui concorrono anche terremoti di altre zone? Quindi nel caso di analisi su griglia regolare o su punti è consigliabile adottare un raggio di ricerca di 100 km. Questa dimensione è anche più paragonabile alle dimensioni medie delle zone di ZS9. E' altrettanto vero che dove possibile si possono utilizzare tranquillamente le stime di completezza statistica calcolate dai cataloghi di zona ed al più compararle con quelle calcolate sul raggio di ricerca

Altro concetto importante messo in rilievo dalle analisi condotte è che è necessario valutare attentamente il numero di terremoti effettivamente usati dal test di completezza.

Questi test statistici sono molto interessanti ma forniscono sempre un risultato. Dobbiamo quindi introdurre un criterio di soglia. Al di sotto di un numero ragionevole di terremoti che concorrono alla valutazione delle stime di completezza dobbiamo scartare il dato.

Nel caso delle magnitudo più energetiche la scarsità di dati consiglia in quest'ottica di adottare delle stime di completezza calcolate su vaste porzioni di territorio e

quindi possiamo riadottare o aggregazioni di zone o raggi di ricerca grandi. Le stime di completezza calcolate su base storica solitamente spostano la data dalla quale si considera completo un catalogo verso date più antiche. Le completezze storiche tendono quindi ad "allungare" il periodo di completezza rispetto alle stime statistiche. L'effetto di un allungamento del periodo di completezza calcolata su base storica ha generalmente l'effetto di abbassare leggermente le stime di pericolosità sismica.

Questo però è in parte dovuto al fatto che in molti casi il catalogo costruito da un raggio di ricerca ampio viene irrobustito e il test statistico più terremoti trova più tende a portare il punto di completezza verso epoche recenti. Nel caso di hazard calcolato sulla base di completezza esclusivamente statistica, avendo questo metodo la tendenza a considerare completi i periodi più recenti si potrebbe avere un effetto di sovrastima delle accelerazioni attese. Per questi motivi è molto importante, dove è possibile, ancorare le stime di completezza su informazioni di tipo storico.

Sono state effettuate una serie di analisi sulle procedure di calcolo della completezza che hanno portato ad una serie di considerazioni. La prima è che il raggio di ricerca adottato nelle stime di MPS04 di 200 km è sicuramente troppo grande e si propone di ridurlo a 100 km. L'altro punto importante è quello relativo al numero di terremoti che vengono usati quando si effettua l'analisi di completezza. Occorre scartare le stime di completezza basate su un numero esiguo di terremoti. Si propone quindi di adottare una soglia di numero di terremoti che concorrono alla valutazione della completezza.

Sono state prodotte delle valutazioni di completezza direttamente su ciascuna Zona Sismogenetica, ossia utilizzando direttamente i "cataloghi di zona". Sono state effettuate anche le stime di completezza su un'area circolare di 100 km centrata sui centroidi delle zone sismogenetiche. La riduzione del raggio ha portato ad una serie di misure che in molti casi si discostano notevolmente da quelle adottate per MPS04 e sono spesso confrontabili con quelle calcolate sui cataloghi di zona.

Le stime statistiche ottenute sui cataloghi di zona e sui settori circolari di 100 km di raggio puntati sui centroidi delle zone mostrano una spiccata tendenza a ridurre la differenza con le valutazioni di completezza basate sulle informazioni di tipo storico. L'introduzione del criterio di soglia sul numero di terremoti che concorrono al calcolo statistico hanno un inoltre un effetto di "peso" sulle valutazioni. In molti casi le stime di completezza effettuate su un numero adeguato di terremoti, sia su catalogo di zona sia su area circolare, sono molto buone e si possono considerare robuste. Si devono scartare quindi le valutazioni basate su un numero esiguo di campioni.

Bibliografia

Stucchi M., Camassi R., Rovida A., Locati M., Ercolani E., Meletti C., Migliavacca P., Bernardini F., Azzaro R. (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, 49, pp. 38.

Okabe, A., Boots, K., Sugihara and S. N. Chiu (2000). Spatial Tessellation, Wiley, Chichester, (2nd ed.) 671 pp.



Progetto S1 - Proseguimento della assistenza a DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi

UR13 - Coordinatore: Paola Albini (INGV Milano - Pavia)

L'attività di questa UR si è svolta nel corso di una sola annualità del progetto, dal luglio 2006 al giugno 2007.

All'interno del progetto S1, il Task 4 - "Aggiornamento dei database sismologici" ha rappresentato il riferimento scientifico univoco, in particolare per l'aggiornamento a) del database macrosismico e b) le valutazioni di completezza del catalogo dei terremoti italiani.

a) Aggiornamento del database macrosismico

L'attività svolta per aggiornare il database è rendicontata all'interno del **Deliverable 17 - Aggiornamento del database macrosismico italiano DBMI**. I dati confluiti in DBMI04 non erano omogenei quanto a uso della scala macrosismica e soprattutto quanto a riferimento geografico. Una delle principali attività ha riguardato l'organizzazione di un riferimento geografico ad hoc, basato sul precedente Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane (ENEL, 1978), che è stato aggiornato e integrato con nuovi dati. Una descrizione dettagliata delle caratteristiche del riferimento geografico DIR04 si trova nell'Appendice 4 del contributo a cura di Stucchi et al., 2007. Un'altra attività importante 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 (Stucchi et al., 2007), alla cui Appendice 2 si rinvia per una spiegazione complessiva.

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: i) località definitivamente scomparse; ii) 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", o ad aree generiche, senza che sia possibile identificare al loro interno una località precisa;
- notizie riferite a denominazioni sia di una località, sia di 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.

La figura 1 mostra il numero di variazioni nelle coordinate delle località effettuate 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 (Fig. 2).

b) Valutazioni di completezza del catalogo dei terremoti italiani

In questo ambito l'UR ha svolto attività tesa a produrre il **Deliverable 19 - Versione aggiornata delle stime di completezza del catalogo**.

Obiettivo primario di questa attività di ricerca è stato l'aggiornamento delle stime di completezza basate sul catalogo CPTI04 determinate per la preparazione della Nuova Mappa di Pericolosità Sismica (2004). Per quanto riguarda l'approccio statistico, l'attività è stata svolta anche in relazione alla nuova versione del catalogo CPTI07, ancora in preparazione nell'ambito delle attività relative ai Deliverable D18 di questo progetto. Conseguentemente, la versione finale di questo rapporto verrà rilasciata a seguito del completamento di DBMI07 e CPTI07. Per quanto riguarda l'approccio storico, l'esiguità del finanziamento (relativo al solo anno 2006-2007) dell'UR che ha curato questo aspetto della ricerca, non ha consentito l'espletamento di ricerche di fonti e recupero di informazioni su nuove località, di rilievo tale da consentire una sostanziale ridefinizione degli intervalli di completezza definiti con approccio storico nell'ambito della compilazione di MPS04.

Sono state inoltre svolte attività di valutazione della completezza dei risentimenti, attraverso il calcolo di risentimenti virtuali con intensità al sito $I_v \geq 7$ MCS e analisi sulla loro distribuzione spazio temporale.

La valutazione ha preso lo spunto dai dati contenuti in DBMI04 (Stucchi et al., 2007) e CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004) e ha utilizzato la legge di attenuazione generale per il territorio italiano derivata da Gómez Capera (2006).

Attraverso un programma ad hoc, ancora in corso di definizione, in via preliminare sono stati calcolati i "risentimenti virtuali", I_v con intensità ≥ 7 MCS, in 637 località in cui alcuni, determinati terremoti avrebbero potuto produrre risentimenti $I \geq 7$. Le 637 località rappresentano, ai fini di questa analisi, una selezione significativa e omogeneamente distribuita sul territorio italiano.

In totale sono stati ottenuti 442 valori di intensità virtuale ($I_v \geq 7$), relativi a 109 terremoti e 220 località, per i quali DBMI04 non rende disponibili dati osservati. Per quanto riguarda la finestra temporale 1000-1600, le intensità virtuali ottenute sono 95 in 78 località rispetto a 27 terremoti. La differenza tra record e numero di località è dovuta al fatto che per 16 località è stata ottenuta un'intensità virtuale rispetto a più terremoti.

A partire da questo insieme di nuovi dati, estesi a tutti i terremoti della finestra temporale contenuta in CPTI04, ci si propone di mettere a punto e fornire un'interpretazione in chiave storica delle ragioni dell'assenza nelle località e nei periodi considerati di dati osservati.

Bibliografia

Gruppo di Lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.

ENEL (1978). Catalogo ENEL-ISTAT 1971 delle località abitate italiane. Computer file.

Gómez Capera, A.A. (2006). Utilizzo dei dati macrosismici per la determinazione dei parametri delle sorgenti sismogenetiche e la valutazione della pericolosità sismica. Tesi in Dottorato di Ricerca in Scienze Geologiche e Geotecnologie per l'Ambiente e il Territorio - XVIII Ciclo, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, 160pp.

Stucchi M., R. Camassi, A. Rovida, M. Locati, E. Ercolani, C. Meletti, P. Migliavacca, F. Bernardini, R. Azzaro, 2007. DBMI04, il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04. Quaderni di Geofisica, INGV, 49, 38 pp. <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04>

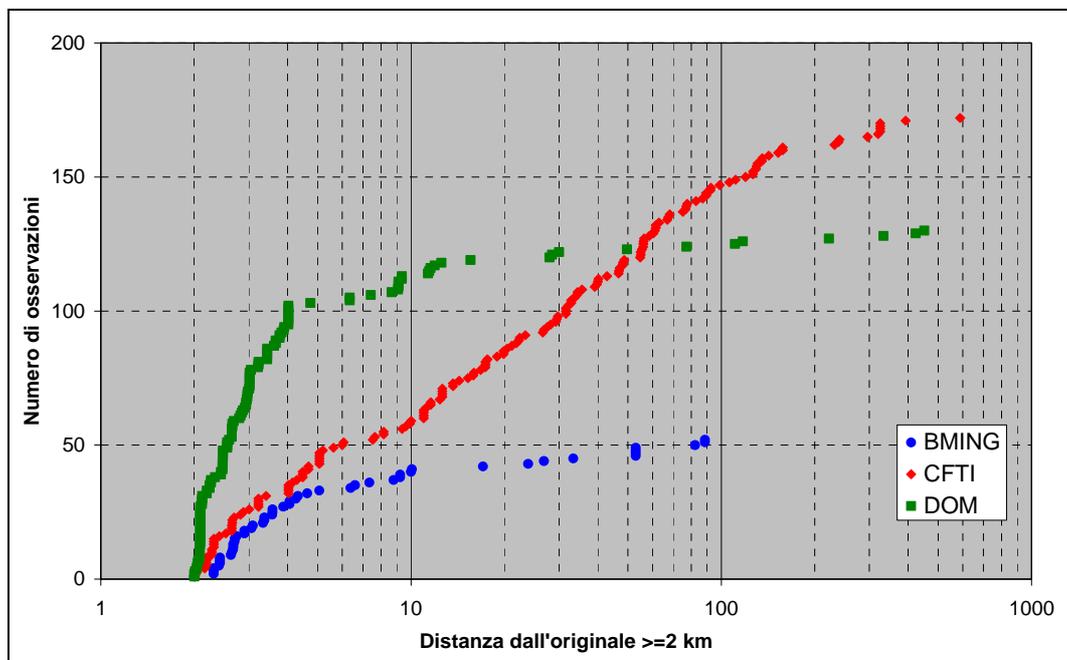


Fig. 1 - Spostamenti ≥ 2 km conseguenti alla omogeneizzazione dei database di partenza.

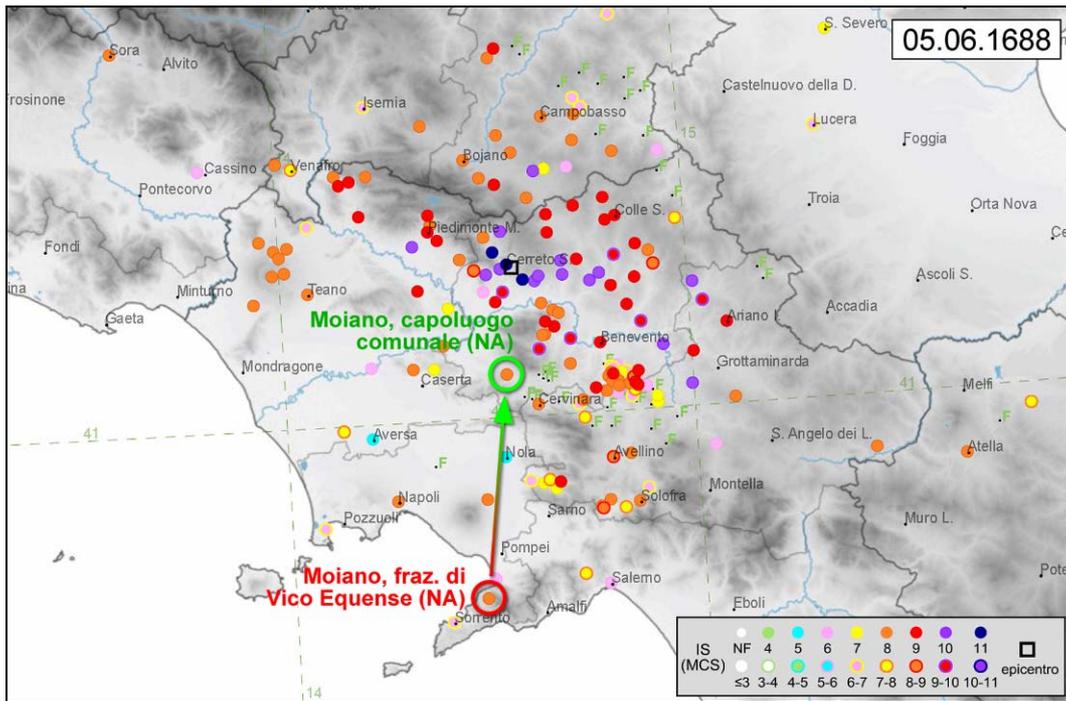


Fig. 2 - Esempio di riconoscimento errato della località associata all'osservazione macrosismica e conseguente spostamento operato nella compilazione di DBMI04.