

REVISIONE DEI FONDAMENTI TEORICI E SPERIMENTALI DELLE STIME DI HAZARD SISMICO A SCALA NAZIONALE

(Prof. Paolo Gasperini)

Introduzione

Le attività di ricerca nell'ambito del presente Progetto sono iniziate in data 23 novembre 2000, al momento cioè della reale attribuzione dei fondi alle unità di ricerca. In seguito alla proroga, concessa in data 3 Luglio 2001 in considerazione dei ritardi accumulati nella fase d'attivazione dei progetti, le ricerche stesse sono tuttora in corso e termineranno alla fine del corrente anno 2001. Il presente rendiconto non può quindi essere esaustivo nella descrizione dei risultati di tali attività e rappresenta dunque solo uno stato di avanzamento parziale, mancante in particolare degli aspetti conclusivi delle attività stesse.

Come noto, vista la notevole riduzione dei fondi assegnati, è stata predisposta a suo tempo una riformulazione degli obiettivi e dei prodotti che ha cercato di interpretare i commenti della Commissione di Valutazione al fine di privilegiare le ricerche considerate da questa "nuove ed innovative", ma allo stesso tempo di salvaguardare in qualche modo le finalità originarie del progetto che, seguendo letteralmente le indicazioni della Commissione stessa sarebbero state completamente compromesse. Infatti, come è stato segnalato dal coordinatore del presente Progetto, in occasione della riunione di presentazione dei Progetti GNDT 2000/2002 a Roma il 5 Ottobre 2000, una totale eliminazione dei Tasks 1, 2, 8, 10 e 11 avrebbe reso il progetto stesso illogico e quasi di privo connessioni tra i Tasks stessi. Per tale motivo è stata riservata una quota di fondi pari al 40% del totale per usi, genericamente indicati come "Altro", in cui hanno trovato spazio attività nell'ambito delle Task considerate non interessanti (o non adeguatamente formulate). Tra queste trovano posto ovviamente quasi esclusivamente attività "propedeutiche" alla revisione delle stime di *hazard*, essendo le stime stesse previste dal progetto originale solo per gli anni successivi (non approvati dalla Commissione). Sono tuttavia state avviate, attraverso la collaborazione con un gruppo di ricerca dell'INGV attività volte alla formulazione di un modello di *hazard time-dependent* innovativo basato su un modello di occorrenza spazio-temporale di recente pubblicazione (Console e Murru, 2001) che ha dimostrato possedere una migliore efficienza predittiva rispetto al tradizionale modello Poissoniano.

Resoconto delle attività svolte nell'ambito di Tasks considerati "nuovi ed innovativi" dalla Commissione di Valutazione

Task 3 - MODELLO SISMOGENETICO (Resp.: Valensise)

A causa delle forti limitazioni di budget imposte dalla riduzione del finanziamento, le attività di questo Task sono proseguite essenzialmente all'interno di altri progetti di ricerca. In particolare nel luglio del 2000, in occasione del Workshop "La sismogenesi in Italia" tenuto presso l'INGV (20-21 luglio), è stata resa pubblica mediante CD-ROM in tiratura limitata la versione 1.0 del "Database of potential sources for earthquakes larger than magnitude 5.5 in Italy" (Valensise e Pantosti eds, 2000). Nel corso del presente Progetto è continuata sia l'acquisizione e l'inserimento nel Database di nuove informazioni, che hanno portato alla versione 2.0 (Valensise e Pantosti eds, 2001), nonché l'evoluzione del software di gestione. Per quanto riguarda il software è attualmente in corso la predisposizione di procedure informatiche volte all'integrazione nel Database del catalogo dei meccanismi focali prodotto dal Task 7. In particolare si sta studiando la possibilità di rappresentare i meccanismi sotto forma di "beach balls" nell'ambito dell'architettura MapInfo. Queste migliorie diventeranno di dominio pubblico in una successiva terza versione prevista per il 2002.

Task 4 - DINAMICA DELLA SORGENTE SISMICA (Resp.: Bonafede)

Le ricerche in questo task (non finanziato dal presente progetto) sono continuate secondo le modalità previste nell'ambito dei progetti da cui sono finanziate.

Task 5 - STATISTICA DELLE SORGENTI SISMICHE E COMPLETEZZA DEI CATALOGHI (Resp.: Gasperini).

E' stata eseguita (Lolli e Gasperini 2001) un'analisi della sismicità strumentale dal 1960 al 1980 combinando il Catalogo Strumentale dei terremoti Italiani dal 1981 al 1996 (Gruppo di Lavoro Catalogo Strumentale, 2001) e il Catalogo del Progetto Finalizzato Geodinamica (PFG) (Postpischl, 1985).

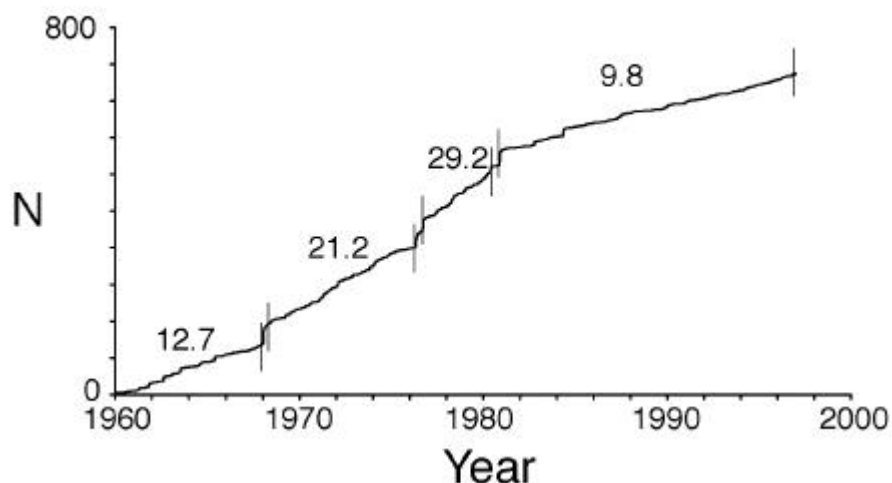


Fig. 1 – Numero cumulativo di eventi in Italia con $M \geq 4.0$ secondo il catalogo PFG (dal 1960 al 1980) ed il Catalogo CSTI (dal 1981 al 1996). I numeri indicano il tasso annuo nei diversi periodi (escludendo le repliche dei maggiori eventi).

Per tale catalogo combinato è stato verificato che il tasso di eventi è fortemente variabile nel tempo a causa probabilmente di un'incorretta calibrazione della magnitudo nel periodo precedente il 1980 (Fig. 1). Al fine di rendere omogenei i due cataloghi è stato necessario applicare correzioni empiriche alle magnitudo locali fornite dal Catalogo PFG. In particolare diminuendo di 0.5 unità le magnitudo nel periodo dal 1976 al 1980 e di 0.3 unità quelle nel periodo dal 1960 al 1975 si è ottenuto un catalogo in cui il tasso annuale, escluse le repliche dei maggiori terremoti, è approssimativamente costante sull'intero periodo dal 1960 al 1996. Il catalogo corretto risultante è stato utilizzato, nel citato lavoro di Lolli e Gasperini (2001) per calcolare i parametri del modello di occorrenza delle repliche di Reasenberg e Jones (1989) e per calcolare le probabilità di occorrenza delle repliche di forti terremoti futuri.

Task 6A - TOMOGRAFIA VELOCITA' SISMICHE (Resp.: Morelli)

Sono stati eseguiti studi preliminari all'utilizzo di modelli della struttura crostale per la correzione dei tempi di percorso delle onde di volume da utilizzarsi per la tomografia sismica. Sono stati considerati diversi modelli reperibili in letteratura, contenenti informazioni diverse e caratterizzati da diverse scale spaziali. In conseguenza alle limitate risorse disponibili non è stato infatti possibile effettuare una compilazione sintetica dei diversi dati pubblicati, ma ci si è basati su quelle esistenti. Nel contempo, sono state analizzate in dettaglio le caratteristiche del modello tomografico per individuare quali effetti di *bias* possono essere introdotti dalla scarsa conoscenza della struttura crostale.

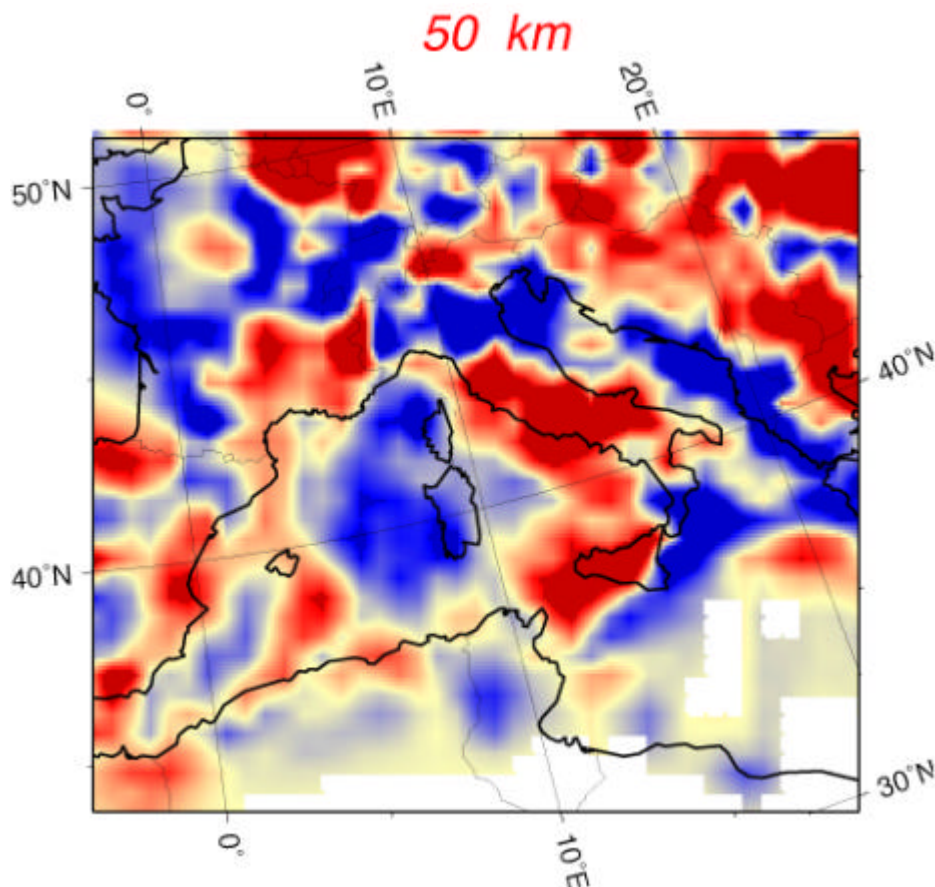


Fig. 2 – Tomografia delle fasi sismiche per lo strato a 50 km di profondità (Piromallo e Morelli, 2001a).

Nel nostro approccio attuale l'effetto della crosta viene rimosso in due fasi: preventivamente all'inversione tomografica, con l'utilizzo di correzioni statiche per le stazioni, e congiuntamente all'inversione tramite l'introduzione di un livello a profondità rappresentativa di 0 km. Il database di fasi sismiche da utilizzare per l'inversione (Fig. 2) è stato integrato con i dati resi disponibili negli ultimi anni.

Task 6B, TOMOGRAFIA ATTENUAZIONE ONDE SISMICHE (Resp.: Mele)

L'attività in questo campo, essenzialmente propedeutica alla ricerca vera e propria, ha riguardato la verifica dei dati disponibili.

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

Subtask 6C.1 - Tomografia dell'intensità. E' stata aggiornata la formulazione del modello di attenuazione sulla base degli ultimi sviluppi di una ricerca (Gasperini, 2001a) di recente pubblicazione.

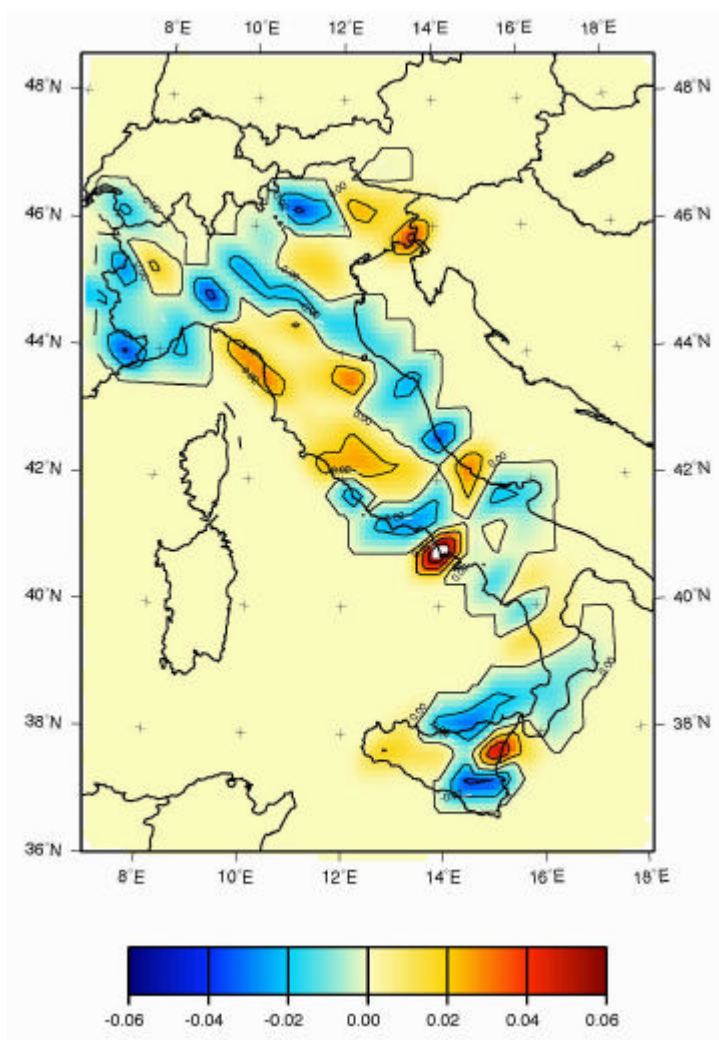


Fig. 3 – Variazioni, rispetto al valore centrale di 0.051 gradi/km del coefficiente del primo tratto della legge di attenuazione bilineare.

E' stata realizzata un'analisi tomografica (Carletti e Gasperini, 2001) sulla base di passi di griglia di 25 e 50 km al fine di individuare la migliore rappresentazione possibile delle variazioni laterali dell'attenuazione macrosismica in Italia. In Fig. 3 si può osservare come le zone a maggiore attenuazione si trovino concentrate principalmente sul versante tirrenico ed in prossimità delle aree vulcaniche attive (Golfo di Napoli ed Etna), mentre una zona stretta ed allungata descrive con buona precisione l'arco Appenninico Settentrionale esterno. L'attenuazione è pure elevata nell'area Veneto-Friulana mentre una zona isolata a relativamente alta attenuazione è riscontrabile in Piemonte quasi esattamente centrata sull'area di Ivrea. I massimi di attenuazione (in prossimità dei vulcani attivi) corrispondono ad una diminuzione di un grado di intensità circa ogni 8-10 km mentre i minimi (in pianura Padana, in Trentino e in Sicilia Orientale) a un grado ogni 100-200 km. Le variazioni spaziali della pendenza del secondo tratto della curva di attenuazione (non mostrate qui) presentano un pattern abbastanza diverso con minimi in tutta l'area settentrionale e massimi in Appennino. Sono stati effettuati test a scacchiera che dimostrano che la capacità di risoluzione del metodo è buona anche in presenza di un errore casuale dello stesso ordine ($\sigma \sim 1$ grado) di quello osservabile realmente nei dati di intensità (Gasperini, 2001a).

Subtask 6C.2 - Effetti di sito in termini di intensità. Sono stati ricavati i residui empirici di località risultanti dall'applicazione del modello tomografico. E' stata avviata anche un'analisi delle proprietà geologiche e geofisiche dei suoli per stabilire possibili correlazioni con i residui osservati. Inoltre, in collaborazione con il Progetto Finalizzato Beni Culturali è stata realizzata una zonazione di dettaglio dell'area urbana di Firenze (Boccaletti et al., 2001) basata su un'analisi dei danni prodotti dai terremoti del maggio-giugno 1895

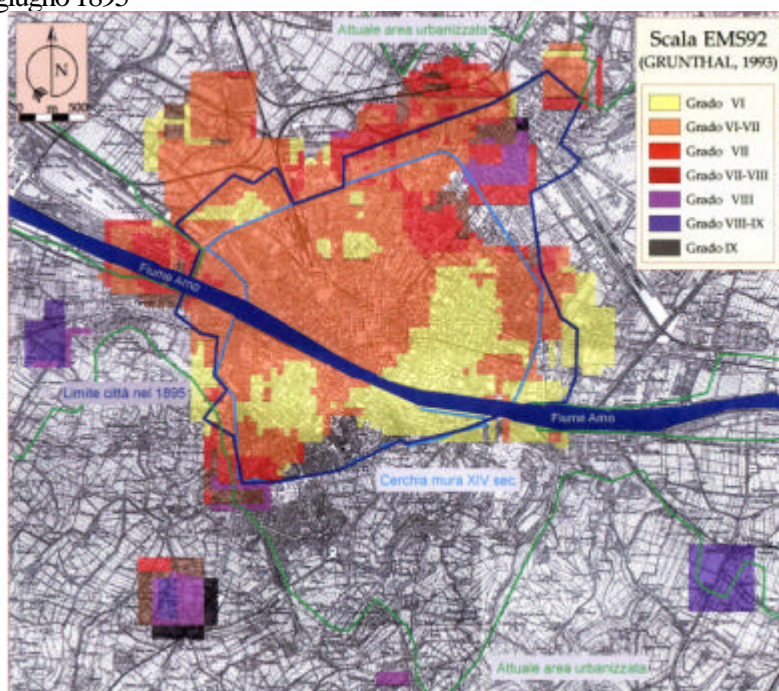


Fig. 4 – Andamento puntuale dell'intensità EMS92 risentita a Firenze in seguito ai terremoti del maggio-giugno 1895. Il valore viene calcolato con una tecnica automatizzata ogni 50 m su celle di 500 m di lato.

In Fig.4 sono mostrati, sovrapposti alla base cartografica IGM del 1897 quasi coeva all'evento sismico, i risultati più recenti di tali elaborazioni su celle di 500 m di lato, centrate sui nodi di una griglia con un passo di 50 m. Si può osservare come per gran parte dell'area analizzata l'intensità stimata sia compresa tra il VI ed il VII grado. Si noti che VI-VII grado è anche la stima ricavata dal metodo

automatico per l'intera città che coincide anche con le valutazioni tradizionali effettuate da esperti macrosismici (Ferrari e Guidoboni, 1995). I maggiori effetti sono concentrati nella parte nord-orientale, dove in alcuni punti si arrivano a toccare i gradi VIII e IX. Ciò appare sorprendente in quanto tale area si trova a maggior distanza dalla sorgente di quella sud-orientale dove invece gli effetti sono solo di VI grado (colore giallo).

Subtask 6C.3 - Effetti di sito in termini di parametri del moto del suolo. Come indicato nella Riformulazione non erano previste attività in questo campo.

Task 7, MECCANISMI FOCALI (Resp: Morelli)

Subtask 7.1 Meccanismi focali CMT. Il calcolo della descrizione completa dei meccanismi focali (cioè dei tensori momento sismico) viene efficacemente effettuata con l'algoritmo del Centroid Moment Tensor (CMT) che continua ad essere applicato con regolarità presso la Harvard University a tutti i terremoti con magnitudo superiore a 5.5.

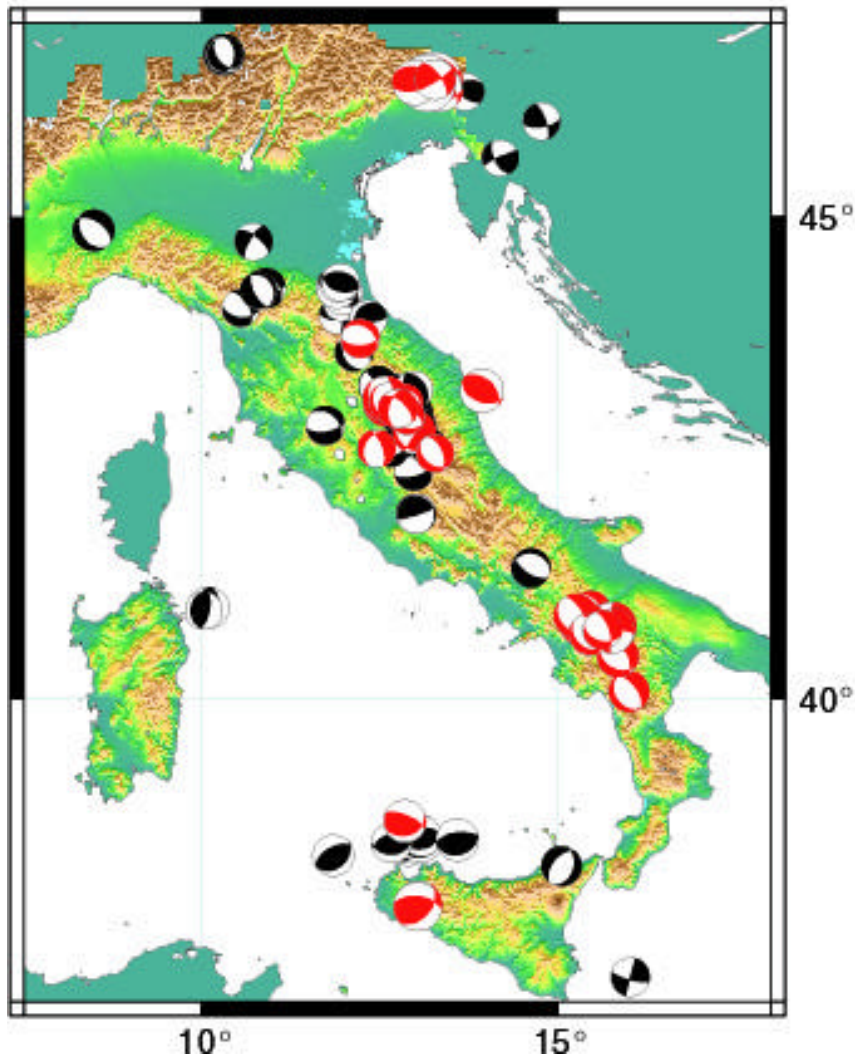


Fig. 5 - Mappa di tutti i RCMT (Regional Centroid Moment Tensor) disponibili per l'Italia. Si riferiscono tutti a eventi con magnitudo moderata ($4.0 < M < 5.5$). I meccanismi in nero appartengono al Catalogo Euro-Mediterraneo dei Momenti Tensori Regionali (Pondrelli et al., 2001a) completo tra il 1997 e il 2000. I meccanismi in rosso corrispondono ad eventi avvenuti tra il 1968 e il 1996.

Una estensione del metodo consente di utilizzare le registrazioni del treno di onde di superficie riducendo la soglia di magnitudo analizzabile. La tecnica di CMT su scala regionale (RCMT) è stata applicata a tutti i terremoti analizzabili della regione italiana come approfondimento del catalogo mediterraneo (Pondrelli et al., 2001a), la cui produzione e aggiornamento stiamo seguendo. I nuovi eventi analizzati (relativi agli anni 1997-2000) sono ora in pubblicazione (Fig. 5). Nel contempo, sono stati considerati gli eventi per i quali siano disponibili (oppure siano stati da noi calcolati) i tensori momento sismico nell'area italiana e circostante, per determinare le caratteristiche della geometria e dell'entità della deformazione sismica. I risultati sono stati presentati a convegni internazionali. La limitazione delle risorse non ha tuttavia permesso studi di dettaglio e ha limitato l'intervallo di tempo considerato.

Subtask 7.2 Meccanismi focali ai primi impulsi. E' stato progettato e costruito un database in ambiente MS-Access contenente al momento attuale circa 4800 soluzioni focali. Tale database, che permette anche l'importazione dei dati dei cataloghi CMT, INGV ed ETH, uniforma i diversi formati presenti in letteratura al fine di successive elaborazioni.

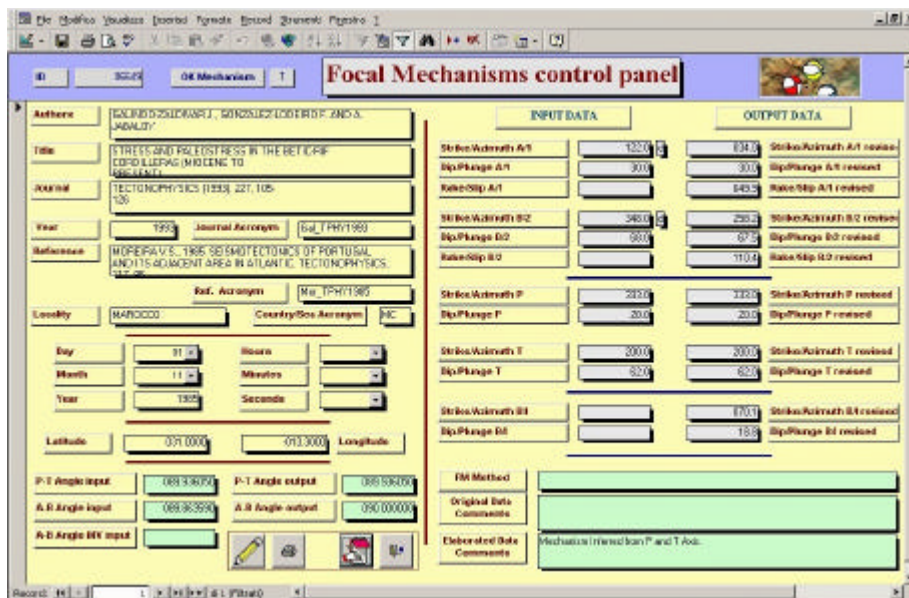


Fig. 6 – Maschera per la visualizzazione dei dati di uscita del Database dei Meccanismi focali Italiani e Mediterranei.

Esso consente in particolare sia di archiviare l'informazione complessiva attraverso maschere di MS-Access opportunamente strutturate (Fig. 6), sia di produrre i file di ingresso per i più comuni programmi di graficazione delle soluzioni focali (GMT, qplot, Mapinfo, ecc.), sia infine di determinare i campi di deformazione e sforzo locale e regionale attraverso le metodologie correnti (Kostrov, 1974; Gephart and Forsyth, 1984).

Task 9A, MISURE GEODETICHE (Resp. Riguzzi)

SubTask 9A.1 - Materializzazione dei punti della rete appenninica. E' stato completato il censimento dei siti permanenti, semi-permanenti e temporanei nell'area di indagine. A causa della forte riduzione dei fondi previsti si è deciso di concentrare gli sforzi in un'area ridotta (dall'Aquilano al

Pollino) rispetto a quella inizialmente prevista (dall'Umbria alla Calabria). Sono stati individuati i punti più deboli della rete in cui è prioritario un'intervento (costa Toscana meridionale e costa Abruzzese). Sono state effettuate accurate ricognizioni al fine di individuare aree geologicamente stabili per la scelta dei siti di misura; si è tenuto conto inoltre di quanto già esistente, in termini di reti locali, regionali e stazioni permanenti attualmente in attività.

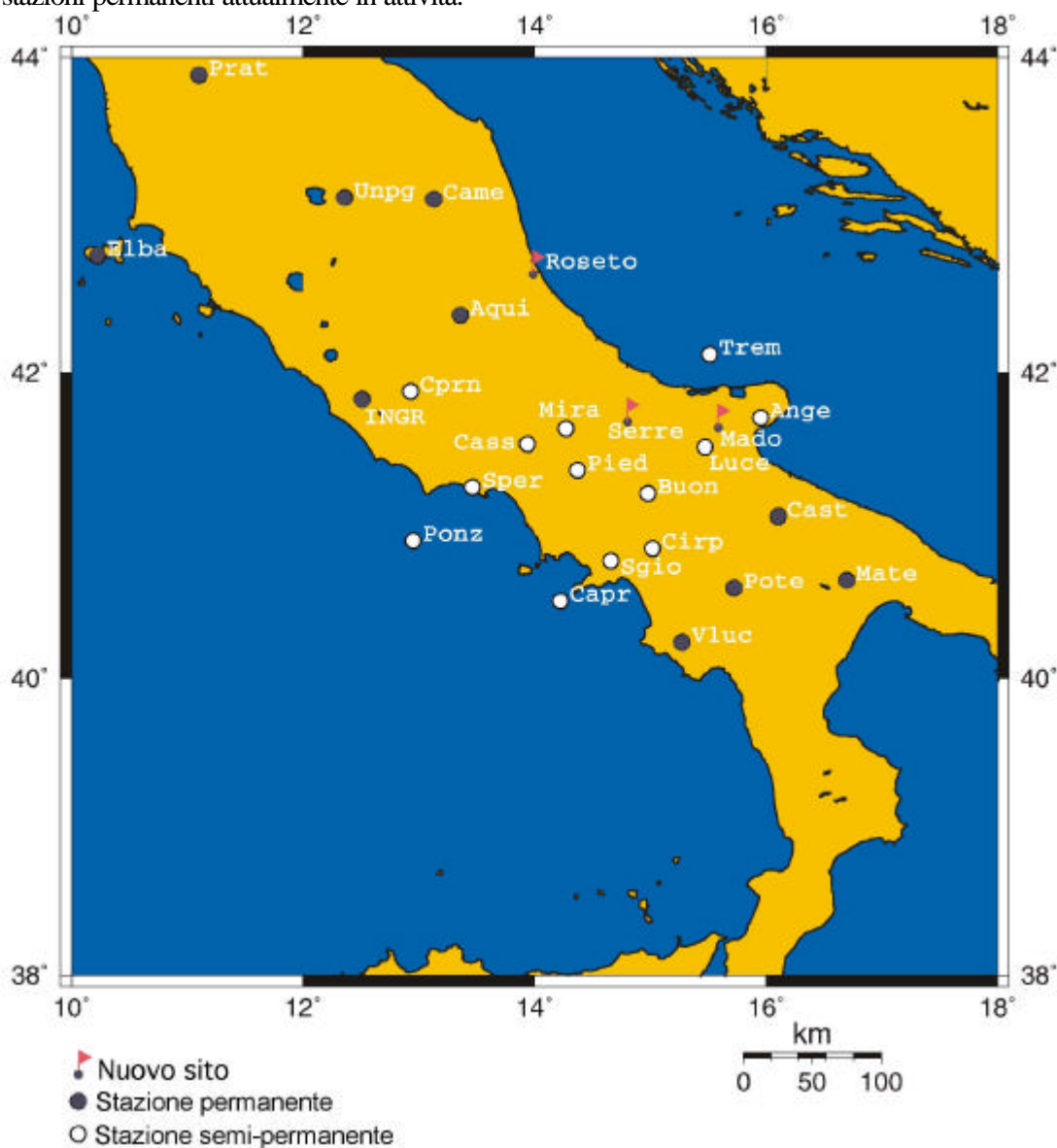


Fig. 7 – Mappa delle stazioni permanenti e semi-permanenti nell'area di indagine

Sono stati istituiti 3 nuovi siti (Fig. 7) adatti ad una installazione dei ricevitori GPS semi-permanente (Madonna di Cristo e Le Serre) e permanente (Roseto degli Abruzzi). Due nuove stazioni permanenti sono state rese operative nell'area (Potenza e Castel del Monte), grazie anche a fondi di ricerca di altra provenienza. Sono state redatte le schede monografiche dei siti selezionati con una breve descrizione geologica, la logistica di accesso al sito, il tipo di monumentazione e le coordinate approssimate nel sistema WGS84 del punto di misura. Analisi di osservazioni GPS, relative a campagne effettuate nell'ambito di altri progetti su parti della rete proposta, hanno consentito di valutare con un alto grado di significatività le velocità orizzontali relative di punti posizionati nella porzione più meridionale della

rete; essa è risultata essere di circa 4 mm/anno, ed il campo di deformazione è risultato con componente principale distensiva in direzione perpendicolare alla catena Appenninica.

Subtask 9A.2 - Esecuzione di almeno due campagne di misura. Non erano previste attività.

Subtask 9A.3 - Banca dati. Per poter collegare in maniera efficace l'informazione geodetica a quella sismologica e tettonica è stato sviluppato un sistema GIS su piattaforma Windows 98 tramite software MapInfo 6.0. Questo consente la visualizzazione, la gestione e l'analisi dei dati raccolti dalle reti geodetiche GPS con la finalità di unificare in una banca dati permanente, dinamica e condivisibile, le informazioni numeriche raccolte dai rilievi GPS effettuate sulle stazioni della rete e quelle alfanumeriche di carattere monografico, quali le caratteristiche geologiche, tettonico-strutturali, sismologiche e topografiche, corredata da fotografie relative alle stazioni presenti nell'area in oggetto.

Subobiettivo 9A.4 – Elaborazione. Nessuna elaborazione era prevista per il primo anno.

Task 9B, CAMPO DI DEFORMAZIONE (Resp. Baldi) Anche in questo caso le attività erano rimandate agli anni successivi.

Resoconto delle attività svolte nell'ambito di altre Tasks

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

Da parte di alcuni operatori partecipanti al presente Progetto, è stata messa a disposizione dei ricercatori GNDT la banca dati del Catalogo sismico Strumentale dal 1981 al 1996 (Gruppo di Lavoro Catalogo Strumentale, 2001) risultante da attività nell'ambito del Sottoprogetto 5.1.3 del PE98 del GNDT (Responsabili P. Gasperini e G. Monachesi). Si tratta di un CDROM contenente sia i dati veri e propri che le relazioni esplicative (in formato HTML), la cui versione 1.0 è stata diffusa capillarmente in ambito GNDT e che è anche disponibile in rete al sito del Progetto all'indirizzo:

http://ibogfs.df.unibo.it/user2/paolo/www/gndt/Versione1_0/Leggimi.htm

Poiché alcune verifiche successive alla pubblicazione hanno rivelato la presenza di alcuni errori o imprecisioni (riguardanti per altro solo qualche decina di eventi) si sta lavorando attualmente alla predisposizione di una nuova versione corretta che però sarà resa disponibile (solamente su web) probabilmente oltre il termine del presente Progetto.

Task 2B, MAGNITUDO (Resp: Gasperini)

E' stato realizzato un lavoro di revisione della magnitudo, attualmente in corso di pubblicazione (Gasperini, 2001b), che, sulla base di un confronto con i dati delle stazioni Wood-Anderson (WA) che hanno funzionato in Italia negli anni '70 e '80 e di tracce WA sintetiche ricavate dalle stazioni Broad-Band, ha permesso di ricalibrare le magnitudo durata ed ampiezza degli eventi inclusi nel database. La ricerca è ancora in corso attraverso l'acquisizione di nuove tracce WA sintetiche e della rilettura delle ampiezze WA reali dai sismogrammi originali (attualmente in corso di memorizzazione da parte del Progetto Sismos dell'INGV). L'obiettivo di questa ricerca è la stima di relazioni di attenuazione regionalizzate per il calcolo della magnitudo e l'incremento e del database di magnitudo WA.

Task 1A CATALOGO SISMICO STORICO (Resp: Guidoboni)

Sulla base dei risultati della revisione dei dati strumentali è stato recentemente avviato un lavoro aggiornamento del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI) che prevede la memorizzazione ed elaborazione dei dati del bollettino macrosismico ING dal 1988 al 1996 e l'aggiornamento della base di dati relativamente ai lavori macrosismici, come ad es. il libro sui terremoti dell'Umbria-Marche (Boschi et al. 1998) e la terza versione del Catalogo dei Forti Terremoti (Boschi et al., 2000), che non sono stati utilizzati per la prima versione del CPTI.

Bibliografia

Lavori prodotti nell'ambito del Progetto

- Anzidei M., P. Baldi, G. Casula, A. Galvani, E. Mantovani, A. Pesci, F. Riguzzi e E. Serpelloni (2001). Insights on present-day crustal motion in the central Mediterranean area from GPS surveys, *Geophys. J. Int.*, 146, 98-110.
- 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. (2001) Lateral variations of macroseismic intensity attenuation in Italy, (in preparazione).
- Gasperini P. (2001a). The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape might indicates the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 826-841.
- Gasperini, P. (2001b) Local magnitude revaluation for recent Italian earthquakes (1981-1996). *Journal of Seismology*, (in corso di stampa).
- Gruppo di Lavoro Catalogo strumentale (2001), *Catalogo Strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996*, Versione 1.0, Clueb, Bologna, CD-ROM.
- Lolli B. e Gasperini P. (2001) Aftershocks prediction in Italy Part I: Estimation of time-magnitude distribution model parameters and computation of probabilities of occurrence, *Journal of Seismology* (sottomesso).
- Piomallo C., e A. Morelli (2001a) P-wave tomography of the top 1000 km under the Alpine-Mediterranean area *J. Geophys. Res* (sottomesso).
- Piomallo C., e A. Morelli (2001b) Improving seismic location: an alternative to three-dimensional structural models, *Pure and Applied Geophysics*, 158, 319-347.
- Piomallo C., A. Vincent, D. Yuen, e A. Morelli, (2001) Dynamics of the transition zone under Europe inferred from wavelet cross-spectra of seismic tomography, *Phys. Earth Planet. Int.*, 125, 125-139.
- Pondrelli S., A. Morelli, G. Ekstrom, S. Mazza, E. Boschi, e A. M. Dziewonski, (2001a) European-Mediterranean Regional Centroid Moment Tensors catalog: 1997-2000 *Phys. Earth Planet. Int.* (sottomesso).
- Pondrelli, S., Ekstrom, E., e Morelli, A., (2001b) Seismotectonic re-evaluation of the 1976 Friuli, Italy, seismic sequence, *J. of Seism.*, 5, 73-83.
- Riguzzi F., G. Pietrantonio, M. Crespi e M. Anzidei (2001). True or false GPS-derived deformations ?, *Annali di Geofisica*, 44, 3, 593-604.
- Serpelloni E., M. Anzidei, P. Baldi, G. Casula, A. Galvani, A. Pesci e F. Riguzzi, (2001). Geodetic deformations in the Central-Southern Appennines (Italy) from repeated GPS surveys, *Annali di Geofisica*, 44, 3, 627-647.
- Valensise, G., and D. Pantosti (a cura di.) (2000), (a cura di.) (2000) *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy*, Public Release No. 1.0.
- Valensise, G., e D. Pantosti (a cura di.) (2001). *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy P.R. 2.0*. *Annali di Geofisica*, Vol. 44, Suppl. 1, con database on CD-ROM (in corso di stampa).

Altri lavori citati

- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G. e Valensise G. (1998) *I terremoti dell'Appennino Umbro-Marchigiano*, Compositori, Bologna, pp.267.
- 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*, *Annali di Geofisica*, **43**, n. 4, e CDROM allegato.
- Console R. e Murru M. (2001) A simple testable model for earthquake clustering, *J. Geophys. Res.*, **106**, 8699-8711.
- Kostrov V.V. (1974) Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rocks. *Izv. Earth Phys*, 1, 23-40.
- Guidoboni E. e Ferrari G (1995) Historical cities and earthquakes: Florence during the last nine centuries and evaluation of seismic hazard, *Annali di Geofisica*, **38**, 617-648.

- 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.
- Postpischl, D. (A cura di) (1985) Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. *Quaderni della Ricerca Scientifica* **114 2B**, pp. 239.
- Reasenber, P.A. e Jones, L.. (1989) Earthquake hazard after a mainshock in California. *Science*, **243**, 1173-1176.