

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

Coordinatore: Paolo Gasperini

Introduzione

È opportuno segnalare che, trattandosi di un progetto riproposto, i fondi relativi al presente anno di finanziamento sono stati resi disponibili presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna solo a partire dalla metà di gennaio 2003. Di conseguenza la presente relazione rispecchia attività svolte formalmente in un periodo di molto inferiore alla durata di un anno. In particolare, per la specifica natura del rapporto con la società di ricerche SGA, le attività previste nell'ambito della Task 1 sono tuttora ad uno stadio molto precoce e verranno quindi presentate in forma provvisoria, con riserva di completarne la rendicontazione in tempi successivi. Al contrario le attività sulle altre linee di ricerca sono proseguite quasi esattamente secondo il programma iniziale, per iniziativa volontaristica dei partecipanti, anche se ovviamente con qualche difficoltà.

Gli obiettivi del progetto, come risultano anche dalla scheda di riproposizione, sono stati ridimensionati, in relazione ai commenti dei *referee* e all'entità dei fondi assegnati, e comprendono attività nell'ambito di solo 4 delle *task* inizialmente previste. Questo ha ridotto fortemente l'unitarietà e la coerenza del progetto che originalmente aveva come obiettivo finale la revisione delle stime di *hazard* a scala nazionale. Ugualmente però si è cercato di sviluppare una proposta che a partire da attività giudicate "nuove ed innovative" dalla Commissione dei *referee* fornisse risultati direttamente utilizzabili anche dagli altri progetti GN-DT. In tale ambito, come anche suggerito dagli stessi *referee* si è ricercata un'integrazione con il progetto coordinato dal Dr. Amato, attraverso scambi di informazioni, in modo anche da evitare sovrapposizioni o duplicazioni. Per questo inoltre, alcune delle ricerche proposte sono state pensate per fornire prodotti che hanno una loro completezza e autonomia ma che possono essere facilmente utilizzati da chiunque. Tra gli altri vale la pena di ricordare in particolare il codice di analisi di dati macrosismici "Boxer" e il "Database dei Terremoti di area Mediterranea" (EMMA). Si tratta di strumenti pensati per un utilizzo autonomo da parte di ricercatori italiani e stranieri e di cui viene fornito anche un manuale di riferimento.

Di seguito sono elencati sinteticamente, per ognuna delle 4 *task* attivate, le attività previste e i risultati attesi per i due anni (secondo e terzo) della riproposizione e quelli effettivamente ottenuti nel primo di questi due.

Task 1 CATALOGO SISMICO STORICO (Responsabile Gasperini, Collaboratori: Albarello, Bernardini, Camassi, Castelli, Ercolani, Lolli, Vannucci e Gruppo di Lavoro SGA)

Le attività previste riguardano.

- i) Il miglioramento del codice Boxer attraverso l'utilizzo della legge di attenuazione bilineare proposta da Gasperini (2001).

- ii) Lo sviluppo di nuovi metodi per calcolare l'epicentro per terremoti fuori costa.
- iii) Lo sviluppo di tecniche robuste per stimare la profondità della sorgente.
- iv) L'applicazione dell'algoritmo "Fuzzy" per il calcolo dell'intensità ad alcuni forti terremoti Italiani.

Risultati attesi per il secondo anno.

- Nuova *release* del codice Boxer per il calcolo della localizzazione, della magnitudo e dell'orientazione delle sorgenti sismiche da dati macrosismici.
- Applicazione dell'algoritmo Fuzzy al calcolo delle intensità del terremoto dell'Irpinia del 1930.

Risultati attesi per il terzo anno.

- Nuova *release* del codice Boxer comprendente la localizzazione fuori costa ed il calcolo della profondità.
- Applicazione dell'algoritmo Fuzzy ad altri forti terremoti Italiani.

Risultati ottenuti nel secondo anno:

È stata implementata una nuova versione "sperimentale" del codice Boxer per il calcolo della localizzazione, della magnitudo e dell'orientazione delle sorgenti sismiche da dati macrosismici che fa uso della legge di attenuazione proposta da Gasperini (2001). Essa è stata *testata* sui terremoti liguri del 19 luglio 1963 e su alcuni terremoti siriani.

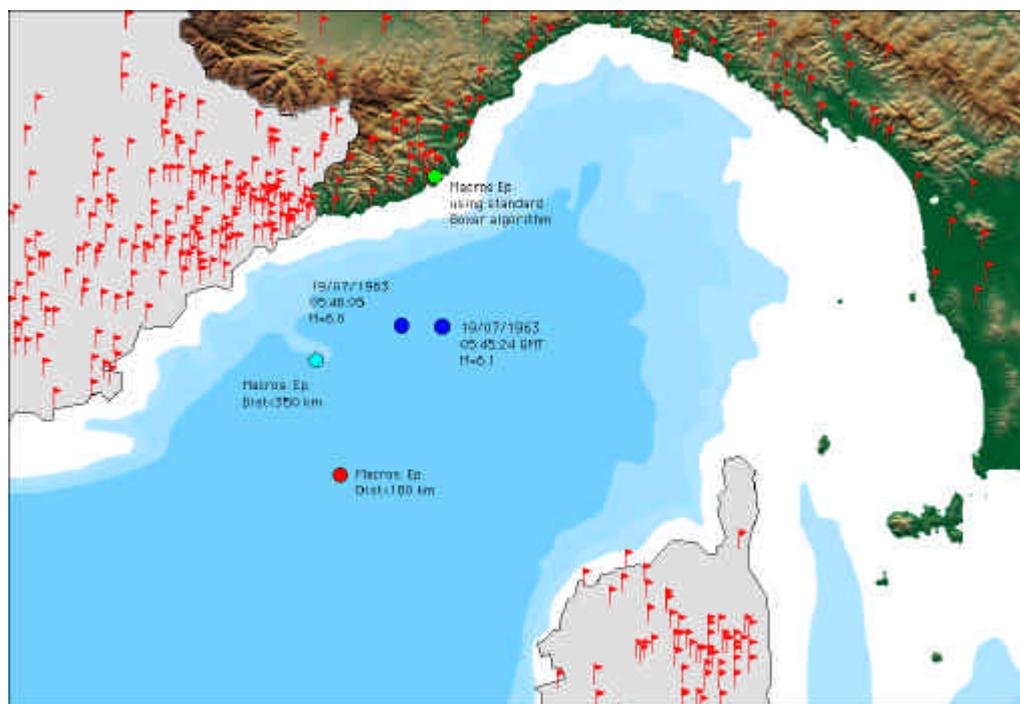


Figura 1. Campo di risentimento dei terremoti liguri del 17 Luglio 1963. Con cerchi blu sono indicati gli epicentri strumentali (dati ISS) delle due scosse avvenute a distanza di circa un minuto una dall'altra. In verde è indicato l'epicentro macrosismico (complessivo delle due scosse) che viene calcolato dalla precedente versione del codice Boxer (3.2) come baricentro delle località con massimo risentimento (I=VI). Con i cerchi azzurro e rosso sono invece riportati gli epicentri calcolati dalla nuova versione del

codice Boxer (4.0) utilizzando due diverse modalità: la prima utilizza tutti i dati entro un raggio di 350 km dall'epicentro preliminare, la seconda riduce tale distanza a 180 km (vedi Gasperini, 2001) e include nel calcolo solo i punti in cui l'intensità attesa è maggiore o uguale a IV. La magnitudo stimata con il nuovo metodo è 6.1, mentre l'intensità epicentrale (teorica) è IX. Non è stato invece possibile valutare l'orientamento della struttura sismogenetica per la mancanza di dati in zona epicentrale.

In Fig. 1 si può vedere come l'algoritmo modificato sia in grado, a differenza di quello utilizzato precedentemente dal codice Boxer (versione 3.2), di localizzare correttamente in mare l'evento. Anche se la corrispondenza con gli epicentri strumentali non è in questo caso particolarmente precisa, il risultato appare incoraggiante per i futuri sviluppi del metodo.

Attraverso la metodologia sviluppata da Ferrari et al. (1995) e Vannucci et al (2000) che fa uso dei *Fuzzy Sets*, sono stati codificati ed elaborati i dati degli effetti osservati per il terremoto dell'Irpinia del 1930, per ottenere stime oggettive e riproducibili delle intensità. Il confronto con altri eventi precedentemente studiati mediante tale metodo (S.Sofia 1918, Mugello 1919 e Garfagnana 1920) indica una tipologia di informazioni piuttosto differente. Utilizzando infatti le "funzioni di appartenenza" *Fuzzy* ricavate dagli altri eventi (invertite) si otterrebbero infatti campi di risentimento molto diversi sia da quello ottenuto con le funzioni ricavate dall'evento stesso (proprie) sia da quello molto simile a quest'ultimo ottenuto con metodi tradizionali. Questo effetto è particolarmente chiaro osservando le elaborazioni effettuate tramite il codice Boxer sui diversi campi di risentimento ottenuti (Fig.2).

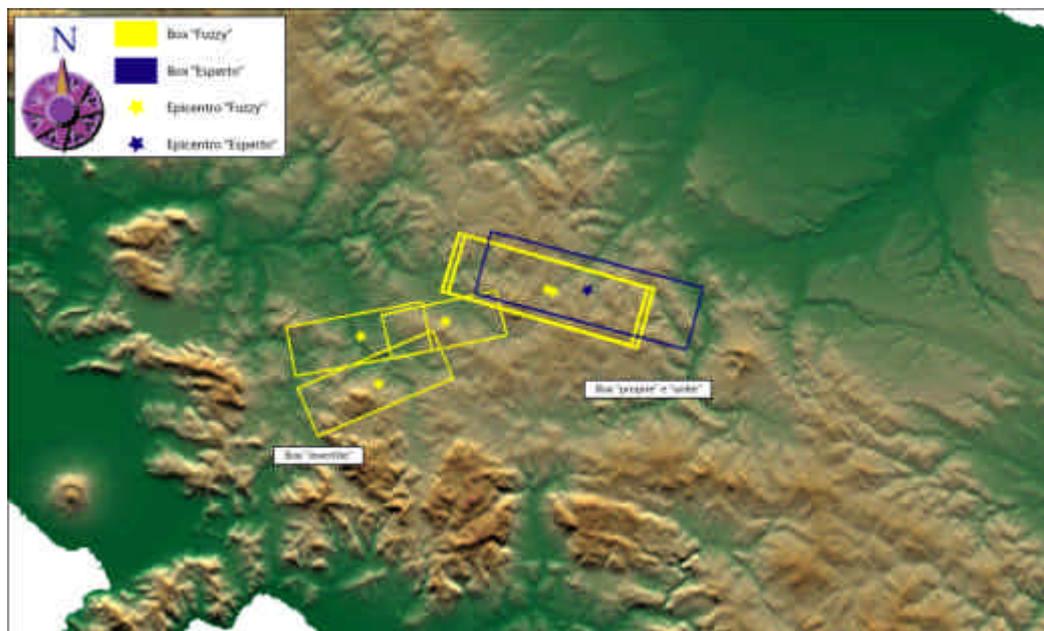


Figura 2. Elaborazione tramite codice Boxer (versione 3.2) dei campi di risentimento del terremoto dell'Irpinia del 23 luglio 1930, risultanti dalle elaborazioni con algoritmo Fuzzy (giallo) e dalle valutazioni di intensità da parte di un "esperto macrosismico" (blu). Le box "invertite" si riferiscono a valutazioni effettuate utilizzando "funzioni di appartenenza" Fuzzy ricavate dai dati degli eventi del 1918 a S.Sofia (appennino romagnolo), del 1919 in Mugello e del 1920 in Garfagnana. Le box "proprie" e "unite" si riferiscono invece rispettivamente alle valutazioni ottenute utilizzando funzioni di appartenenza ricavate dai dati dell'evento del 1930 stesso e unendo tutti i dati.

Task 6C TOMOGRAFIA DELL'INTENSITÀ ED EFFETTI DI SITO (Responsabile: Gasperini, Collaboratori: Albarello, Bernardini, Camassi, D'Amico, Ercolani, Lolli, Mucciarelli, Vannucci)

Le attività previste riguardano.

- i) Il confronto di dettaglio dei residui empirici di località con le caratteristiche litologiche e topografiche dei siti al fine di verificare se essi sono effettivamente collegati a specifiche proprietà locali dei siti piuttosto che alle incertezze nella determinazione dell'intensità
- ii) L'introduzione delle orientazioni spaziali delle sorgenti sismiche nell'equazione di attenuazione bilineare al fine di rendere più realistico e preciso il calcolo delle distanze. Questo può essere fatto sia usando la tecnica Boxer (Gasperini *et al.*, 1999) o calcolando, simultaneamente all'inversione tomografica, l'orientazione della sorgente che minimizza i residui di equazione.
- iii) Estensione del dataset di intensità attraverso l'inclusione di nuovi dati provenienti dal Bollettino macrosismico dell'INGV degli anni dal 1993 al 1997.
- iv) Continuazione dello studio (Boccaletti *et al.*, 2001) sulle variazioni laterali dell'intensità avvertita nel centro storico di Firenze in occasione dei terremoti di Impruneta del 1895 e confronto con i risultati di simulazioni 1D del moto del suolo e di misure di amplificazione del suolo.

Risultati attesi per il secondo anno.

- Database macrosismico integrato contenente i dati provenienti dal Bollettino macrosismico dell'INGV per tutti gli eventi con $I_{max} > V$.
- Inversione tomografica preliminare utilizzando il database aggiornato.
- Studio delle variazioni laterali dell'intensità a Firenze per i terremoti del 1895 confrontate con simulazioni 1D del moto del suolo.

Risultati attesi per il terzo anno.

- Database delle caratteristiche litologiche e topografiche delle località con risentimenti per più di 10 differenti terremoti, sulla base dei dati utilizzati per la nuova inversione tomografica.
- Inversione tomografica definitiva utilizzando la metodologia aggiornata.
- Confronto tra le variazioni laterali dell'intensità a Firenze con misure di amplificazione del suolo.
- Studio delle variazioni laterali dell'intensità per altri centri storici.

Risultati ottenuti nel secondo anno:

È stata preparata una versione preliminare del database macrosismico, integrando i dati di DOM (Monachesi e Stucchi, 1997) e CFTI (Boschi *et al.*, 1995, 1997, 2000), sulla base delle scelte effettuate nel CPTI (CPTIWG, 1999), con i dati provenienti dal Bollettino macrosismico dell'INGV per tutti gli eventi con $I_{max} > V$ dal 1993 al 1996. Sono inoltre stati sostituiti i dati provenienti dal Catalogo dei Forti Terremoti versione 2 (utilizzata per CPTI) con quelli della versione 3 (Boschi *et al.*, 2000) aggiungendo anche i terremoti in più presenti nella versione più recente. Il database include complessivamente 61638 dati di risentimento (di cui 7102 aggiunti) relativi a 2622 terremoti (di cui 142 aggiunti). È stato anche avviato il lavoro di riordino e

standardizzazione del catalogo delle località che possiedono dati di risentimento. Il catalogo che inizialmente, a causa della diversa codifica di DOM, CFTI e Bollettino, includeva 26450 località, comprende ora 12267 località anche se sono ancora necessari ulteriori controlli e verifiche per l'eliminazione di eventuali altri doppioni. Sulla base di tale *dataset* integrato, è stata realizzata una nuova inversione tomografica dell'attenuazione dell'intensità macrosismica. Rispetto al lavoro precedente (Carletti e Gasperini, 2003) attualmente in corso di revisione su una rivista internazionale, la base di dati è stata estesa, oltre che ai dati successivi al 1992 anche a quelli, precedentemente esclusi, dal 1600 al 1800. Il numero di osservazioni macrosismiche utilizzate è così passato da 19997 a 25864, con un aumento di circa il 30%. I risultati dell'inversione (Fig. 3) sono molto simili a quelli ottenuti in precedenza ed estendono solo marginalmente l'area coperta dall'indagine. Il principale miglioramento riguarda invece la definizione dei residui di località che possono essere utilizzati per la valutazione degli effetti di sito. Il numero delle località analizzabili (con almeno 8 risentimenti come nel caso precedente) quasi raddoppiano passando da 285 a 559. La ragione di questo così sostanziale incremento è da attribuire molto probabilmente alla regolare presenza delle località selezionate dall'INGV per l'invio dei questionari macrosismici.

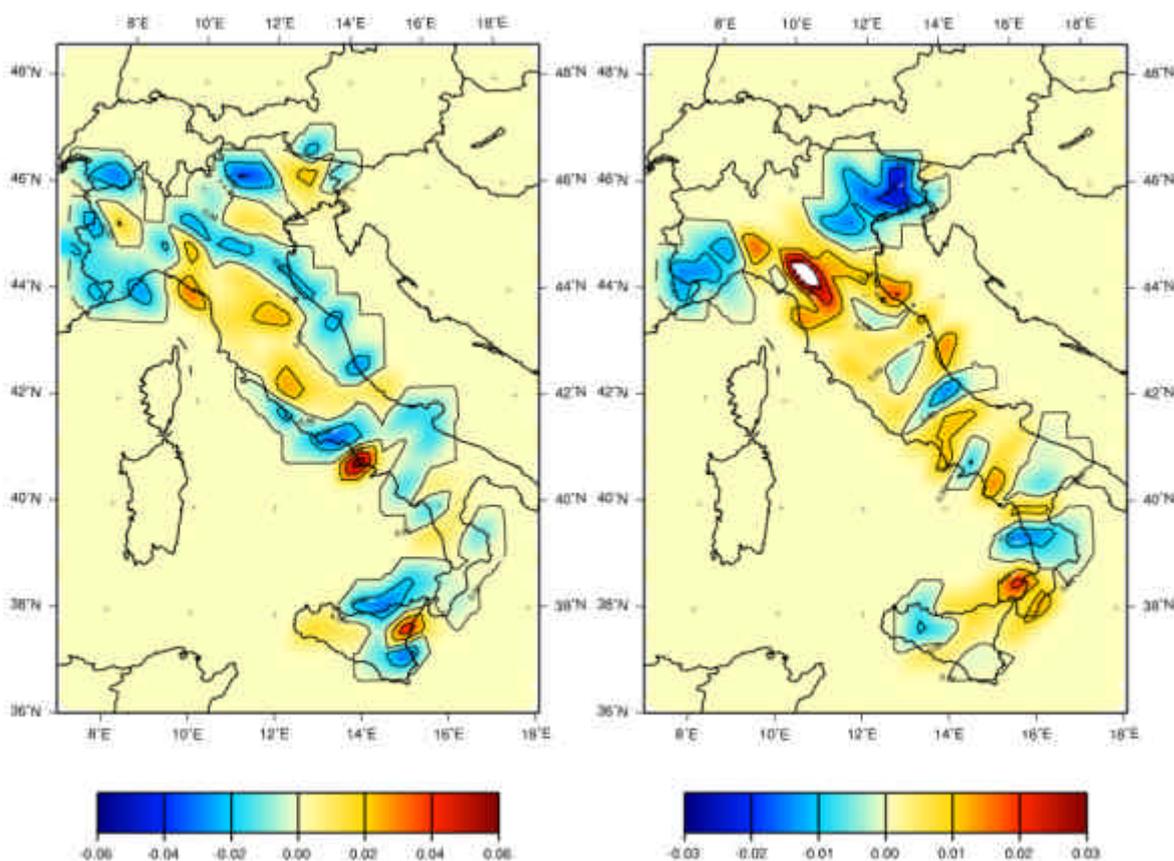


Figura 3. Risultati dell'inversione tomografica dell'attenuazione dell'intensità macrosismica per il nuovo dataset integrato. A sinistra le differenze, rispetto alla media per la pendenza (gradi al km) del primo tratto del modello di attenuazione bilineare (Gasperini, 2001) (distanze tra 0 e 45 km). A destra la stessa rappresentazione per il secondo tratto (distanze tra 45 e 180 km). Le aree in rosso indicano attenuazione maggiore della media, quelle in blu inferiore alla media.

Proprio sulla base dell'elenco dei residui empirici di località ottenuti, è stata avviata un'indagine per caratterizzare dal punto di vista della litologia superficiale e della topografia i siti interessati. Sulla base delle carte geologiche disponibili (in gran parte ottenute attraverso il portale internet gestito dall'Università di Siena), 149 delle località per cui si dispone di un residuo medio ottenuto con più di 10 osservazioni macrosismiche sono state classificate in base ad una versione leggermente modificata dello schema preparato dal gruppo del Dr. Rovelli (INGV) che partecipa al progetto Amato GNDT.

In base a tale schema la geologia superficiale è stata suddivisa in: A = Consolidato carattere Litoide, B = Consolidato carattere Semilitoide, C = Non consolidato (spessore < 20m), D = Non consolidato (spessore > 20m).

Le classi a carattere non consolidato poi sono state suddivise ulteriormente in base al substrato su cui poggiano in: a = Carattere litoide, b = Carattere semilitoide, c = Carattere misto, d = Di natura sconosciuta

Infine, in base alla topografia, i siti sono stati valutati conformemente all'ubicazione della maggioranza dell'edificato. Le categorie utilizzate sono: Costa, Cresta, Pianura, Valle, Versante.

In pratica alcune di queste classificazioni sono risultate difficili se non impossibili da valutare sulla base solo della cartografia. In particolare non è stato mai possibile verificare la presenza di strati di spessore inferiore a 20 m e quindi la classe C risulta vuota. Tuttavia questa indagine, che è ancora ad uno stadio preliminare, ha permesso di identificare almeno due situazioni abbastanza chiare. Si tratta della combinazione di classe A (consolidato litoide) in pianura che attenua significativamente (di circa 0.4 gradi di intensità in media) e di classe B (consolidato semilitoide) in valle che amplifica anch'esso significativamente (circa 0.2 gradi di intensità in media). Sono in corso ulteriori approfondimenti relativi all'estensione del numero di località classificate e allo studio dell'andamento dei residui per una data località anche in relazione al tempo.

Nell'ambito dell'analisi di micro-zonazione sismica di Firenze realizzata nel primo anno del progetto, sono state effettuate misure di rapporti spettrali del rumore di fondo a 15 siti localizzati nell'area urbana di Firenze, nonché misure del profilo di velocità delle onde S a 7 di questi siti. I risultati di queste indagini, di cui è in corso l'elaborazione (Albarelo et al. 2003), verranno confrontate con le variazioni laterali dell'intensità a Firenze ricavate per i terremoti del 1895 (Fig 4) e saranno utilizzate per vincolare simulazioni 1D del moto del suolo.

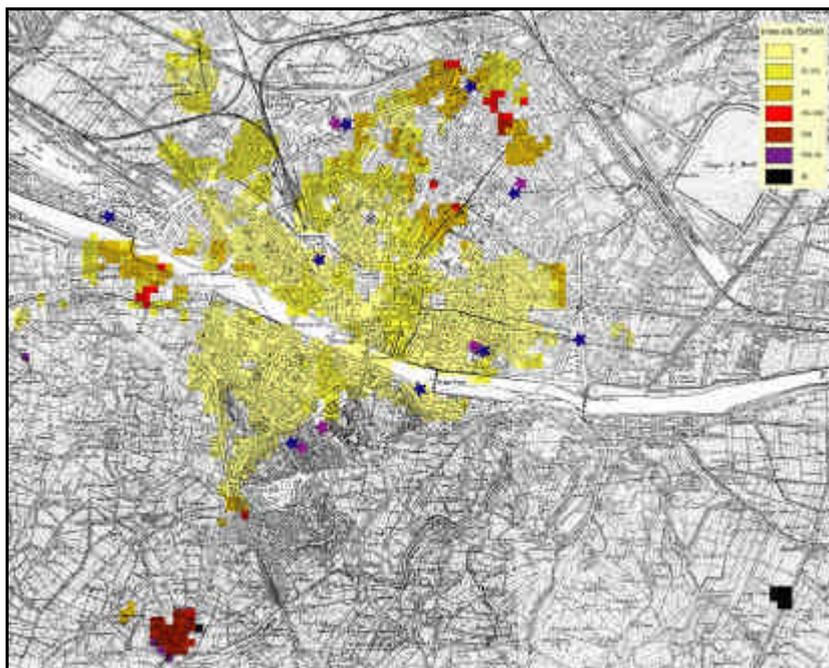


Figura 4. Mappa della zonazione sismica dell'area urbana di Firenze in termini di intensità EMS92, basata sull'analisi degli effetti sugli edifici dei terremoti del maggio-giugno 1895. Con stelle blu sono indicati i siti in cui sono state effettuate misure di rapporti spettrali e con stelle viola i punti in cui sono stati eseguiti profili della velocità delle onde S (alcuni punti indagati sono esterni alla figura).

Task 5 STATISTICA DELLE SORGENTI SISMICHE E COMPLETEZZA DEI CATALOGHI (Responsabile: Marzocchi, Collaboratori: Albarello, Dal Forno, D'Amico, Faenza, Gasperini, Lolli, Mucciarelli, Sandri, Selva, Vannucci)

L'obiettivo generale 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 letteratura ed anche quelle che potrebbero scaturire dalla ricerca stessa. Intendiamo studiare le modalità dell'occorrenza dei terremoti:

- i) Nello spazio (modello sismogenetico)
- ii) Nel tempo (modelli di occorrenza statistica)
- iii) Nell'energia (leggi di scala)
- iv) Nell'ampiezza del moto del suolo al sito (legge di attenuazione ed effetti locali)

Risultati previsti per il secondo anno.
Nessuno (non programmati)

Risultati previsti per il terzo anno.

- Modello di occorrenza sismica nello spazio, relativamente alla sismicità sia storica (lunga scala temporale) che strumentale (breve scala temporale).
- Modello di occorrenza temporale e sua calibrazione attraverso i dati strumentali.

- Verifica delle leggi di scala sulla magnitudo per il catalogo strumentale.
- Verifica delle leggi di attenuazione di uso corrente.
- Modello statistico per la serie temporale delle intensità risentite al sito.

Risultati ottenuti nel secondo anno.

Abbiamo analizzato la distribuzione spazio-temporale dei forti terremoti attraverso un nuovo modello non-parametrico multivariato. Il metodo presenta diversi vantaggi rispetto ad altri approcci tradizionali. In particolare, permette di verificare in modo diretto una varietà di ipotesi come qualsiasi forma di dipendenza (gap sismico, clustering, Poisson). Inoltre, esso può tenere conto di parametri fisici e tettonici che potenzialmente influenzano la variabilità spazio-temporale, e verificarne l'importanza relativa. Il metodo è stato applicato alla sismicità italiana degli ultimi quattro secoli (CPTIWG, 1999). I risultati mostrano che i forti terremoti in Italia tendono a raggrupparsi; la probabilità istantanea di occorrenza è maggiore immediatamente dopo un evento e decresce fino a raggiungere, in alcuni anni, un valore costante. E' stata calcolata una mappa della probabilità di occorrenza per il prossimo forte terremoto in Italia nei prossimi dieci anni. Questo lavoro è stato sottomesso ad una rivista internazionale (Faenza and Marzocchi, 2003).

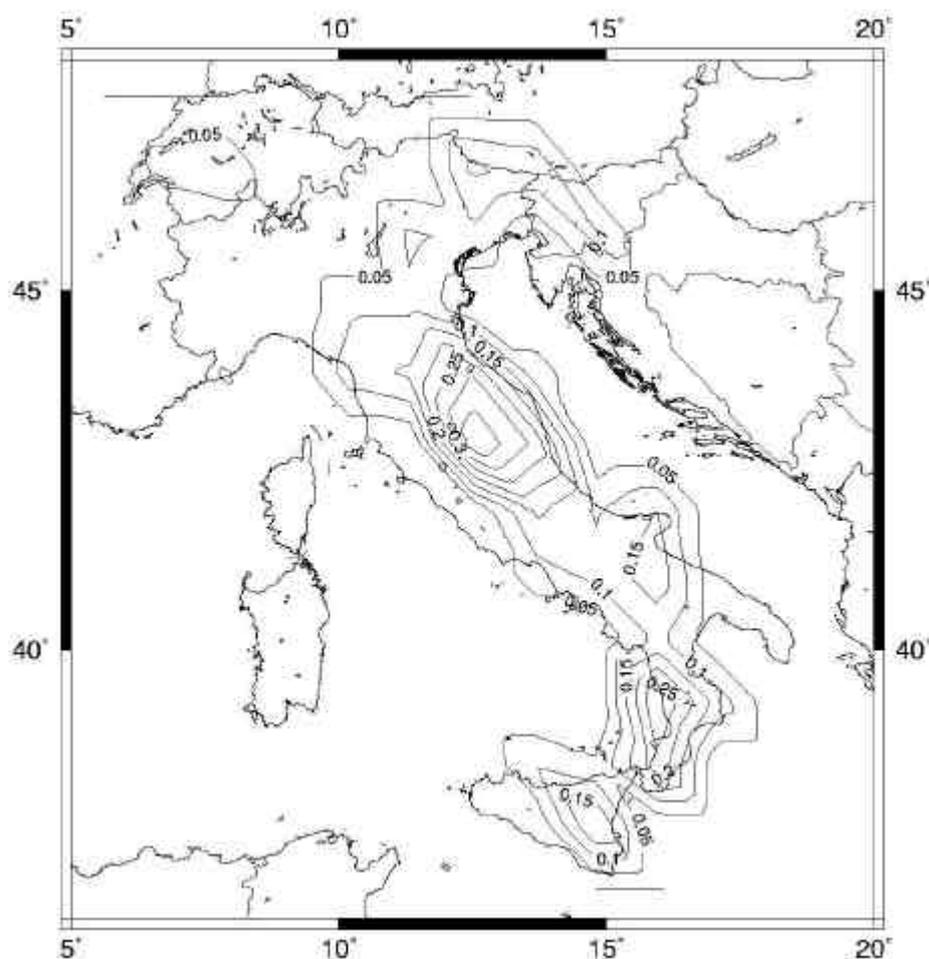


Figura 5. Mappa della probabilità di occorrenza per il prossimo forte terremoto in Italia nei prossimi 10 anni.

Sono anche proseguite le attività nel campo della modellazione delle proprietà di occorrenza statistica dei terremoti. Al momento è in corso di stampa un primo lavoro (Lolli e Gasperini, 2003a) riguardante la previsione delle repliche sismiche in Italia che fa uso del modello di occorrenza di Reasenberg e Jones (1989), mentre sono in stato di avanzata preparazione due ulteriori studi riguardanti la validazione (Lolli e Gasperini, 2003b) dei risultati del primo lavoro attraverso il confronto con i dati dal 1997 al 2002, recentemente resi disponibili sul sito web dell'INGV e l'evoluzione del modello di occorrenza delle repliche (Gasperini e Lolli, 2003).

Nel confronto tra le proprietà medie delle repliche per i due *dataset* (Fig. 6) si osserva un buon accordo per quanto riguarda la rapidità del decadimento temporale, mentre i tassi assoluti risultano circa doppi dopo il 1996 rispetto a quelli del periodo precedente. Questa discrepanza potrebbe essere dovuta a un residuo errore di calibrazione tra le magnitudo stimate nei due periodi. Inoltre si è osservato che una frazione significativa delle sequenze che si sono verificate dopo il 1996 (come ad es. quella umbro-marchigiana del 1997-1998) presentano un andamento "a sciame", con numerose scosse di energia abbastanza simile, piuttosto che il classico schema mainshock-aftershocks. In questi casi l'approccio modellistico utilizzato fino ad ora risulta inadeguato.

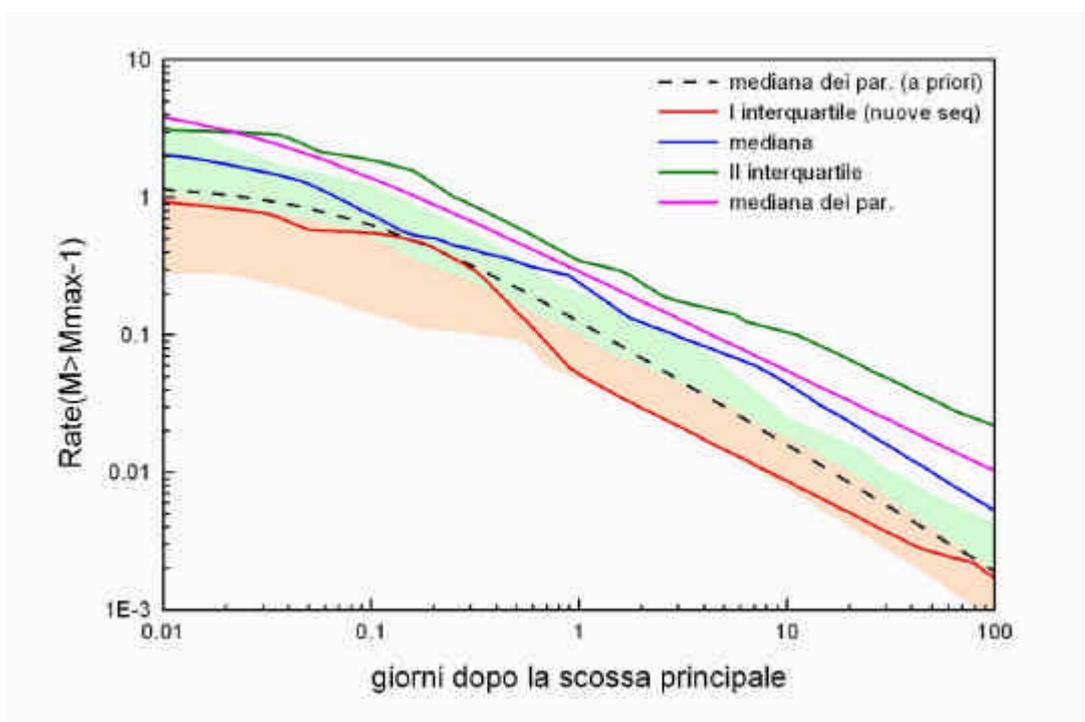


Figura 6. Confronto tra i tassi di repliche modellati per le sequenze dal 1997 al 2002 con $M > M_{max}-1$ e quelli previsti a priori sulla base dei parametri stimati da Lolli e Gasperini (2003a) utilizzando le sequenze avvenute tra il 1960 e il 1996. Le bande colorate arancio e verde indicano, per le sequenze dal 1960 al 1996, rispettivamente gli intervalli tra il primo interquartile e la mediana e tra la mediana ed il terzo interquartile della distribuzione dei tassi, mentre la linea tratteggiata il valore previsto dal modello che utilizza le mediane dei parametri.

Per superare questo limite è stato affrontato il problema della formulazione di un nuovo modello di occorrenza, introducendo il principio epidemico (ETAS, Ogata, 1988) secondo il quale ogni scossa della sequenza è a sua volta sorgente di ulteriori aftershocks. Parallelamente è stato studiato il ruolo dei parametri utilizzati nel modello di Reasenberg e Jones (1989) attraverso un'analisi di correlazione tra i valori stimati in varie aree del mondo (California, Nuova Zelanda e Italia). Il modello che viene proposto come il più adatto a rappresentare l'andamento nel tempo del tasso di repliche anche in sequenze complesse è il seguente:

$$I(t) = 10^{-bM_{\min}} \left[\mathbf{m}_0 + \sum_{i=1}^{L(t)} \frac{10^{a_1 + b_1 M_i}}{(t - t_i + c)^p \int_{t_i}^T (t - t_i + c)^{-p} dt} \right]$$

dove i parametri che compaiono nella sommatoria (a_1 , p , c , b_1 e b) non sono correlati tra loro e quindi possono essere considerati rappresentativi di proprietà fisiche specifiche. Il parametro \mathbf{m}_0 rappresenta la sismicità di fondo, presente nella zona indipendentemente dall'occorrenza di un terremoto. Il parametro p descrive il decadimento temporale, mentre il c è uno slittamento temporale che rallenta il decadimento nelle prime ore dopo la scossa. I parametri a_1 e b_1 sono indice rispettivamente della produttività indipendente e dipendente dalla magnitudo della scossa. Infine $L(t)$ è il numero di eventi generatori che precedono l'istante t . I parametri vengono stimati massimizzando, attraverso tecniche di ottimizzazione non-lineare multiparametro, la funzione log-likelihood ricavata per tale modello:

$$l(p, c, a_1, b_1, \mathbf{m}_0) = 10^{-bM_{\min}} \left(\ln \left(\prod_{j=1}^N \left(\mathbf{m}_0 + \sum_{i=1}^{L(t)} \frac{10^{a_1 + b_1 M_{0i}}}{(t_j - t_i + c)^p \int_{t_i}^T (t - t_i + c)^{-p} dt} \right) \right) + \right. \\ \left. - \mathbf{m}_0 T - \sum_{i=1}^{L(t)} 10^{a_1 + b_1 M_{0i}} \right)$$

I primi risultati dell'applicazione a sequenze recenti indicano un significativo miglioramento dell'adattamento (Fig. 7) rispetto al semplice modello di Reasenberg e Jones (1989).

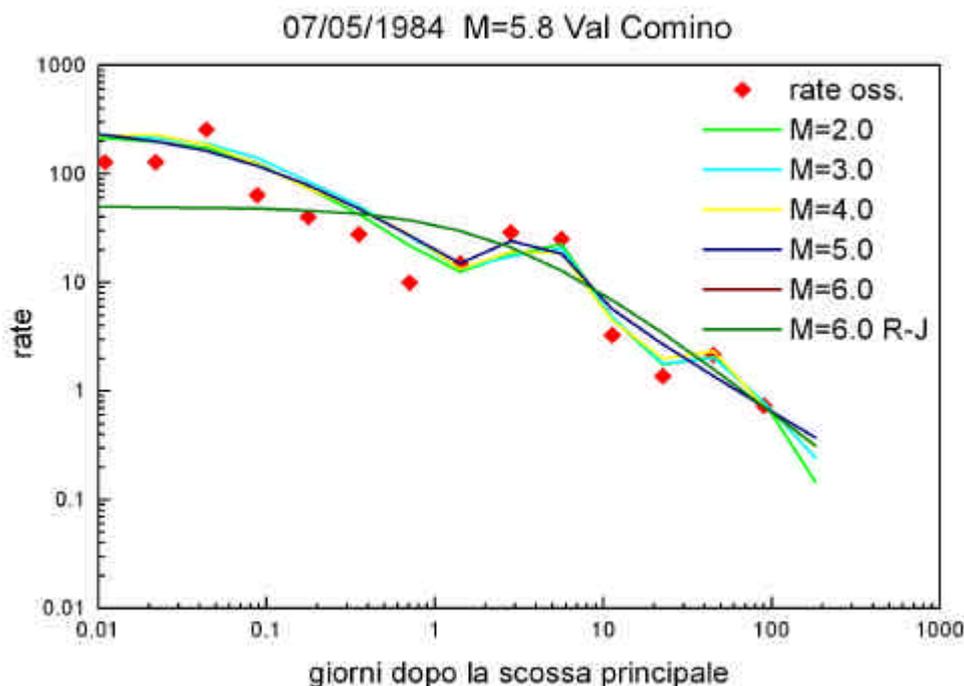


Figura 7. Confronto tra il rate osservato e quello atteso sulla base del modello epidemico, per diverse soglie di magnitudo di generazione delle sottosequenze fino alla massima corrispondente al modello di Reasenberg e Jones (1989).

Task 7 MECCANISMI FOCALI (Responsabile: Gasperini, Collaboratori: Dal Forno, Lolli, Morelli, Pondrelli, Vannucci)

Le attività previste riguardano principalmente lo sviluppo e l'aggiornamento del database dei meccanismi ai primi impulsi dell'area Mediterranea (Vannucci and Gasperini, 2002; Gasperini and Vannucci, 2002) ed il calcolo delle soluzioni CMT regionali (Pondrelli et al., 2002).

- i) Inserimento nel database di nuovi meccanismi pubblicati.
- ii) Miglioramenti del software di gestione del database, includendo alcune nuove procedure nell'applicazione MS-ACCESS come il plot del meccanismo e il controllo in linea dei meccanismi inseriti.
- iii) Disponibilità sulla rete di una versione ridotta del database dei meccanismi ai primi impulsi.
- iv) Calcolo di nuovi meccanismi RCMT.
- v) Analisi di momenti tensori cumulativi (Kostrov, 1974) e di compatibilità delle direzioni dello sforzo (Gephart & Forsyth, 1984) per varie zone dell'area Mediterranea

Risultati previsti per il secondo anno.

- Nuova *release* preliminare del database dei meccanismi focali del Mediterraneo.

Risultati previsti per il terzo anno.

- Prima *release* pubblica del database dei meccanismi focali del Mediterraneo.

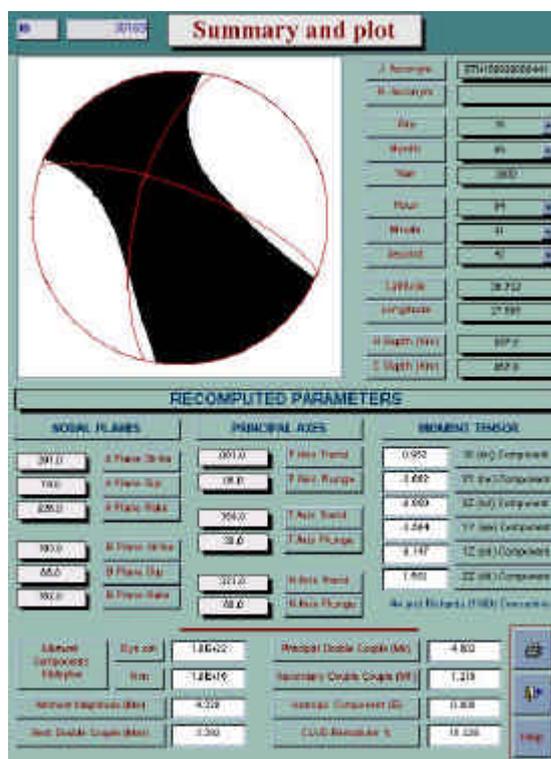


Figura 8. Maschera di riassunto e graficazione dei meccanismi del Database dei terremoti di area Mediterranea (Vannucci e Gasperini, 2003).

Risultati ottenuti nel secondo anno.

È stato verificato che oltre il 40% dei meccanismi focali pubblicati in letteratura contiene imprecisioni, errori di stampa ed in alcuni casi veri e propri errori di calcolo. In molti casi i piani focali o gli assi di deformazione sono non ortogonali od inconsistenti tra loro. Il database, realizzato su piattaforma MS-ACCESS permette di selezionare i meccanismi (in tutto circa 5000 escludendo i cataloghi CMT), di esaminarne i parametri e nell'ultima versione anche di mostrarne il grafico (beach ball, Fig. 8). Il lavoro (Vannucci e Gasperini, 2003) è in corso di stampa su una rivista internazionale.

Per effettuare i controlli necessari all'inserimento dei meccanismi nel database, è stato realizzato un pacchetto di *subroutine* Fortran che permette di eseguire i principali calcoli inerenti i meccanismi focali (calcolo degli assi dai piani e viceversa, calcolo dei parametri di un piano da quelli dell'altro, calcolo di piani e assi dalle componenti del tensore momento e viceversa). Esso è stato accuratamente verificato, confrontando i risultati con i dati del catalogo Harvard CMT. La coincidenza è risultata entro limiti ragionevoli di tolleranza (3 gradi) per oltre il 99% dei meccanismi. Solo per meno dell'1% sono state osservate discrepanze maggiori in tutti casi però attribuibili al limitato numero di cifre significative fornite dal catalogo

CMT. Anche questo lavoro è attualmente in corso di stampa (Gasperini e Vannucci, 2003).

Conclusione

Il tratto distintivo che accompagna gran parte delle ricerche proposte in questo progetto è la focalizzazione sull'analisi dei dati macrosismici. Questi rappresentano un insieme di informazioni completamente indipendenti da quelle strumentali che quindi possono rappresentare per queste ultime un *dataset* di controllo e verifica. Un esempio particolarmente significativo in questo senso è rappresentato dall'inversione tomografica dell'attenuazione dell'intensità macrosismica. Essa fornisce, infatti, la possibilità di "calibrare" le indagini di attenuazione strumentale effettuate per alcune aree limitate del territorio (ad es. nell'ambito del progetto Amato) su un dato omogeneo globale. Un suo risultato accessorio, la lista dei residui empirici di località, permette a sua volta una verifica, su un database estremamente ampio di località (oltre 500), delle stime degli effetti di sito, effettuate da numerosi progetti GNDT su base geologica e teorica (simulazioni del moto del suolo) o sperimentale (misure di amplificazione assoluta o di rapporti spettrali).

Sempre nel campo degli effetti di sito lo studio di zonazione di dettaglio dell'area urbana di Firenze rappresenta un'occasione unica di confronto diretto delle tecniche di modellazione 1D e di misura strumentale dell'amplificazione con la distribuzione all'interno del centro storico della città degli effetti realmente osservati in occasione di un terremoto (le scosse del maggio-giugno 1895).

Nell'ambito della task relativa alla statistica delle sorgenti sismiche infine vengono affrontate problematiche fondamentali per lo sviluppo di nuovi modelli di *hazard* che invece appaiono un po' trascurate da altri progetti GNDT. L'interesse in questo caso è diretto particolarmente alle proprietà di raggruppamento spazio-temporale dei terremoti che vengono normalmente ignorate dai modelli di *hazard* correnti. In molti casi infatti le repliche vengono addirittura rimosse dai cataloghi mentre l'esperienza delle recenti sismiche italiane (Umbria-Marche, Campobasso) ha chiaramente mostrato che esse possono al contrario portare ulteriori danni e significative estensioni dell'area che necessita di misure di protezione civile.

E' stato mostrato che il raggruppamento spazio-temporale dei terremoti non riguarda solo i primi momenti dopo la prima scossa e l'area inizialmente colpita ma anche scale spazio-temporali dell'ordine degli anni e delle centinaia di chilometri. D'altra parte è già stato verificato in molti casi in letteratura che i semplici modelli di ricorrenza, adottati anche dalle stime di *hazard* in aree molto studiate (California, Giappone), non sono adatti a rappresentare la reale occorrenza dei terremoti (Kagan and Jackson, 1991, 1995, Mulargia and Gasperini, 1995).

In questo campo di indagine una condizione essenziale è rappresentata dalla disponibilità di un catalogo sismico omogeneo il più possibile completo. Questo è il motivo per cui, nonostante questo tipo di studi non siano stati giudicati importanti dalla Commissione, alcune attività in questo campo, propedeutiche alle ricerche proposte, saranno comunque portate avanti, almeno fino a quando sarà completata la revisione dei *database* storici e strumentali da parte del Progetto Amato.

Nonostante le difficoltà legate all'attivazione ritardata rispetto agli altri progetti, gran parte degli obiettivi del progetto nel secondo anno sono stati raggiunti ed in alcuni

casi superati. Questi risultati corrispondono a significativi miglioramenti nella conoscenza di alcuni fenomeni di interesse per le stime di *hazard* (proprietà dell'attenuazione e degli effetti di sito in Italia, variazioni laterali degli effetti di sito in centri urbani, proprietà statistiche dei terremoti) o degli strumenti necessari per ricavare tali stime (codice Boxer, catalogo strumentale, database dei meccanismi focali, database macrosismico). Il proseguimento del progetto secondo il programma stabilito dovrebbe permettere nel terzo anno di migliorare ulteriormente sia i primi che i secondi.

Bibliografia

- Albarelo D., Baliva F., Boccaletti M., D'Amico V., Gasperini P., Picozzi M., Vannucci G. (2003), Deterministic interpretation of EMS intensity lateral variation for the Impruneta earthquake in the urban area of Florence (Italy), EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E. e Valensise G., (1995), Catalogo dei Forti Terremoti dal 461 a.C. al 1980, ING/SGA, Bologna, 973pp. e CDROM incluso.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (1997), Catalogo dei Forti Terremoti dal 461 a.C. al 1990 (2), ING/SGA, Bologna, 644pp. e CDROM incluso.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. e Gasperini P. (2000), Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997 (3), *Annali di Geofisica*, 43, n. 4, and enclosed CDROM.
- Boccaletti M., Corti G., Gasperini P., Piccardi L., Vannucci G. e Clemente S. (2001) Active tectonics and seismic zonation of the urban area of Florence, Italy. *Pageoph*, 158, 2313-2332.
- Carletti F. e Gasperini P. (2002) Lateral variations of macroseismic intensity attenuation in Italy, (submitted to *Geophys. J. Int.*)
- CPTI Working Group (1999), Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani, Ed. Compositori, Bologna, Italy, 88 pp.
- Faenza L. e Marzocchi W., (2003) A nonparametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalog, *Geophys J. Int.* (sottomesso).
- Ferrari, G., Gasperini, P., and Guidoboni, E., (1995), Macroscopic intensity evaluation with the "Fuzzy Sets Logic", *Annali di Geofisica*, 38, 811-826.
- Gasperini P., (2001). The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape might indicate the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 826-841.
- Gasperini P. e Lolli B. (2003) On the choice of the functional form of the aftershocks decay equation, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice.
- Gasperini, P., Bernardini, F., Valensise, G. and Boschi, E., (1999), Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports, *Bull. Seism., Soc., Am.*, 89, 94-110.
- Gasperini, P. and Vannucci, G., (2002), FPSPACK: a package of simple FORTRAN subroutines to manage earthquake focal mechanism data, *Computer Geosciences*, (in corso di stampa)
- Gephart J.W. e Forsyth W.D. (1984) An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res.*, 89, 9305-9320.
- Kagan Y.Y, Jackson D.D, (1991) Seismic gap hypothesis: ten years after, *J. Geophys. Res.*, 96, 21419-21431.
- Kagan Y.Y, Jackson D.D, (1995) Seismic gap hypothesis: Five years after, *J. Geophys. Res.*, 100, 3943-3959.
- Kostrov V.V. (1974) Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rocks. *Izv. Earth Phys*, 1, 23-40.
- Lolli B. e Gasperini P. (2003a) Aftershocks prediction in Italy Part I: Estimation of time-magnitude distribution model parameters and computation of probabilities of occurrence, *J. Seismol.* (in press).

- Lolli B. e Gasperini P. (2003b) Aftershocks prediction in Italy Part II: validation and improvement of the forecasting model, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice.
- Monachesi, G. & Stucchi, M., 1997. *DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*, GNDT, Open File Report, Milano-Macerata, available at <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>.
- Mulargia, F. and Gasperini, P. (1995) Evaluating the applicability of the time- and slip-predictable earthquake recurrence models to Italian seismicity, *Geophys J. Int.*, 120, 453-473.
- Pondrelli, S., Morelli, A., Ekström, G., Mazza, S., Boschi, E. and Dziewonski, A. M., (2002), European-Mediterranean regional centroid-moment tensors: 1997-2000, *Phys. Earth Planet. Int.*, 130, 71-101.
- Ogata, Y., 1988, Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes, *Journal of the American Statistical Association* **83**, 9-27.
- Reasenberg, P.A. and Jones, L.M., 1989, Earthquake hazard after a mainshock in California, *Science* **243**, 1173-1176.
- Vannucci, G., and Gasperini, P. (2002), A database of revised fault plane solutions for Italy and surrounding regions, *Computer Geosciences*, (in corso di stampa).
- Vannucci, G., Gasperini, P., Ferrari, G. and Guidoboni, E., (1999), Encoding and computer analysis of macroseismic effects, *Physics and Chemistry of the Earth*, 24, 505-510.