

Revisione dei fondamenti teorici e sperimentali delle stime di hazard sismico a scala nazionale

Coordinatore: Paolo Gasperini

Introduzione

A causa delle successive variazioni dello stato di approvazione del progetto (inizialmente annuale con ulteriore riproposizione biennale) le sue finalità si sono a loro volta evolute nel tempo. Nella sua formulazione iniziale esso prevedeva la completa revisione delle stime di *hazard* a scala nazionale con l'utilizzo sia di tecniche classiche che di tipo innovativo. In seguito al considerevole ridimensionamento del finanziamento è stato deciso, anche seguendo i suggerimenti dei *referees*, di limitare gli obiettivi ad alcune aree di ricerca propedeutiche alla stima di *hazard* vera e propria. Questo ha limitato le task attive a sole quattro delle oltre quindici presenti nel progetto originale. Esse sono (la numerazione è riferita al progetto originale):

Task 1A Catalogo sismico storico (Resp. Gasperini/Guidoboni)

Task 5 Statistica delle sorgenti sismiche e completezza dei cataloghi (Resp. Marzocchi)

Task 6C Tomografia dell'intensità ed effetti di sito (Resp. Gasperini)

Task 7 Meccanismi focali (Resp. Gasperini)

Nel corso del primo anno sono state attive inoltre:

Task 3 Modello sismogenetico (Resp. Valensise)

Task 6A Tomografia velocità sismiche (Resp. Morelli)

Task 6B Tomografia attenuazione onde sismiche (Resp. Mele)

Task 9A Misure geodetiche (Resp. Riguzzi)

Nel corso del progetto (in particolare durante il primo e l'ultimo anno) sono anche state parzialmente attive le task relative alla sismicità strumentale (2A e 2B) i cui risultati, assieme a quelli delle task 1A, 6C e 7 sono stati largamente impiegati dalla recente iniziativa INGV per la revisione della mappa delle zone sismiche a fronte dell'ordinanza PDC 3274 del 20 marzo 2003.

In seguito alla sua riformulazione, il progetto si è dedicato principalmente a sviluppare strumenti conoscitivi utili per le valutazioni di *hazard* tradizionali e innovative con particolare attenzione alla revisione e validazione dei dati sismici storici e strumentali, alla valutazione dei tassi di deformazione sismica e geodetica, alla formulazione e verifica di modelli statistici di occorrenza dei terremoti e alla modellazione delle variazioni regionali (tomografia) e locali (effetti di sito) delle proprietà di attenuazione delle onde sismiche.

Descrizione delle attività svolte

Task 1A CATALOGO SISMICO STORICO Resp: Gasperini/Guidoboni)

Obiettivi. Dopo la riproposizione e riformulazione del progetto, questa task si è dedicata principalmente allo sviluppo di strumenti di calcolo per la stima dei parametri dei terremoti storici e la valutazione obiettiva dell'intensità macrosismica. Durante l'ultimo anno, sotto l'impulso della citata iniziativa INGV per la revisione della zonazione sismica nazionale, l'obiettivo è ritornato in parte anche alla formulazione

originale, che riguardava la revisione del catalogo sismico italiano sulla base dei risultati di nuovi studi realizzati dopo l'uscita del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani* (CPTI) nel 1999.

Attività. Abbiamo sviluppato il codice Boxer per il calcolo dell'epicentro, della magnitudo e dell'orientazione della faglia dei forti terremoti storici, introducendo un metodo alternativo di localizzazione e calcolo della magnitudo basato sull'uso di una legge di attenuazione bilineare. L'epicentro viene calcolato minimizzando i residui di intensità, mentre la magnitudo viene dedotta da regressioni empiriche con l'intensità media all'epicentro. A differenza del metodo precedentemente utilizzato da Boxer, che calcolava semplicemente il baricentro delle intensità maggiori, questa strategia permette anche di localizzare epicentri in aree marine dove non sono disponibili osservazioni di intensità.

Uno sviluppo specifico del codice Boxer è stato effettuato anche per la revisione generale del catalogo CPTI, realizzata nell'ambito dell'iniziativa INGV per la revisione della zonazione sismica italiana. È stato migliorato il metodo di calcolo della magnitudo, utilizzando un diverso schema di pesatura dei dati che tiene conto anche il numero di osservazioni disponibili. Parallelamente è stato anche realizzato un nuovo codice Fortran (BoxCoef) che, sulla base di un set di magnitudo strumentali note associate a terremoti con dati macrosismici, determina i coefficienti empirici per calcolare la magnitudo dalle osservazioni di intensità. Il risultato di tale procedura è un input file modificato che può essere direttamente utilizzato dalla nuova versione di Boxer.

Inoltre, attraverso una tecnica sviluppata in precedenza, che fa uso dei Fuzzy Sets per tener conto anche di evidenze contraddittorie, sono stati codificati i dati degli effetti osservati in occasione del terremoto dell'Irpinia del 23 luglio 1930, per ottenere stime obiettive e riproducibili dell'intensità. È stato utilizzato un approccio empirico in cui le funzioni di appartenenza di ogni effetto codificato ad ogni grado della scala di intensità vengono dedotte dai dati stessi e da stime tradizionali effettuate da uno o più esperti macrosismici.

Coordinamento con altre task. Questa task è strettamente coordinata con le task 2A e 2B che hanno fornito le informazioni strumentali necessarie.

Coordinamento con altri progetti. Nel primo e secondo anno, gli obiettivi di questa task sono stati realizzati solo all'interno del presente progetto, mentre durante il terzo anno sono state attivate collaborazioni con i progetti GNDT coordinati da Amato e Selvaggi, per la revisione del catalogo dei terremoti e da Lagomarsino per lo sviluppo del metodo di localizzazione in mare, relativamente ai terremoti della Liguria Occidentale.

Aspetti innovativi. I dati storici e strumentali sono stati strettamente integrati in un unico catalogo. È stata tentata, come raramente è stato fatto in letteratura, la determinazione dell'intensità su basi oggettive.

Task 2A, CATALOGO SISMICO STRUMENTALE (Resp.: Monachesi/Gasperini)

Obiettivi.

Revisione del *Catalogo sismico strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996* (CSTI) pubblicato nel 2001. Questa task è stata riattivata nell'ultimo anno del progetto, nell'ambito dell'iniziativa INGV per la revisione della zonazione sismica italiana.

Attività. In base all'esperienza di utilizzo della prima versione di CSTI (1.0) ne è stata predisposta una nuova (1.1) in cui sono state riviste la localizzazione degli eventi posti ai margini della rete e la magnitudo. In particolare è stata introdotta, un'ulteriore localizzazione con profondità fissata a 10 km che è stata adottata, indipendentemente dalla bontà dell'adattamento ai dati (minimo rms), quando sia il gap azimutale che la distanza dalla stazione più vicina sono maggiori di limiti prefissati che indicano una localizzazione al di fuori dei confini della rete. Nel calcolo della magnitudo, sono state inoltre scartate tutte le stime di ampiezza associate con residui temporali elevati. Con queste semplici variazioni è stato significativamente ridotto il numero di ipocentri con profondità o magnitudo irrealisticamente elevate dovute rispettivamente ad un cattivo condizionamento della soluzione ipocentrale e a errori di associazione delle fasi sismiche.

Coordinamento con alter tasks. Principalmente con le task 1A e 2B. La prima è destinataria dei risultati, mentre la seconda ha fornito le magnitudo Wood-Anderson reali e sintetiche utilizzate per omogeneizzare le stime di magnitudo.

Coordinamento con altri progetti. Nell'ultimo anno, si è realizzata una collaborazione di questa task con il progetto coordinato da Amato-Selvaggi, sulla revisione delle magnitudo degli eventi dal 1997 al 2002 utilizzati per le nuove stime di pericolosità

Aspetti innovativi. Nessuno.

Task 2B, MAGNITUDO (Resp.: Gasperini)

Obiettivi. La stima omogenea della magnitudo dei terremoti italiani. Anche questa task è stata riattivata nell'ultimo anno, nell'ambito della iniziativa INGV per la revisione della zonazione sismica italiana.

Attività. Sono state analizzate le stime di magnitudo MI basate sui dati di due strumenti Wood-Anderson (WA) che hanno operato in Italia dal 1972 al 1989 e di tracce WA sintetiche ottenute da strumenti Broad-Band a partire dal 1990. È stata calcolata la funzione di attenuazione media per l'Italia che è stata verificata coincidere quasi esattamente con quella dedotta da Richter per la California meridionale. Abbiamo anche tentato di dedurre leggi di attenuazione regionalizzate per l'area nord-orientale (Adriatico e Pianura Padana) e per quella sud-occidentale (appennino e Tirreno). Si è verificato che mentre la seconda è leggermente più attenuativa di quella di Richter la prima è invece nettamente meno attenuativa. Questo potrebbe implicare che le stime di MI effettuate in quest'ultima area usando la relazione di Richter alla massima distanza di 600 km potrebbero essere sovrastimate fino ad un grado.

Nell'ambito delle citate attività per la revisione della mappa di pericolosità sismica in Italia, è stato costruito un dataset di magnitudo che include per ogni terremoto vari tipi di stime di magnitudo (Mw, Ms, mb, MI) disponibili dalla letteratura o da organizzazioni internazionali. Abbiamo considerato solamente stime per cui le modalità di determinazione siano note con ragionevole certezza, in particolare per magnitudo MI da WA. In tutto sono state raccolte 615 stime di Ms, 2242 mb, 2256 MI e 218 Mw. Dei 4175 terremoti inclusi in questo dataset, 862 possiedono più di una stima e quindi possono essere utilizzati per derivare regressioni empiriche ai minimi quadrati.

Coordinamento con alter task. Con le task 1A, 2A e 7. Le prime due sono state destinatarie dei risultati, mentre la terza ha fornito le stime di momento sismico per gli eventi del catalogo dei CMT regionali.

Coordinamento con altri progetti. Nessuno.

Aspetti innovativi. Stima di funzioni di attenuazione regionalizzate per il calcolo della magnitudo.

Task 3 MODELLO SIMOGENETICO (Resp.: Valensise)

Obiettivi. Miglioramento della conoscenza delle sorgenti sismiche italiane e formulazione di un nuovo schema di zonazione sismogenetica, vincolata da evidenze tettoniche globali e tassi di deformazione dedotti dalla geodesia e dalle osservazioni di campagna.

Attività. A causa delle riduzioni di finanziamento le attività di questa task si sono svolte essenzialmente all'interno di altri progetti. È stata preparata una prima versione del "Database of potential sources for earthquakes larger than magnitude 5.5 in Italy" (DISS) di cui sono state distribuite alcune copie su CDROM. Tale database raccoglie tutte le informazioni geologiche e geofisiche sulle sorgenti dei terremoti italiani significativi all'interno di un sistema informativo geografico (GIS).

Coordinamento con alter task. La Task 1A ha fornito i parametri di sorgente dei terremoti storici, mentre la task 7 i meccanismi focali ai primi impulsi e CMT.

Coordinamento con altri progetti. Nel primo anno questa task è stata condivisa con il progetto GNDT coordinato da Amato-Selvaggi. Successivamente le sue attività sono proseguite solo all'interno di tale progetto.

Aspetti innovative. Geo-referenziazione di tutte le informazioni disponibili sulle sorgenti sismogenetiche italiane.

Task 5 – STATISTICA DELLE SORGENTI SIMOGENETICHE E COMPLETEZZA DEI CATALOGHI (Resp.: Marzocchi)

Obiettivi. Lo scopo di questa task è quello di analizzare i dati sismologici disponibili (cataloghi sismici, meccanismi focali, campi macrosismici, ecc.) e di progettare specifici esperimenti per verificare le varie ipotesi e teorie sull'occorrenza dei terremoti che sono state proposte in passato o che potrebbero nascere dalle ricerche stesse.

Attività. L'attenzione è stata focalizzata in particolare sulla valutazione della completezza ed omogeneità delle stime di magnitudo per la sismicità italiana strumentale dal 1960 a oggi, sull'analisi delle proprietà degli aftershock e sulla valutazione delle proprietà statistiche dei forti terremoti e la stima della loro probabilità di occorrenza. Per il catalogo risultante dalla combinazione del CSTI con il Catalogo del progetto Finalizzato Geodinamica (PFG), abbiamo verificato che il tasso di eventi è fortemente variabile nel tempo a causa probabilmente di una scorretta calibrazione della magnitudo prima dell'anno 1981.

A proposito della modellazione e previsione degli aftershock in Italia, è stato completato e pubblicato un primo lavoro che fa uso del semplice modello di Reasenberg e Jones in cui sono stati calcolati i parametri medi per l'intera regione italiana e per sei sotto regioni sismiche sulla base di un set di 30 sequenze avvenute tra il 1960 e il 1996. Sulla base di tali parametri sono stati tracciati alcuni normogrammi che permettono la stima speditiva del numero di repliche e della probabilità di forti scosse dopo un evento di data magnitudo. Successivamente è stato affrontato il problema di validare la capacità predittiva di tale modello sulla base

dei dati sismici dal 1997 al 2002 ed anche di migliorare il modello stesso attraverso sia l'introduzione del principio epidemico che la modifica del termine di produttività dedotta da un'analisi di correlazione tra i valori dei parametri.

La distribuzione spazio-temporale dei forti terremoti è stata analizzata attraverso un modello non parametrico multivariato di tipo nuovo. Tale metodo permette di verificare in modo diretto varie ipotesi sulla dipendenza temporale (gap sismico, clustering e Poisson). La sua applicazione alla sismicità italiana degli ultimi quattro secoli indica che i forti terremoti italiani tendono a raggrupparsi; la probabilità di occorrenza è infatti alta immediatamente dopo un evento e decresce progressivamente fino a raggiungere dopo alcuni anni un valore costante. Il modello empirico ottenuto è stato utilizzato per calcolare la mappa della probabilità di occorrenza di forti terremoti in Italia nei prossimi 10 anni.

Coordinamento con altre task. Questa task è strettamente coordinata con le task 1A e 2A che hanno fornito rispettivamente i cataloghi storico e strumentale.

Coordinamento con altri progetti. Nessuno.

Aspetti innovativi. L'applicazione di un modello predittivo dei forti terremoti che ammette tutte le possibili ipotesi: Poisson, gap e clustering.

Task 6C, TOMOGRAFIA DELL'INTENSITÀ SISMICA ED EFFETTI DI SITO (Resp.: Gasperini)

Obiettivi. La modellazione accurata dei moti forti del terreno in termini di intensità macrosismica a scala nazionale (tomografia) e locale (effetti di sito).

Attività. Sulla base dei dati del database macrosismico integrato (fornito dalla Task 1A), sono state analizzate le proprietà dell'attenuazione sismica usando modelli sia omogenei e isotropi che eterogenei (tomografici). In un primo lavoro è stata considerato un semplice modello bilineare che è stato mostrato adattarsi ai dati meglio di altre semplici leggi. Le variazioni spaziali della pendenza del primo tratto della legge bilineare si accordano bene con la mappa del flusso di calore superficiale. Ciò indica che, sebbene sia basata su informazioni di tipo qualitativo, l'intensità macrosismica è un indicatore affidabile delle proprietà di propagazione delle onde sismiche ed in particolare dei moti forti. Perciò essa può essere confrontata con le variazioni regionali delle leggi di attenuazione ricavate in termini di parametri strumentali (PGA, ordinate spettrali, ecc.). In uno sviluppo successivo è stato anche incluso nel modello di attenuazione un termine proporzionale al logaritmo della distanza per tener conto dello spargimento geometrico ed un termine correttivo per l'intensità epicentrale. Il pattern delle variazioni dei coefficienti dei termini lineari tuttavia non cambia significativamente, confermando così la validità del precedente approccio.

Abbiamo anche analizzato i residui di intensità, che risultano dagli studi precedenti, alle località che dispongono di un sufficiente numero di osservazioni (più di 8), confrontandoli con le caratteristiche topografiche e litologiche dei siti. Abbiamo utilizzato una versione leggermente modificata dello schema di classificazione, preparato dal gruppo del Dr. Rovelli (INGV) che partecipa al progetto GNDDT coordinato da Amato-Selvaggi, per classificare i siti sulla base delle mappe geologiche e topografiche disponibili (ottenute principalmente attraverso il server web dell'Università di Siena). In generale la correlazione risulta scarsa e solo per un paio di combinazioni topografia-litologia i residui medi risultano significativamente differenti dalla tendenza generale.

È anche proseguita l'analisi di microzonazione della città di Firenze condotta nel primo anno del progetto, in cui sono stati utilizzati i rapporti dell'Ufficio Tecnico Comunale, stilati dopo i terremoti del 18 maggio e 16 giugno 1895, per stimare attraverso una procedura computerizzata le variazioni dell'intensità macrosismica all'interno del centro cittadino. Abbiamo anche eseguito misure di rapporti spettrali del rumore sismico (HVSR) in un centinaio di siti localizzati all'interno dell'area urbana ed alcuni profili di velocità delle onde di taglio nonché la simulazione dell'andamento del moto del suolo con modelli unidimensionali (SHAKE) basati sul profilo di velocità medio misurato. Stiamo ora completando l'analisi comparativa tra le diverse tecniche di microzonazione che dovrebbe permettere di validare l'attendibilità dei vari metodi così come di tracciare un'attendibile mappa di microzonazione del centro cittadino di Firenze.

Coordinamento con altre task. Principalmente con la Task 1A che ha fornito il database macrosismico utilizzato per l'analisi di attenuazione.

Coordinamento con altri progetti. Abbiamo utilizzato lo schema di classificazione preparato dal progetto GNDT coordinato da Amato e Selvaggi.

Aspetti innovativi. Introduzione della variabilità spaziale negli studi di attenuazione sismica a scala nazionale. Confronto tra metodi di misura e simulazione del moto del suolo e l'intensità macrosismica all'interno di un centro urbano.

Task 7, MECCANISMI FOCALI (Resp.: Gasperini/Morelli)

Obiettivi. Lo sviluppo e l'aggiornamento di un database di meccanismi focali ai primi impulsi e il calcolo di soluzioni CMT regionali per l'area Mediterranea.

Attività. Negli ultimi anni abbiamo raccolto e analizzato i meccanismi focali pubblicati in letteratura per il Mediterraneo e le regioni circostanti (in tutto più di 5000). Per gestire tali dati, abbiamo sviluppato un database (EMMA) su una piattaforma MS-Access. Per eseguire i test necessari prima dell'inserimento dei dati nel database ed anche per correggerli quando errati (abbiamo trovato che più del 40% dei dati pubblicati presenta errori di stampa o inconsistenze), abbiamo scritto un pacchetto di routine Fortran che permettono di eseguire tutti i calcoli necessari. Una nuova versione del catalogo (che include più di 6000 meccanismi) è stata recentemente pubblicata su numero speciale di *Annals of Geophysics* che include anche un CDROM.

È continuato anche il calcolo di nuovi meccanismi RCMT da parte del gruppo di sismologia del INGV. Recentemente poi, è stata eseguita un'analisi retrospettiva dei dati disponibili che ha permesso di calcolare ulteriori 70 meccanismi, non calcolati in precedenza, di terremoti di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0 avvenuti tra il 1977 e il 1996.

I dati raccolti all'interno di questa task (EMMA e RCMT) e anche quelli forniti dai cataloghi CMT on-line dell'università di Harvard e dell'ETH di Zurigo sono stati elaborati con il metodo di Kostrov per produrre mappe di sfere focali cumulate e di proiezioni nel piano orizzontale degli assi P e T per differenti regioni e su griglie regolari di 1 e 1/2 grado. Per ogni cella abbiamo anche calcolato una scheda riassuntiva, che può essere ricercata attraverso mappe sensibili su pagine web, che permette di valutare la coerenza ed il contributo relativo dei dati da letteratura (EMMA) e da cataloghi CMT. Tutte queste mappe sono state descritte e commentate, assieme alle principali caratteristiche geologiche e tettoniche delle varie

aree del Mediterraneo, in un lavoro che è apparso sul citato numero speciale di *Annals of Geophysics*.

Coordinamento con altre task. Principalmente con la task 1A che utilizza le stime di momento sismico scalare per assegnare le magnitudo momento ai terremoti del catalogo CPTI e con la Task 2B che utilizza gli stessi dati per calcolare regressioni con altri tipi di magnitudo.

Coordinamento con altri progetti. Il catalogo RCMT è supportato principalmente, al di fuori del presente progetto, dall'INGV stesso e i dati relativi sono messi a disposizione di tutti i ricercatori interessati sulla rete. Tuttavia la stretta interazione con il gruppo di sismologia dell'INGV ha permesso in alcuni casi di disporre di tali dati in anteprima.

Aspetti innovativi. Nell'utilizzo di dati di meccanismi da letteratura, al posto di un utilizzo acritico dei dati pubblicati, sono stati invece eseguiti controlli di consistenza e qualità. EMMA costituisce attualmente la più completa e affidabile raccolta di meccanismi disponibile.

Task 9A, MISURE GEODETICHE (Resp.: Riguzzi)

Obiettivi. Gli obiettivi originali erano la costruzione di una rete semi-permanente per monitorare la deformazione intersismica lungo le fasce più attive sismicamente della penisola italiana. A causa della riduzione di fondi, questo obiettivo è stato prima ristretto ad un'area compresa tra la zona dell'Aquila e il massiccio del Pollino (invece che dall'Umbria alla Calabria) e, dopo il primo anno, completamente abbandonato su suggerimento dei referee.

Attività. Sono stati predisposti tre nuovi siti GPS, di cui due semi-permanenti (Madonna di Cristo e Le Serre) e uno permanente (Roseto degli Abruzzi), posizionati nell'area più debole della rete (costa Laziale, Toscana meridionale e Abruzzo).

Coordinamento con altre task. Nessuno.

Coordinamento con altri Progetti. Principalmente con on progetti MIUR e ASI, nell'ambito dei quali vengono abitualmente eseguiti studi geodetici.

Aspetti Innovativi. L'uso del GPS per la stima della deformazione intersismica lungo fasce attive.

Prodotti conseguiti

Prodotto 1: Catalogo sismico strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996 (Versioni 1.0 e 1.1)

Descrizione. Nella nuova versione (1.1) sono state corrette in particolare le localizzazioni di eventi ai margini della rete nazionale ed è stata rivista la stima della magnitudo locale.

Versione finale. La prima versione è stata distribuita su CD-ROM ed è anche disponibile in rete all'indirizzo http://gndt.ingv.it/Banche_dati/Banche_dati_home.htm. La nuova versione del catalogo sarà resa disponibile all'accesso in rete allo stesso indirizzo.

Utilità per la Protezione Civile. Si tratta di dati di base indispensabili per la formulazione di qualsiasi stima di *hazard* sia tradizionale che innovativa.

Prodotto 2: Catalogo parametrico dei terremoti italiani, Versione 2004 (CPTI04)

Descrizione. Si tratta di un catalogo integrato storico/strumentale esteso al 2002 con magnitudo ricalcolata in modo omogeneo e predisposto per l'utilizzo con diverse leggi di attenuazione. È stato utilizzato per la recente revisione della mappa sismica.

Versione finale. Il catalogo e la documentazione relativa sono disponibili in rete all'indirizzo: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.

Utilità per la Protezione Civile. Questo prodotto rappresenta il catalogo sismico di riferimento per le valutazioni di *hazard* in Italia.

Prodotto 3: Database macrosismico integrato

Descrizione. Consiste nel catalogo dei risentimenti macrosismici italiani sulla base del quale sono state eseguite le elaborazioni di localizzazione e calcolo della magnitudo macrosismica utilizzate per il CPTI04 (prodotto 2). Esso include attualmente circa 70000 stime indipendenti di intensità.

Versione finale. La versione definitiva sarà disponibile nei primi mesi del 2005 anche se a richiesta ne può essere fornita una preliminare.

Utilità per la Protezione Civile. Dati di base indispensabili per la produzione del catalogo storico italiano.

Prodotto 4: Database of Earthquake Mechanisms of the European Area (EMMA).

Descrizione. È una raccolta di soluzioni focali ricavate dalla letteratura che viene gestita da una applicazione in ambiente MS-Access. I parametri di tutti i meccanismi sono stati controllati per consistenza e, in caso di errori, corretti quando possibile. Viene inoltre effettuata la scelta, sulla base di criteri obiettivi, del migliore tra i meccanismi disponibili.

Versione finale. La prima versione è stata pubblicata su una rivista internazionale nel 2003 mentre la seconda nel 2004. Un CD-ROM contenente l'applicazione MS-Access, i dati e la documentazione è allegato ad un numero speciale della rivista *Annals of Geophysics*.

Utilità per la Protezione Civile. Le informazioni contenute permettono di estendere all'indietro nel tempo e verso le basse magnitudo le conoscenze sullo stile tettonico del rilascio sismico in Italia e nelle aree circostanti. La prima versione è stata utilizzata dalla Task Zonazione sismogenetica ZS9, nell'ambito delle attività per la revisione della mappa sismica italiana.

Prodotto 5: Database dei meccanismi CMT regionali.

Descrizione. È una raccolta di tensori momento calcolati utilizzando registrazioni *broad band* regionali (in gran parte fornite dalla rete MEDNET dell'INGV). Include eventi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.5 normalmente non calcolati da gruppo Harvard CMT. La versione attuale comprende terremoti avvenuti tra il 1997 e il 2002.

Versione finale. Il catalogo è disponibile in rete all'indirizzo <http://www.ingv.it/seismoglo/RCMT/>. È prevista entro breve la pubblicazione dei meccanismi del 2003 e precedenti al 1997.

Utilità per la Protezione Civile. Valgono le stesse considerazioni fatte per il prodotto precedente: anche tali dati sono stati utilizzati nell'ambito delle attività per la revisione della mappa sismica italiana.

Prodotto 6: Repertorio di mappe di momenti tensori cumulati per l'area mediterranea.

Descrizione. È il risultato dell'applicazione del metodo di Kostrov ad un database integrato comprendente dati da letteratura (Prodotto 4) i meccanismi CMT di Harvard e i cataloghi di tensori momento INGV (Prodotto 6) e ETH. Le mappe rappresentative della distribuzione della sismicità e dei tensori momento cumulati in Italia e in altre 6

aree mediterranee sono commentate dal punto di vista delle conseguenze cinematiche per fornire un quadro complessivo dello stato di deformazione sismica.

Versione finale. È stato pubblicato nel citato numero speciale di *Annals of Geophysics* ed è anche disponibile in rete all'indirizzo <http://www.ingv.it/atlas>.

Utilità per la Protezione Civile. Valgono considerazioni analoghe a quelle dei due punti precedenti.

Prodotto 7: Studio delle modalità di attenuazione dell'intensità macrosismica in Italia.

Descrizione. Il modello di attenuazione preferito include un termine bilineare che tiene conto della dissipazione anelastica a breve (< 45 km) e media distanza, un termine logaritmico che considera lo *spreading* geometrico ed un termine correttivo dell'intensità epicentrale. L'ottimo accordo delle variazioni spaziali osservate dei coefficienti lineari di attenuazione con la mappa del flusso di calore superficiale indica che tali variazioni possono essere utilizzate per calibrare gli andamenti regionali delle leggi di attenuazione anche per i parametri strumentali (PGA, ordinate spettrali ecc).

Versione finale. Una prima versione dello studio, che non include i termini di *spreading* e di intensità è stata già pubblicata su riviste internazionali. È attualmente in corso di completamento il nuovo studio.

Utilità per la Protezione Civile. La mappa delle anomalie di attenuazione in intensità può essere utilizzata direttamente in stime di *hazard* in termini di tale parametro per ridurre le incertezze legate all'attenuazione. Inoltre, combinando opportunamente tali risultati con i dati disponibili in termini di parametri strumentali potrebbe essere analogamente utilizzata anche per mappe in termini di PGA.

Prodotto 8: Previsione dell'andamento temporale delle repliche sismiche in Italia .

Descrizione. Sono stati calcolati i parametri medi validi per l'Italia e per alcune sotto regioni italiane del modello di Reasenberg e Jones. Sono stati anche costruiti dei normogrammi che forniscono, in funzione della magnitudo della scossa principale, il numero di repliche attese e la probabilità di forti repliche.

Versione finale. Un primo lavoro è stato pubblicato su una rivista internazionale nel 2002. Altri due lavori riguardanti l'evoluzione del modello di occorrenza sono in corso di completamento e saranno sottomessi per pubblicazione a riviste internazionali.

Utilità per la Protezione Civile. I nomogrammi delle probabilità di occorrenza e del numero di scosse attese possono essere utilizzati per valutare speditivamente il rischio di forti repliche dopo un forte terremoto a fini di protezione civile.

Prodotto 9: Mappa della probabilità di occorrenza di forti terremoti in Italia a breve e medio termine.

Descrizione. È stata studiata la distribuzione spaziale della frequenza di occorrenza di forti terremoti in Italia sulla base di un modello di *hazard time-dependent* che ammette anche ipotesi diverse dalla distribuzione poissoniana come il *clustering* e il *gap*. Il processo di occorrenza prevalente nel breve e medio termine (10-30 anni) risulta essere il *clustering*. Sulla base del modello stimato sono state calcolate le probabilità di occorrenza di forti terremoti a 1 e 10 anni.

Versione finale. Un primo studio è stato pubblicato su una rivista internazionale ma sono in corso di completamento ulteriori approfondimenti.

Utilità per la Protezione Civile. L'utilizzo di un modello di occorrenza più accurato può fornire stime di pericolosità più affidabili. Inoltre l'elevata probabilità di raggruppamento spazio-temporale potrebbe indicare la necessità di modificare le misure di protezione da attuare dopo un forte terremoto.

Prodotto 10: Nuove versioni del codice di calcolo Boxer per la determinazione dei parametri di sorgente dei terremoti storici.

Descrizione. Sono state predisposte due nuove versioni del codice Boxer usato correntemente per la determinazione dei parametri di sorgente dei terremoti storici. La prima, già utilizzata nell'ambito dell'iniziativa per la revisione della mappa sismica, migliora la precisione delle stime di magnitudo, mentre la seconda permette la più corretta localizzazione di eventi avvenuti in aree marine.

Versione finale. Le versioni definitive saranno rese disponibili come le precedenti presso il sito <http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/boxer/boxer.html>.

Utilità per la Protezione Civile. Si tratta di strumenti che migliorano la precisione dei parametri dei terremoti storici che, come è noto, costituiscono la grande maggioranza della base informativa utilizzata per le stime di *hazard*.

Prodotto 11: Studio comparativo tra misure strumentali, simulazioni numeriche e dati macrosismici della risposta sismica nel centro storico di Firenze.

Descrizione. In uno studio precedente erano state studiate le variazioni spaziali dell'intensità macrosismica risentita in occasione dei terremoti del 1895 all'interno del centro storico di Firenze. Questi dati sono stati confrontati con misure di rapporti spettrali H/V e con i risultati di simulazioni 1 D basate su un modello numerico digitale della superficie di campagna e del basamento e su misure di velocità sismiche.

Versione finale. Il lavoro di acquisizione dei dati è terminato, l'analisi comparativa sarà completata entro il termine del progetto e pubblicata su riviste internazionali.

Utilità per la Protezione Civile. Oltre a fornire un modello dettagliato della risposta sismica per la città di Firenze, sede tra l'altro di un inestimabile patrimonio artistico e monumentale, questo studio rappresenta un'occasione di validazione di diverse tecniche di microzonazione sismica che può essere di grande utilità anche in altre simili realtà urbane.

Prodotto 12: Analisi della correlazione tra residui di località (in termini di intensità macrosismica) e caratteristiche litologiche e topografiche dei siti.

Descrizione. I residui di intensità per località risultanti dallo studio topografico di attenuazione (prodotto 7) sono stati messi in relazione con le caratteristiche della litologia superficiale e della topografia dedotte speditivamente dalla cartografia. Alcune combinazioni litologia-topografia mostrano deviazioni dal comportamento medio statisticamente significative.

Versione finale. Il lavoro è ancora in corso di completamento. Sarà sottomesso ad una rivista internazionale per la pubblicazione.

Utilità per la Protezione Civile. Questo studio fornisce un mezzo per valutare su un ampio campione di siti la relazione tra amplificazione locale e caratteristiche litologiche e topografiche. I risultati possono essere utilizzati per correggere, per gli effetti locali, le stime di pericolosità, normalmente riferite a siti neutri.