

Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti

Programma Quadro 2000-2002

TEMA DI RICERCA
VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO DEL PATRIMONIO
ABITATIVO A SCALA NAZIONALE

PROGETTO

**Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030:
elementi per la definizione di priorità degli interventi
di riduzione del rischio sismico**

Rapporto di attività del primo anno

1 luglio 2000 – 30 settembre 2001

COORDINATORE SCIENTIFICO DEL PROGETTO

Alessandro Amato
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata 605, 00143 Roma
amato@ingv.it

Premessa

Durante il primo anno del progetto sono state avviate tutte le attività previste dal contratto. Come già segnalato nel rapporto semestrale dello scorso marzo, è da segnalare il ritiro di una UR, quella del Servizio Sismico Nazionale (UR 4), che ha causato una riorganizzazione delle attività dei due Task in cui tale UR era coinvolta (Task 1.3 e 2.1). Le attività sono state portate avanti o ricorrendo ad altri *partners* o con forze interne alla UR 1 (ING). Questa UR, come è noto, cambia nome e organizzazione interna a partire dal gennaio 2001, data nella quale confluisce nell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) insieme a parte della UR 2 (Istituto per la Ricerca sul Rischio Sismico del CNR di Milano). A partire dal 2001, il nuovo assetto prevede quindi la trasformazione della UR 2 che ora comprende il gruppo ex-IRRS del CNR di Milano (non è ancora chiaro quale sarà l'Istituto del CNR in cui si inserisce questa parte dell'ex-IRRS). La sezione INGV di Milano diviene UR 4 e il coordinamento è di M. Stucchi.

Questa la nuova struttura del Progetto:

UR 1 – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: operano nel progetto il *Centro Nazionale Terremoti*, che ha il coordinamento, la Sezione *Sismologia e Tettonofisica* di Roma e la Sezione *Pericolosità e Rischio Sismico* di Milano.

UR 2 – CNR Milano: il gruppo che opera nel progetto è stato dapprima assegnato al Centro per la Geodinamica Alpina e Quaternaria del CNR, successivamente al

UR 3 – OGS Trieste

UR 4 – INGV Milano

UR 5 – DIPTERIS-Università di Genova

Nella Tabella che segue viene descritto il ruolo delle UR nelle attività del progetto.

Unità di Ricerca	coordinatore	Task in cui opera
1. INGV Roma	A. Amato	1.1 1.2 1.3 1.4 2.1 2.3 3.1 3.2 3.3 3.4
2. CNR Milano	G. Biella	2.2
3. OGS Trieste	L. Peruzza	2.1 3.4
4. INGV Milano	M. Stucchi	1.2
5. Dipteris Univ.Genova	P. Augliera	2.1 2.3 3.1

* la UR 4 (Servizio Sismico Nazionale) si è ritirata dal progetto

Nella presente sintesi viene descritta l'attività del progetto, suddivisa nei tre Gruppi di Lavoro e più in dettaglio per singoli Task. Il ruolo delle diverse UR può essere ricavato dalla Tabella sopra e dalla descrizione delle attività nei singoli Task, tenendo presente che: la "nuova" UR 2 lavora solo al Task 2.2; la UR 3 collabora al Task 2.1 e lavora da sola (con alcuni sub-contrattenti) al 3.4; la UR5 collabora a tre dei Task indicati (nel rapporto che segue vengono descritti i contributi ai vari Task).

Task	Titolo	Coordinatore	U.R.
1.1	Catalogo delle sorgenti sismogenetiche	G. Valensise	INGV Roma
1.2	Indagini di sismologia storica in aree prioritarie	M. Stucchi	INGV Milano
1.3	Stima della deformazione sismica e geodetica	G. Selvaggi	INGV Roma
1.4	Caratterizzazione sorgenti nelle "lacune sismiche"	P. Montone	INGV Roma
2.1	Catalogo parametrico dei terremoti 1980-99	R. Di Giovambattista	INGV Roma
2.2	Modelli crostali 2-D e 3-D da dati di sismica attiva	G. Biella	CNR Milano
2.3	Modelli tridimensionali di velocità e attenuazione	C. Chiarabba	INGV Roma
3.1	Leggi di attenuazione regionali	L. Malagnini	INGV Roma
3.2	Effetti della geologia locale sullo scuotimento	A. Rovelli	INGV Roma
3.3	Carta pericolosità per i maremoti a scala nazionale	A. Maramai	INGV Roma
3.4	Mappe di pericolosità "time-dependent"	L. Peruzza	OGS Trieste

In generale, tutti i risultati prefissati sono stati raggiunti. Qualche ritardo è stato accumulato nei Task 2.1 (Catalogo parametrico dei terremoti 1980-1999) e Task 2.2 (Modelli crostali 2-D e 3-D nell'area italiana da dati di sismica attiva) sia per la riorganizzazione dell'INGV, che ha causato ritardi nell'assegnazione dei fondi alla UR 2, sia per la uscita della UR 4. Prevediamo comunque di recuperare ora che la situazione si è stabilizzata.

Durante il primo anno, sono state organizzate diverse riunioni, sia di tutti i coordinatori dei Task, che dei Gruppi di Lavoro. Una riunione di tutti i partecipanti al progetto si è tenuta nel settembre 2001 presso la sede romana dell'INGV. In quell'occasione, sono stati presentati da tutti i responsabili dei Task i risultati del primo anno e sono stati individuati gli aspetti prioritari per i successivi due anni del progetto. In particolare, si è avvertita la necessità di intensificare le attività di scambio dati e dibattito di tre gruppi di lavoro su questi temi:

- Il modello della sismogenesi da applicare in Italia (forti terremoti e sismicità di fondo)
- Quali "lacune sismiche"?
- Come introdurre le leggi di attenuazioni regionalizzate nelle stime di pericolosità

Sono state previste quindi delle riunioni tematiche da tenersi negli ultimi mesi del 2001 per indirizzare il lavoro dei prossimi due anni.

Gruppo di Lavoro 1: IL MODELLO DELLA SISMOGENESI IN ITALIA

Task 1.1 - Catalogo delle sorgenti sismogenetiche

Responsabile G. Valensise, Sezione Sismologia e Tettonofisica, INGV, Roma

Si ricorda che l'obiettivo generale del **Task 1.1** è di migliorare la conoscenza e la comprensione della distribuzione dei forti terremoti in Italia, con un'enfasi sulla qualificazione e quantificazione delle diverse sorgenti sismogenetiche. Il gruppo di lavoro, meglio dettagliato nel seguito, si compone di ricercatori dell'INGV, di ricercatori appartenenti ad altre strutture e di assegnisti di ricerca o studenti di dottorato. Le attività del primo anno sono state incentrate lungo tre linee fondamentali che verranno descritte successivamente con il supporto di alcune immagini significative.

Composizione del gruppo di lavoro

Il gruppo è coordinato da G. Valensise, Dirigente di Ricerca presso la sezione "Sismologia e Tettonofisica" dell'INGV di Roma. Alle attività svolte nella sede di Roma partecipano direttamente Roberto Basili e Pierfrancesco Burrato, ricercatori a contratto della sezione, nonché Emmanuel Baroux e Rosa Nappi, tecnici a contratto sempre nella stessa sezione. Daniela Pantosti, Dirigente di Ricerca della sezione, partecipa alle attività di cui al successivo punto 1), mentre Paolo Marco De Martini, ricercatore a contratto sempre presso la stessa sezione, partecipa alle attività di cui al punto 2). Infine Salvatore Barba, ricercatore, partecipa attivamente alle ricerche di cui al punto 3).

A partire dal gennaio 2001 sono stati concessi due assegni di ricerca della durata di 12 mesi rispettivamente alla Dott. Paola Vannoli (con decorrenza 1 gennaio 2001) e al Dott. Stefano Pucci (con decorrenza 1 febbraio, anche se la collaborazione è iniziata a novembre 2000 grazie alla disponibilità di un finanziamento precedente). Inoltre è stata formalizzata una collaborazione a titolo gratuito (salvo per il rimborso delle spese di missione) con la Dott.ssa Donatella Massoli, dottoranda presso l'Università di Perugia, con il suo docente-guida, il Prof. Massimiliano Barchi, e con il Prof. Riccardo Caputo dell'Università della Basilicata.

Attività svolte durante il primo anno del progetto

1) Database of potential sources for earthquakes larger than magnitude 5.5 in Italy

Alla fine del luglio 2000 era stato presentato il prototipo "Database of potential sources for earthquakes larger than magnitude 5.5 in Italy", basato su GIS multiplatforma, che costituisce il primo obiettivo strategico del Task 1.1. Nei mesi successivi vi sono stati diversi interventi sia alla struttura del codice che sovrintende al Database, che è stato dotato di nuove funzioni e livelli informativi, sia ai contenuti, che sono stati progressivamente migliorati e aggiornati con l'inclusione del materiale reso via via disponibile. Il Database è stato approntato nella sua versione definitiva alla fine di luglio 2001 sotto il coordinamento di Gianluca Valensise e Daniela Pantosti. Ad aprile 2001 è stata iniziata la preparazione di un manuale descrittivo della struttura e del contenuto del Database, che dovrebbe apparire sugli *Annali di Geofisica* insieme al CD con cui il Database stesso verrà distribuito. Nel frattempo i dati contenuti nel Database sono stati diffusi in forma semplificata attraverso uno speciale server GIS messo a punto nell'ambito del progetto E.C. "Faust", conclusosi il 31 gennaio 2001 (<http://faust.ingv.it>). L'attività di preparazione del software e dei dati da inserire nel Database ha coinvolto direttamente anche Roberto Basili e Andrea Spinelli (collaboratore esterno).

Nella sua versione definitiva il Database offre contenuti organizzati secondo due categorie principali, collegate informaticamente secondo una struttura logica predefinita:

Tablelle strutturali, che rappresentano il cuore del *Database* ovvero le sorgenti sismogenetiche. In queste tabelle sono immagazzinate tutte le informazioni geografiche sulla localizzazione di ogni singola sorgente nonché tutte le informazioni alfanumeriche associate (parametri geometrici e cinematici, caratteristiche di ricorrenza, etc.). Attualmente le *tabelle strutturali* contengono:

- 60 “Sorgenti Sismiche Geologico/Geofisiche”, le più documentate e affidabili, accompagnate da commenti sintetici, riferimenti bibliografici e immagini significative;
- oltre 200 “Sorgenti Sismiche Storiche” ottenute analiticamente a partire da diverse migliaia di dati di intensità macrosismica;
- 142 “Lineamenti Tettonici” tratti dalla letteratura corrente.

Tablelle di Supporto, che contengono dati forniti a supporto della consultazione del *Database* e aiutano a collocare ogni sorgente sismogenetica nel suo specifico contesto sismologico, geografico e amministrativo. Queste tabelle includono:

- 41 “Compilazioni di Faglie” scansionate a partire dalla letteratura corrente;
- oltre 1.200 riferimenti bibliografici;
- 448 immagini scansionate preparate dai compilatori del *Database* o tratte da letteratura;
- 3 cataloghi di sismicità storica più il bollettino strumentale dell’INGV in forma parametrica per il periodo 1985-2000;
- 3 versioni del modello digitale del terreno dell’Italia, disponibile con una risoluzione di un punto ogni 250 m circa;
- 3 livelli di dati di drenaggio, dati sugli insediamenti e sulla distribuzione della popolazione, confini amministrativi.

A tali due categorie si aggiungono una serie di funzioni applicative, alcune caratteristiche dell’ambiente GIS, altre sviluppate specificamente all’interno dell’applicazione per consentire più rapide e complesse analisi incrociate dei dati offerti. Questi funzioni includono tra l’altro:

- strumenti per rappresentare in modo georeferenziato dati di intensità tratti dai cataloghi storici contenuti nel *Database*;
- strumenti per il calcolo di scenari di intensità calcolati a partire da terremoti realmente accaduti o aventi epicentro e magnitudo del tutto arbitrari;
- strumenti per zoomare, spostare l’area visualizzata, misurare distanze, cercare e selezionare sottoinsiemi di dati, esportare dati ed elaborazioni.

La **Figura 1** mostra una sintesi del contenuto del *Database*, a cui si rimanda per qualunque ulteriore chiarimento. Uno degli aspetti più significativi e innovativi dell’intero *Database* è invece illustrato in **Figura 2**, che mostra l’insieme delle sorgenti sismogenetiche per le quali non esiste un terremoto storico associabile, ovvero tale da giustificare l’attivazione per l’intera lunghezza. Queste sorgenti rappresentano quindi un primo *set* di quelle “lacune sismiche” la cui identificazione forma uno degli obiettivi scientifici e applicativi fondamentali dell’intero progetto.

2) *Approfondimento delle conoscenze su sorgenti sismogenetiche selezionate*

Negli ultimi mesi del 2000 sono state avviate le previste attività finalizzate all’approfondimento delle conoscenze su cui è fondato il *Database*. Tale approfondimento ha due obiettivi fondamentali:

- migliorare la comprensione delle caratteristiche geometriche e cinematiche delle aree già identificate come possibili “lacune sismiche” (vedi **Figura 2**);
- elaborare ipotesi di sorgente per ulteriori aree non identificate come “lacune sismiche” e tradizionalmente trascurate dalla ricerca sismotettonica, o perché caratterizzate da sismicità poco compresa (ma non necessariamente infrequente), o perché caratterizzate da sorgenti sismiche cieche o nascoste.



Figura 1. Immagine complessiva della finestra principale del *Database of potential sources for earthquakes larger than magnitude 5.5 in Italy*. Le 60 sorgenti in colore chiaro sono quelle identificate mediante la combinazione di dati geologici, geofisici e storici e pertanto sono da considerare le più affidabili. Il *Database* è disponibile per la consultazione mediante CD (in distribuzione a partire da ottobre 2001).



Figura 2. L'immagine mostra (in nero) 14 sorgenti sismogenetiche non associate ad un terremoto storico di dimensioni tali da giustificarne la rottura per tutta la loro lunghezza. Queste sorgenti possono essere interpretate come "lacune sismiche", anche se per alcune di loro il tempo trascorso dall'ultimo evento potrebbe essere di meno di un millennio, e quindi probabilmente nell'ordine del 50% del tempo di ricorrenza medio. Sono rappresentati anche lo spartiacque appenninico e l'andamento presunto dei fronti compressivi più esterni.

In questo contesto sono in corso di svolgimento diverse attività che vengono riassunte qui di seguito. Queste attività vengono svolte da diversi elementi del gruppo di lavoro con la partecipazione di Roberto Basili, Rosa Nappi, Daniela Pantosti e Gianluca Valensise.

Area costiera marchigiana. Roberto Basili e Paola Vannoli stanno effettuando una mappatura delle deformazione tettonica cumulativa registrata dalle strutture tettoniche costiere della fascia romagnolo-

marchigiana, tra Ancona e Rimini. I primi risultati consistono in nuovi vincoli sulla localizzazione e velocità di deformazione di alcune delle strutture attive di quest'area, con particolare riferimento alla sorgente denominata "Pesaro-San Bartolo", già identificata come "lacuna sismica". Questi risultati sono stati recentemente presentati in un convegno internazionale sulla "Tectonic Geomorphology".

Settore compreso tra Gualdo Tadino e Città di Castello. Paolo Marco De Martini e Stefano Pucci, con l'appoggio di colleghi dell'Università di Perugia, stanno approfondendo le conoscenze di superficie relativamente al settore Gualdo Tadino-Gubbio-Città di Castello, e si apprestano a formulare ipotesi di sorgente sismogenetica in un settore per cui il *Database* fornisce informazioni limitate. Due di queste sorgenti sono state identificate come "lacune sismiche".

Pianura padano-veneta. Donatella Massoli sta effettuando degli *stage* presso l'AGIP di Milano per esplorare i rapporti tra evidenza superficiale e profonda di alcune strutture attive del sottosuolo padano, con particolare riferimento alla struttura responsabile del terremoto di Soncino del 1802. Pierfrancesco Burrato, insieme a colleghi dell'Università di Padova, ha approfondito i criteri per una più sicura identificazione di strutture sismogenetiche sepolte sotto la pianura a partire dalle anomalie che esse determinano nel drenaggio. Le ricerche hanno riguardato particolarmente le strutture "Adige Plain" e "Mantova", quest'ultima già identificata come "lacuna sismica". Anche questi risultati sono stati recentemente presentati in un convegno internazionale sulla "Tectonic Geomorphology".

Confine Campania-Basilicata. Pierfrancesco Burrato ha proseguito le ricerche sulla risposta geomorfologica della Val d'Agri all'attività della faglia ritenuta responsabile del terremoto del 1857. I risultati di tali ricerche sono attualmente in corso di sottomissione a una rivista scientifica internazionale. Insieme a diversi altri colleghi ha successivamente esteso le ricerche all'adiacente valle del Melandro-Pergola, già identificata come sorgente sismogenetica in grado di generare un forte terremoto e quindi come "lacuna sismica", per l'assenza di un forte evento storico associabile ad essa. Riccardo Caputo sta seguendo alcune tesi che riguardano questa zona e che rappresentano una prima fondamentale mappatura in chiave di tettonica attiva di una zona quasi del tutto sconosciuta alla letteratura geologica.

3) *Elaborazione di un modello globale della sismogenesi*

Nell'ottobre 2000 è iniziata l'attività identificata come "seconda linea strategica" del Task 1.1 nel programma del Progetto. Tale attività punta alla definizione di "zone sismogenetiche" all'interno delle quali resterà distribuita la sismicità non associabile a sorgenti riconoscibili individualmente. In una prima fase è stata verificata la sovrapponibilità tra lineamenti tettonici trasversali alla catena (di cui 142 già censiti e georeferenziati nel *Database*: vedi sopra) e l'andamento spaziale di numerosissime sequenze sismiche verificatesi tra il 1975 e il 2000. Queste ultime sono state ottenute dall'unione di un ampio *dataset* messo recentemente a disposizione come risultato del PE 99 del GNDT (per il periodo 1981-1996) con il bollettino strumentale INGV (limitatamente ai periodi 1975-1980 e 1997-2000).

L'analisi, interamente condotta da Salvatore Barba e Roberto Basili mediante algoritmi sviluppati appositamente, ha consentito di selezionare con criteri spazio-temporali (terremoti ricadenti entro 20-30 km ed entro 10-20 giorni l'uno dall'altro) 285 sequenze individuali, che sulla base della distribuzione geografica, profondità caratteristica, stile deformativo e rapporti con le strutture tettoniche note sono state raggruppate in 5 classi fondamentali (**Figura 3**). Molte di queste sequenze marcano importanti e note discontinuità crostali e litosferiche e allo stesso tempo delimitano con buona precisione sorgenti sismogenetiche identificate e delineate per via indipendente (**Figura 4**). I risultati dell'analisi sono stati già presentati durante una conferenza internazionale ed è in preparazione un articolo che li sintetizza. Complessivamente, l'analisi delle sequenze consente di porre nuovi e ulteriori vincoli per un modello globale della sismogenesi in Italia per le seguenti ragioni:

- 1) la grande maggioranza delle sequenze avviene lungo lineamenti noti, o sui bordi di strutture sismogenetiche note o ipotizzabili, o comunque in contesti strutturali in una certa misura "prevedibili" sulla base delle conoscenze geodinamiche oggi disponibili (campo di *stress* regionale, andamento del sollevamento della catena, localizzazione dei fronti compressivi attivi, etc.). Questa caratteristica dovrebbe consentire la delineazione di "aree sorgente" o "zone sismogenetiche" molto più piccole e

strette di quelle finora utilizzate, mentre ampi settori della penisola verrebbero a cadere nelle cosiddette “zone di *background*” a sismicità imprecisabile ma comunque limitata;

- 2) molte sequenze, particolarmente nei settori estensionali della catena, avvengono sui “confini di segmento”, suggerendo eventuali raffinamenti alle sorgenti esistenti e potenzialmente indicando la posizione di ulteriori sorgenti ancora non identificate;
- 3) molte grandi faglie normali sembrano delimitate longitudinalmente, e talora anche trasversalmente, da zone di debolezza, che in genere coincidono con strutture tettoniche preesistenti e rappresentano verosimilmente settori a reologia diversa, non in grado di sopportare carichi di deformazione significativi. Questa osservazione ha importanti implicazioni nella stima della magnitudo massima attesa nelle diverse zone e delle possibili interazioni dinamiche tra segmenti adiacenti.

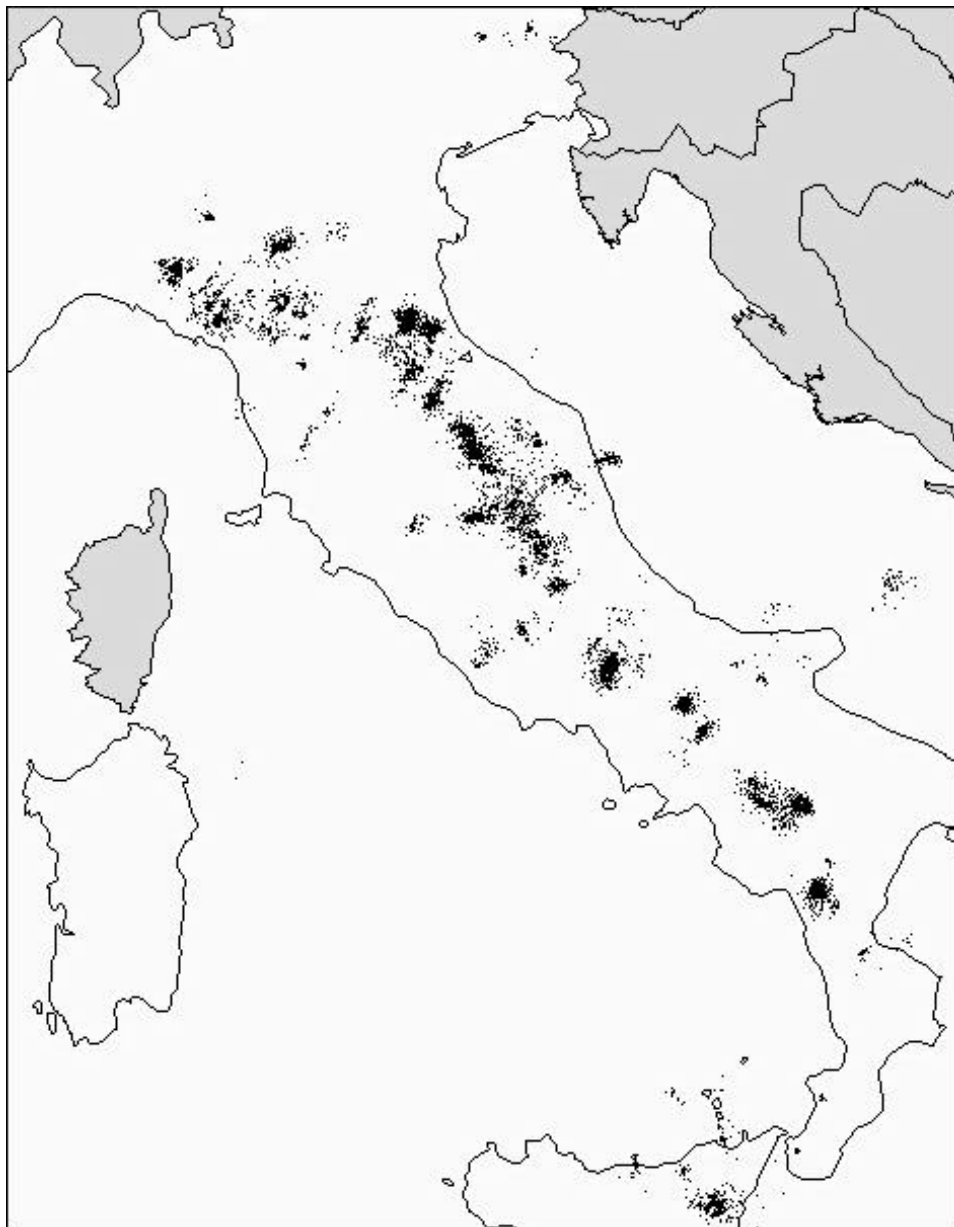


Figura 3. Sequenze riconosciute durante l’analisi con criteri spazio-temporali di oltre 50.000 scosse avvenute tra il 1975 e il 2000. Molte sequenze sembrano scandire la struttura sismogenetica fondamentale con un passo variabile tra i 10 km circa dell’Appennino settentrionale e i 20-30 km dell’Appennino centrale e meridionale. Si noti anche la concentrazione delle sequenze nei settori a più elevata velocità di deformazione.

Fucino/Ovindoli-Pezza Central Apennines

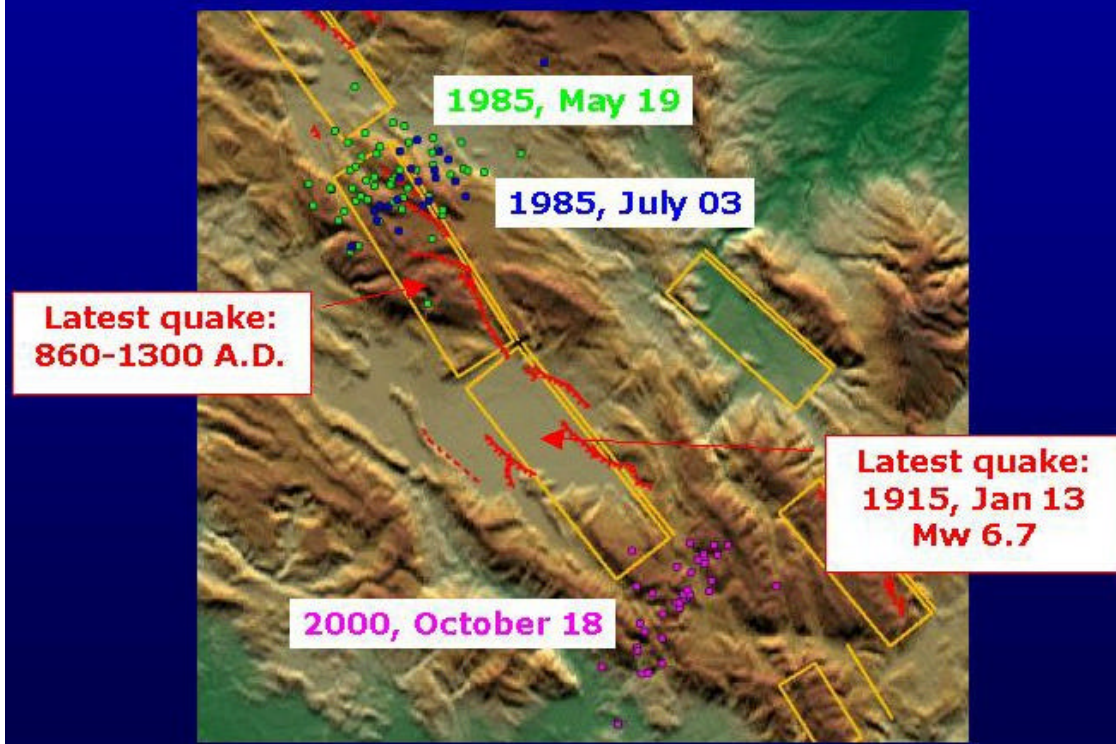


Figura 4 Dettaglio dell'immagine precedente per un settore dell'Appennino centrale. Il settore di catena posto a sud della sequenza dell'ottobre 2000 si delinea come una ulteriore potenziale "lacuna sismica" da considerare con attenzione, anche perché inclusa tra strutture che sono state attive in epoca relativamente recente (terremoti del 1915 e 1984).

Task 1.2 - Indagini di sismologia storica in aree prioritarie

Responsabile M. Stucchi, Sezione INGV di Milano

Alle indagini hanno collaborato Viviana Castelli, Carmen Mirto, Romano Camassi, Andrea Moroni, Ilaria Leschiutta, Paola Albini e Henry Coppari.

Le indagini hanno riguardato due tematiche:

- definizione dei margini di oscillazione dei parametri dei terremoti determinati a partire da dati storici.
- indagini storiche su terremoti prioritari.

1.2.1 - Definizione dei margini di oscillazione dei parametri determinati dei terremoti a partire da dati storici

a) Introduzione

Come tutti i parametri dei terremoti, anche quelli determinati a partire da dati di tipo storico/macrosismico sono affetti da incertezze che, secondo l'opinione corrente, sono generalmente più grandi di quelle che caratterizzano i parametri determinati da dati strumentali. I cataloghi parametrici forniscono spesso stime di attendibilità dei parametri, determinate in vari modi. Queste stime vengono raramente utilizzate per le elaborazioni correnti, sia perché i codici di calcolo non ne prevedono l'uso, sia perché l'utilizzatore non è mai del tutto convinto del loro valore.

Nel caso di parametri derivati da procedure formali che elaborano dati d'intensità, le stime di attendibilità sono determinate assumendo che i dati di intensità di partenza non siano affetti da incertezze o che, comunque, le eventuali incertezze non siano quantificabili. Viceversa, generalmente l'autore dello studio ha un'idea abbastanza precisa delle incertezze dei suoi dati di intensità, anche se trova difficoltà a quantificarle. Raramente, ad esempio, ricorre all'unico strumento concesso dalle scale macrosismiche per quantificare tali incertezze, e cioè i valori del tipo 6-7, 6-8, in quanto questi valori non sono graditi dagli utilizzatori, che spesso apportano drastici correttivi (del tipo $6-7 = 6$) in maniera unilaterale. Ne consegue che spesso, a lato dello studio, è disponibile un "insieme-ombra" di informazioni non (ancora) parametrizzabili, la cui considerazione potrebbe comportare modifiche, a volte anche sostanziali, ai parametri ottenuti con procedure che elaborano dati di intensità.

I principali fattori di incertezza dei punti di intensità sono:

- 1) la quantità e la distribuzione spaziale di notizie storiche disponibili, in relazione sia alla disponibilità di fonti in generale, sia all'approfondimento delle indagini;
- 2) la valutazione dell'intensità macrosismica, in relazione al tipo di notizie disponibili, alla conoscenza delle caratteristiche e del numero degli edifici e agli effetti di cumulo legati alle sequenze di scosse distruttive. In particolare, alcune considerazioni sui problemi derivanti dal cumulo degli effetti sono rintracciabili in Azzaro e Stucchi (2000).

L'indagine avviata in questo progetto fa riferimento al lavoro di Camassi et al. (1999), in cui quello che più sopra è stato definito come "insieme-ombra" di informazioni non parametrizzabili è stato valutato, in maniera speditiva, per determinare i margini di incertezza dei parametri dei principali terremoti dell'Appennino Umbro-Marchigiano. In primo luogo è stata definita e calibrata una metodologia per la definizione delle incertezze dei valori dei parametri Lat, Lon, Io e Mm; in seguito la metodologia è stata applicata a una quarantina di eventi del catalogo CPTI (GdL CPTI, 1999) in 5 aree e ad alcuni terremoti che presentavano rilevanti differenze fra Me e Mm, scelti fra appartenenti a casistiche diverse.

b) Metodologia

Il riferimento per questa analisi è rappresentato dai parametri forniti dal catalogo CPTI (GdL CPTI, 1999) che, per i terremoti provvisti di dati di intensità, sono stati determinati facendo uso delle metodologie note (si veda l'introduzione al catalogo stesso) a partire dai dati forniti da DOM (Monachesi e Stucchi, 1997) e CFTI2 (Boschi et al., 1997). Ai fini del progetto sono stati considerati solo i terremoti che in CPTI hanno almeno un tipo di M = 5.5, che sono in tutto 217.

E' stata definita una griglia di analisi riguardante 5 aspetti, per ciascuno dei quali sono state definite tre classi di giudizio:

Qualità delle notizie storiche	1	bassa	Fonti tarde e scarsamente significative
	2	media	Singole fonti coeve, oppure successive ('lontane')
	3	alta	Fonti plurime, generalmente coeve e concordanti
Qualità del dato di intensità	1	bassa	Descrizioni generiche, di difficile interpretazione
	2	media	Descrizioni scarse e/o limitate a singoli edifici e/o situazioni
	3	alta	Descrizioni articolate e precise
Presenza di effetti di cumulo	1	presenza	determinante
	2	presenza	parziale
	3	presenza	nulla
Simmetria della distribuzione dei punti di intensità elevata	1	molto asimmetrica	(circa 180 gradi coperti)
	2	parzialmente asimmetrica	(circa 270 gradi coperti)
	3	sostanzialmente simmetrica	(circa 360 gradi coperti)
Densità della distribuzione dei punti di elevata intensità	1	bassa	
	2	media	
	3	alta	

Dalla combinazione delle classi assegnate e di un giudizio esteso sono stati successivamente determinati i margini di oscillazione per i parametri Io, Mm e coordinate epicentrali.

Per alcuni terremoti sono stati analizzati anche i nuovi studi oggi disponibili, in particolare quelli di CFTI3 (Boschi et al., 2000) che segnalavano differenze significative dagli omologhi studi di CFTI2 in termini di numero di punti di intensità e/o di intensità massima. In particolare si è verificato se i parametri determinati a partire da questi studi rientrassero o meno nei margini di oscillazione previsti. Si deve ricordare che i valori di Me forniti dai cataloghi CFTI, determinati con il metodo boxer (Gasperini et al., 1999), rappresentano di fatto un valore di magnitudo momento. Questi valori non coincidono con i valori di Me forniti da CPTI i quali, come spiegato nella introduzione del catalogo, sono stati ricalibrati a Ms per ragioni

di omogeneità con gli altri tipi di M presentati da CPTI stesso. Nel range di questa analisi ($M = 5.5$) le differenze non superano comunque 0.1. I valori che vengono presentati nel seguito sono tutti omogenei con la Me di CPTI.

Per un numero ristretto di terremoti sono state effettuate delle simulazioni, introducendo opportune oscillazioni nei valori di intensità di alcuni punti particolarmente critici per la loro collocazione e il loro background informativo. Le distribuzioni virtuali così ottenute sono state processate con il metodo boxer. I risultati sono raccolti in Tab.1 e descritti brevemente nel seguito.

c) Risultati

c1 - Alta Valtiberina

I parametri dei terremoti più forti dell'Alta Valtiberina, così come forniti da CPTI, erano stati analizzati da Camassi et al. (1999) i quali non suggerivano la possibilità di forti oscillazioni di Mm, se non per il caso del 1352 il cui valore appariva potenzialmente abbastanza sovrastimato. Destava invece qualche perplessità, nel caso del terremoto del 1984, la differenza fra i valori di Me e Mm, determinati da dati di un rilievo macrosimico diretto, rispetto a quello di Ms.

I parametri determinati a partire dagli studi di CFTI3 (Boschi et al., 2000) si mantengono nel range di oscillazione previsto, se si eccettua il caso del 1789. Per questo terremoto, tuttavia, nell'ambito di questa ricerca è stato prodotto un nuovo studio (Castelli, 2001, riassunto più avanti), che offre una base informativa più solida, a partire dalla quale si determinano parametri coerenti con quelli di CPTI.

Per il terremoto del 1984 lo studio CFTI3, basato su dati meno diretti e meno numerosi di quelli usati da CPTI, contribuisce a determinare valori di Mm e Me abbastanza elevati, vicini a quello di Ms (5.5) fornito da CPTI. Tuttavia ISC fornisce per questo evento $M_s = 5.2$, che sembra più coerente con i dati macrosismici di DOM e con il valore di $M_l = 5.2$ (convertibile in $M_s = 5.1$) fornito dal recente catalogo strumentale GNDT 1981-1996 (Augliera et al., 2001).

Al di là di questo caso, nel complesso non vi sono gap rilevanti nei valori di M comunque determinati; va peraltro sottolineato che la Ms dell'evento del 1917 risulta inferiore a tutti i valori di M determinati da dati macrosismici.

c2 - Settore Gualdo Tadino/Sellano

Anche per questo settore i parametri di CPTI erano già stati analizzati da Camassi et al. (1999), che ritenevano potenzialmente sovrastimati tutti e 4 gli eventi, con particolare riferimento a quello del 1279 e, soprattutto, a quello del 1751.

Gli studi di CFTI3 contribuiscono a determinare parametri che si collocano nel margine di oscillazione previsto per i terremoti del 1279, 1747 e 1838; non modificano invece il quadro relativo a quello del 1751, la cui possibile sovrastima è dovuta agli effetti di cumulo con i danni relativi all'evento del 1747, difficilmente "decumulabili". Una analisi dell'intera sequenza 1747-1751 basata su fonti nuove è stata avviata nell'ambito di questo progetto.

Anche per questi eventi non vi sono gap esagerati fra i valori di M comunque determinati.

c3 - Basilicata meridionale

In questo settore sono presenti modesti problemi di localizzazione e possibili sottostime per i terremoti del 1708 (Pollino) e sovrastime per l'evento del 1836 (Basilicata meridionale).

I parametri dell'evento del 1561 sembrano abbastanza ben attestati, a dispetto del fatto che lo studio di riferimento si basa essenzialmente su di una sola fonte, le cui informazioni sono per molte località estremamente sintetiche e/o generiche. Anche i parametri del terremoto del 1857, che dispone invece di una documentazione di prim'ordine - difficilmente migliorabile, sembrano ben attestati.

Il terremoto del 1708 (Pollino) e quello del 1836 (Basilicata) presentano forti differenze fra i valori di Me e Mm. Il primo evento è attestato solo da 3 punti di intensità, ed è pertanto assimilabile agli eventi medievali discussi al punto c6; Io ed Mm possono essere sottostimati, Me sovrastimata. I dati di uno studio recente

(Camassi et al., 2001), pur rivalutando il valore di M_x , non sembrano confermare al momento questa ipotesi.

Per l'evento del 1836 la forte differenza fra M_e e M_m è difficilmente spiegabile, in quanto I_o e M_m potrebbero essere addirittura sovrastimate per ragioni di evidenti effetti di cumulo con alcuni eventi precedenti. Parte dei danni relativamente alle località maggiormente danneggiate - Lagonegro, Lauria, Rivello - sono infatti preesistenti al terremoto, dato che l'area è stata interessata dai terremoti del 1826 e soprattutto del 1831, forse a sua volta sottostimato.

c4 - Lunigiana/Garfagnana

In questa area sembrano potenzialmente sovrastimati i valori di I_o e di M_m per il terremoto del 1837, mentre i parametri degli altri terremoti sembrano affetti da incertezze di entità standard.

Gli studi di CFTI3 contribuiscono a determinare parametri nell'ambito delle oscillazioni previste; lo stesso avviene per gli eventi del 1834 e 1837 nel caso dei due studi completati nell'ambito di questa ricerca. Entrambi i nuovi studi contribuiscono a ridurre il gap fra i valori di M_m e M_e che in CPTI raggiungeva il livello di guardia ($M_m - M_e = 0.8$). Nel caso del terremoto del 1920 è da notare la buona coincidenza del valore di M_s con i valori di M comunque determinati da dati macrosismici.

c5 - Prealpi venete

In questo settore le incertezze maggiori riguardano la localizzazione epicentrale, che raggiungono il loro massimo con il terremoto del 1117 (± 35 km). Molte delle informazioni disponibili per questo terremoto, infatti, sono fortemente generiche, difficilmente elaborabili in termini di intensità macrosismica e in parte riferite su sensori - l'edilizia monumentale - decisamente anomali tipologicamente e come distribuzione rispetto al reticolo di insediamenti; di conseguenza anche I_o potrebbe risultare sottostimata.

Appare potenzialmente sovrastimato il terremoto del 1695, per il quale sembrano più ragionevoli i parametri che si determinano a partire dai dati di DOM.

Non vi sono eventi che presentano gap esagerati. Va sottolineato che nel caso del terremoto del 1936 M_s risulta più bassa di tutti i valori di M determinati da dati macrosismici.

c6 - Eventi con forti discordanze fra i valori di M

Sono stati analizzati in questo gruppo alcuni dei terremoti che presentano in CPTI differenze di almeno 0.7 fra uno o più valori di magnitudo, scelti fra tipi di eventi molto diversi per problematica.

Le analisi hanno dato i seguenti risultati:

- eventi del 1125 (Sannio-Molise), 1293 (Sannio), 1346 (Pianura padana):
si tratta di eventi di periodo medievale con: i) un numero di punti di intensità limitato; ii) intensità massima non elevata, ma punti di intensità massima distanti tra loro (caratteristica frequente nei terremoti medievali). In queste situazioni l'algoritmo boxer tende a fornire una M_e elevata, che si distanzia dal valore di M_m .
- 1348 (Friuli), 1511 (Slovenia-Friuli):
si tratta di eventi non recenti, che tuttavia dispongono di una buona base informativa.
La M_e dell'evento del 1348 può essere sovrastimata per alcune delle caratteristiche dei terremoti descritti più sopra. A questa incertezza si associa una notevole incertezza nella localizzazione epicentrale: questo evento viene localizzato da diversi autori (compresi Boschi et al., 2000) in Carinzia, mentre CPTI lo localizza addirittura nel Friuli sud-occidentale (pur assegnandolo alla Carnia). Lo studio di Boschi et al. (2000) aumenta il gap fra M_m e M_e .
Il caso del 1511, la cui base informativa non è variata da CFTI2 a CFTI3, è del tutto simile. Alcune analisi parametriche dimostrano che sia la localizzazione che M_e sono fortemente controllate da un ristretto numero di punti di intensità per i quali, peraltro, si dispone di informazioni molto succinte.

- 1818 (Catane):
in questo caso il valore di Mm fornito da CPTI (4.94) è da considerarsi errato, in quanto l'evento è stato erroneamente considerato dai compilatori di CPTI come etneo, mentre si tratta di un evento crostale; di conseguenza, Mm è stata determinata a partire dalla relazione tabellare propria dei terremoti dell'Etna. Il valore corretto di Mm risulta 6.3, in buon accordo con Me (6.2).
- 1914 (Garfagnana)
Si tratta di un evento verosimilmente profondo, con una distribuzione di punti di I_{max} molto ampia, che determinano una notevole incertezza nella localizzazione. Ms (5.8) è in buon accordo con Me, mentre viceversa Mm (4.8) risulta molto bassa. Il valore di Mm è tuttavia da considerarsi più rappresentativo ai fini di valutazione dell'hazard nel caso in cui non vengano utilizzate le profondità.
- 1916 (Alto Adriatico)
In questo caso entrambi i valori di Me e Mm risultano inferiori a quello di Ms, verosimilmente in quanto l'evento è localizzato in mare da dati strumentali, mentre le procedure macrosimiche lo localizzano in terra. Si tratta di un esempio generalizzabile a numerosi eventi, tipicamente delle coste romagnolo-marchigiana e siciliana.
- 1968 (Valle del Belice)
Anche questo è un caso emblematico, riferibile alla problematica del cumulo degli effetti. Il valore di Ms (5.9) si riferisce ad un evento preciso, mentre i dati macrosismici si riferiscono a effetti cumulati, e determinano valori di Me (6.4) e Mm (6.6) molto superiori. Il caso assomiglia a quello della sequenza di Colfiorito del 1997, sia pure con gap maggiori in questo caso.

c7 - Eventi particolari - il caso del terremoto del 1349

Nella storia dei terremoti italiani dell'ultimo millennio ci sono alcuni episodi di sequenze di forti terremoti che, a distanza di pochi giorni, hanno interessato aree abbastanza limitrofe; si pensi ad esempio alle sequenze del 1703 in Italia centrale e del 1783 in Calabria. Per queste sequenze le informazioni storiche consentono di discriminare con chiarezza la data degli eventi più forti e la loro area epicentrale; i valori di magnitudo risultano invece affetti da incertezze dovute ai problemi di cumulo dei danni. Per altri eventi più lontani nel tempo (es.: 1349, 1456), viceversa, le notizie disponibili non consentono di discriminare con certezza i singoli eventi e la loro localizzazione; si ha quindi un'immagine globale del terremoto, che viene suddivisa in più eventi sulla base di indizi e giudizi esperti da parte dei ricercatori.

Nel caso del 1349, senza dubbio il più complesso, il catalogo CPTI, sulla base di CFTI2, propone tre eventi sincroni, localizzati rispettivamente nel Lazio meridionale-Molise, Viterbese-Umbria e Aquilano, con Me rispettivamente uguali a 6.7, 6.3 e 7.1. CFTI3, sulla base di un parco di informazioni sostanzialmente uguale al precedente, conferma i due primi eventi (portando tuttavia la Me del secondo a 6.8), e scinde il terzo in due eventi, localizzati rispettivamente nell'Aquilano e nell'Abruzzo meridionale, con Me rispettivamente uguale a 6.3 e 6.1.

Senza entrare nel merito dei giudizi degli autori, questo esempio definisce una casistica, fortunatamente limitata, per la quale la definizione dei margini di oscillazione dei parametri risulta sostanzialmente impossibile.

Tab. 1 - Parametri degli eventi analizzati e margini di oscillazione di quelli contenuti in CPTI.

Ye	Mo	AE	Stud.	Nmo	Io	Me	Mm	Ms	Dlo	DM m	DL
1352	12	MONTERCHI	DOM	7	90	--	600		-10	-06	±10
1352	12	Sansepolcro	CFTI3	4	85	559	580				
1389	10	BOCCA SERRIOLA	CAA96	9	90	--	600		±05	±03	±10
1389	10	App. umbro-march.	CFTI3	7	85	598	580				
1458	04	CITTA' DI CAST.	DOM	5	90	559	600		-05	-03	±05
1458	04	Val Tiberina	CFTI3	4	85	559	580				
1593	04	GUBBIO	DOM%	4	75	559	510		±05	±03	±10
1789	09	VAL TIBERINA	DOM	28	85	559	580		±05	±03	±05
1789	09	Val Tiberina	CFTI3	12	95	573	630				
1789	09	VAL TIBERINA	CAS01	65	90	559	600				
1917	04	MONTERCHI-CITERNA	DOM	128	90	585	600	560	±05	±03	±05
1917	04	Val Tiberina	CFTI3	134	95	598	630				
1984	04	GUBBIO/VALFABBR.	DOM	713	70	483	480	550	+05	+03	±05
1984	04	Umbria sett.	CFTI3	577	80	545	540				
1984	04	GUBBIO/VALFABBR.	ISC					520			
1984	04	GUBBIO/VALFABBR.	GNT01					510			
1279	04	CAMERINO	DOM	17	100	610	660		-10	-06	±15
1279	04	App. Umbro-march.	CFTI3	16	90	623	600				
1747	04	FIUMINATA	DOM	27	90	585	600		-05	-03	±10
1747	04	App. umbro-march.	CFTI3	24	85	559	580				
1751	07	GUALDO TADINO	DOM	61	100	622	660		-15	-08	±05
1751	07	App. umbro-march.	CFTI3	66	100	634	660				
1838	02	VALNERINA	DOM	9	80	572	540		-05	-03	±10
1838	02	Valnerina	CFTI3	23	80	500	540				
1481	05	LUNIGIANA	DOM	5	85	--	580		±05	±03	±15
1481	05	Garfagnana	CFTI3	5	80	545	540				
1834	02	ALTA LUNIGIANA	DOM	101	85	530	580		±05	±03	±10
1834	02	Valle del Taro-L.	CFTI3	112	90	559	600				
1834	02	ALTA LUNIGIANA	MOR01	99?	80	531	540				
1837	04	ALPI APUANE	DOM	50	95	530	630		-10	-06	±05
1837	04	Alpi Apuane	CFTI3	60	90	559	600				
1837	04	ALPI APUANE	MOR01	49	85	500	580				
1920	09	Garfagnana	CFTI2	640	95	645	630	650	±05	±03	±05
1920	09	Garfagnana	CFTI3	756	100	657	670	650			

Ye	Mo	AE	Stud.	Nmo	Io	Me	Mm	Ms	DIo	DM m	DL
1561	08	Vallo di Diano	CFTI2	30	95	645	630		-05	-03	±10
1708	01	POLLINO	DOM	3	75	598	510		±10	±06	±20
1708	01	POLLINO	CAA01	9	85	563	540				
1826	02	Basilicata	CFTI2	18	80	572	540		-05	-03	±15
1836	11	Basilicata merid.	CFTI2	17	80	634	540		-10	-06	±15
1857	12	Basilicata	CFTI2	337	105	698	680		±05	±03	±10
1117	01	Veronese	CFTI2	85	95	656	630		±05	±03	±35
1695	02	Asolano	CFTI2	82	95	667	630		-10	-06	±15
1695	02	Asolano	DOM	77	90	650	600				
1812	10	SEQUALS	DOM	34	75	572	510		±05	±03	±15
1812	10	Valle del Cellina	CFTI3	34	80	573	540				
1873	06	Bellunese	CFTI2	200	95	634	630		±05	±03	±15
1936	10	BOSCO CANSIGLIO	DOM	267	90	610	600	580	±05	±03	±10
1936	10	Alpago-Cansiglio	CFTI3	194	90	623	600				
1125	10	Sannio-Molise	CFTI2	4	80	698	540		±10	±06	±20
1293	09	Sannio	CFTI2	6	85	678	580		±10	±06	±20
1346	02	Ferrara	CFTI2	14	75	678	510		+10	+06	±25
1348	01	CARNIA	DOM	46	95	698	630		+05	+03	±35
1348	01	Carinzia	CFTI3	58	90	699	600				
1511	03	Slovenia	CFTI2	66	90	688	600		+05	+03	±15
1818	02	Catanese	CFTI2	127	95	622	494		==	+14	±05
1914	10	GARFAGNANA	DOM	618	70	572	480	580	+15	+10	±35
1916	08	Alto Adriatico	CFTI2	256	80	559	540	610	+10	+06	±20
1968	01	Valle del Belice	CFTI2	163	100	645	660	590	-10	-06	±05
1349	09	Lazio mer.-Molise	CFTI2	24	100	667	660				
1349	09	Lazio mer.-Molise	CFTI3	22	100	678	660				
1349	09	Viterbese-Umbria	CFTI2	15	85	634	580				
1349	09	Viterbese-Umbria	CFTI3	15	85	678	580				
1349	09	Aquilano	CFTI2	22	95	708	630				
1349	09	App. Abruzzese	CFTI3	15	95	634	630				
1349	09	Abruzzo Merid.	CFTI3	9	90	611	600				

1.2.2 - Indagini storiche su terremoti prioritari

Il terremoto del 1789 nell'area di Città di Castello: una nuova distribuzione delle intensità

Benché localizzato al centro della penisola, il terremoto del 30 settembre 1789 è un terremoto "di confine". Infatti interessò un'area attraversata dal confine tra Granducato di Toscana e Stato della Chiesa, da confini interni allo Stato della Chiesa e dall'enclave del marchesato di Monte Santa Maria, autonomo sia dal papa che dal granduca fino al 1815.

Lo studio di Castelli et al. (1996) sul terremoto del 1789 ha dato la priorità alle carte degli uffici centrali papali e granducali, per una considerazione costi-benefici, che alla prova dei fatti si è rivelata più efficace per l'area umbra (l'Archivio di Stato di Roma possiede un ricchissimo dossier sulla gestione degli affari relativi al terremoto del 1789) e meno per quella toscana (l'alluvione del 1966 ha molto danneggiato il fondo potenzialmente più utile conservato dall'Archivio di Stato di Firenze); a ciò si è rimediato ricorrendo di più agli archivi comunali.

Il quadro risultante era ragionevolmente soddisfacente ma lasciava aperti alcuni interrogativi. In particolare la distribuzione di intensità ottenuta (fig. 1) - abbastanza dettagliata nella definizione delle aree di I=80, eccezion fatta per l'area circostante Sansepolcro - era estremamente lacunosa nella definizione delle aree di danno minore e del risentimento (per quest'ultimo in particolare, si dispone di informazioni solo da parte toscana). Infine, le ricerche svolte indicavano con certezza che a seguito del terremoto erano stati prodotti - sia per il territorio di Città di Castello sia per quello di Sansepolcro - ricchi complessi di perizie dei danni (o documenti affini), in seguito trasmessi alle rispettive capitali. Ipotizzato che le perizie toscane fossero andate disperse a seguito dell'alluvione, si erano a lungo cercate quelle umbre nei fondi dell'Archivio di Stato di Roma, senza però trovarle.

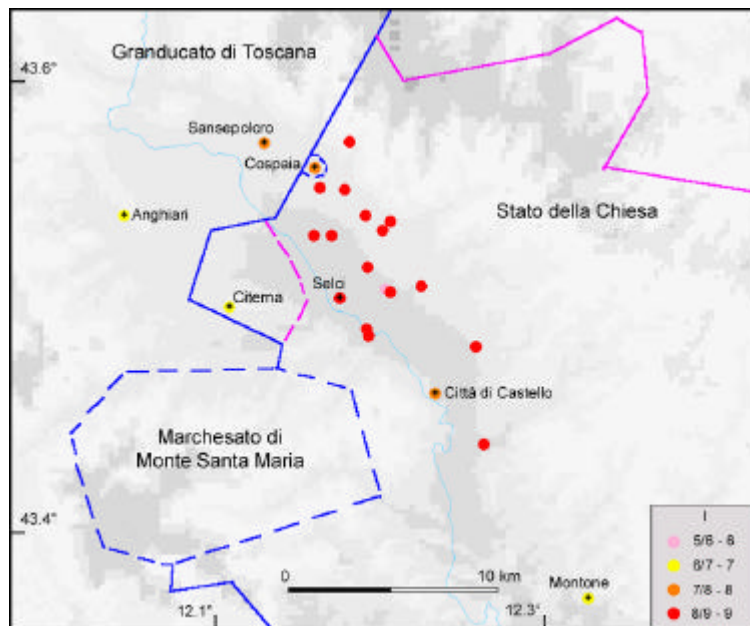


Fig. 1 - La distribuzione dei dati di intensità di DOM 4.1. Sono tracciati i confini storici al 1789.

Negli ultimi mesi del 2000 lo studio sul terremoto del 1789 è stato riavviato nell'intento di colmare le lacune di cui sopra. Il primo obiettivo che si è cercato di raggiungere è stato il recupero delle perizie o almeno di riscontri documentari utili per determinare quali località fossero state oggetto di perizia (e quindi, presumibilmente, di danno).

Per l'area toscana è stata individuata una serie di istanze e ricevute relative a prestiti e sussidi ottenuti dai proprietari di edifici danneggiati in città e in diversi insediamenti del contado. Per quanto riguarda l'area umbra sono stati individuati, in fondi precedentemente non consultati, ulteriori documenti sul danneggiamento di Citeria e un elenco parziale di località del territorio tifernate oggetto di perizia. Infine è

stata individuata una prima parte delle perizie umbre, relativa a più di due terzi degli edifici cittadini e al settore meridionale del contado.

L'analisi dei dati ha permesso di assegnare l'intensità macrosismica a 73 località, 45 delle quali non incluse nelle precedenti distribuzioni. L'attuale distribuzione d'intensità (fig. 2) è sicuramente lacunosa nell'area a ovest del Tevere, corrispondente nel 1789 al marchesato di Monte Santa Maria.

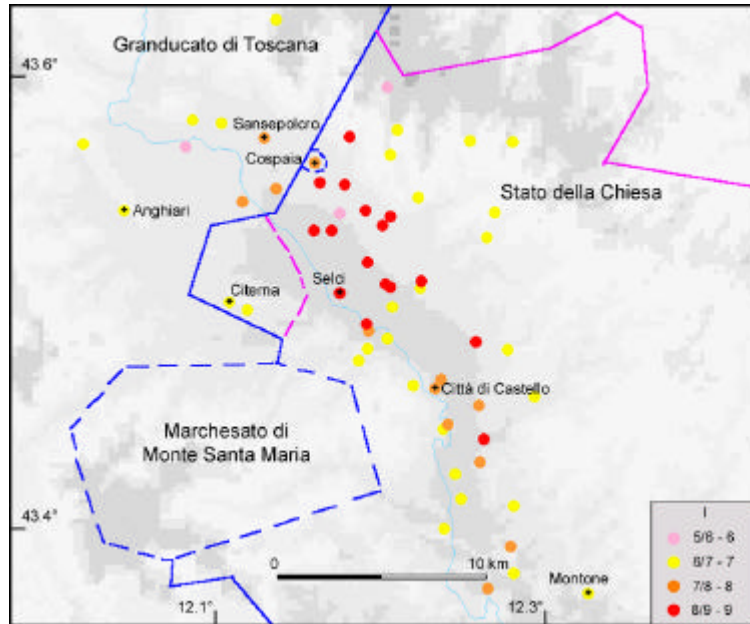


Fig. 2 - Distribuzione di intensità (area di danneggiamento) prodotta dallo studio di Castelli (2001).

Utilizzando la nuova distribuzione di dati di intensità sono stati determinati i parametri del terremoto con il programma "boxer" (Gasparini et al., 1999). I parametri così determinati (Lat, Lon, Io, Me), discussi più sopra, non differiscono molto da quelli forniti da CPTI; anche l'azimuth della box non subisce variazioni rispetto a quelle ricavate dai dati di DOM4.1 e da quelli di CFTI2, a loro volta praticamente già coincidenti (fig. 3).

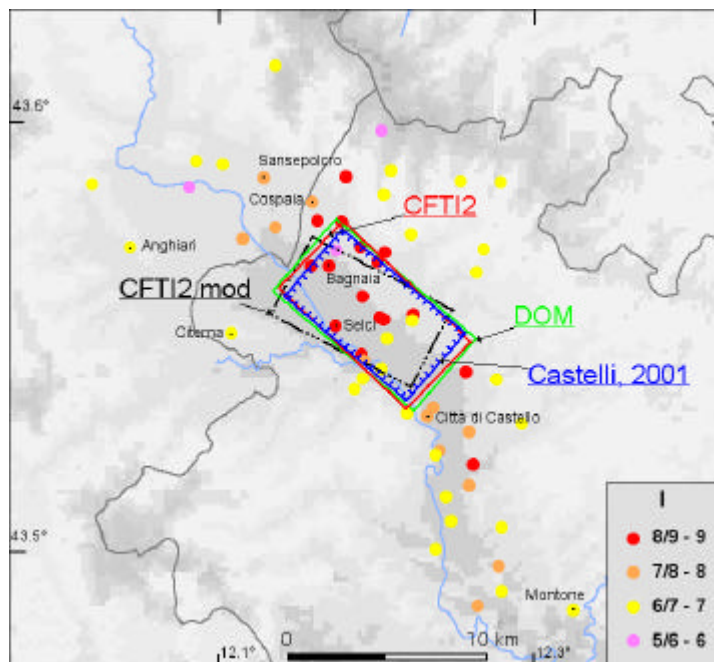


Fig. 3 - Box sismogenetiche ottenute dalle diverse distribuzioni di intensità disponibili.

A titolo di prova, si è ottenuta una leggera variazione solo modificando da 10 a 9 il valore assegnato da CFTI2 alla località di Cospaia. L'azimuth della sorgente risulta in buon accordo con i dati di tettonica attiva dell'area (Galadini et al., 2000).

I terremoti del 1834 e 1837 in Lunigiana e Garfagnana

Per questi due eventi, la cui indagine era già stata avviata in precedenza, sono stati riordinati e riconsiderati criticamente i materiali disponibili e prodotte due nuovi studi corredati da due nuove distribuzioni di intensità (Moroni, 2001). I parametri ricavati da questi studi sono stati analizzati più sopra al punto c3.

I terremoti del 1561 (Vallo di Diano) e 1747-1751 (Nocera Umbra/Gualdo Tadino)

Il terremoto del 1561 è di fatto una sequenza di due eventi (il primo forse, il secondo certamente distruttivo), localizzati in una zona abbastanza ben definita, con una distribuzione di effetti lacunosa per il primo evento e piuttosto ricca per il secondo. Il principale ostacolo alla miglior comprensione di questo evento è il fatto che praticamente tutti i dati sul danneggiamento derivano da una sola fonte "matrice" non priva di oscurità. I dati di base e i diversi studi disponibili sono stati oggetto di una complessiva revisione critica ed è stata avviata una ricerca storica dalle metodologie non tradizionali mirante a raccogliere dati originali, utili per calibrare e verificare l'immagine del terremoto.

I terremoti del 1747 e 1751 fanno parte di una lunga sequenza sismica, con episodi disastrosi, verificatesi in aree in parte coincidenti e già interessate anche dal forte terremoto del 1741 (Fabrianese). Queste circostanze rendono opportuna una rivalutazione dei singoli eventi maggiori, specie per quanto riguarda la revisione dei parametri degli eventi più recenti. Le distribuzioni dei dati d'intensità dei due terremoti sono state riviste e integrate usando documenti inediti di recente individuazione che hanno fruttato un notevole incremento di punti. E' in corso una riconsiderazione critica dell'intero complesso di dati in chiave di individuazione di fenomeni di cumulo "multiplo" per singole località interessate.

Riferimenti

- Azzaro R. and Stucchi M., 2000. The evaluation of the effects of earthquake sequences in the light of the EM-98 intensity scale. Proc. of the ESC WG "Historical Seismology" Workshop, 1-5 September, Macerata (Italy), pp. 48-53.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. e Valensise G. (eds.), 1995. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980. ING-SGA, Bologna, 970 pp.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (eds.), 1997. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980, vol. 2. ING-SGA, Bologna, 644 pp.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. e Gasperini P. (eds.), 2000. Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1980. Ann. Geof., 43, pp. 609-868.
- Camassi R., Castelli V., Coppari H., Ercolani E., Leschiutta I., Mirto C. e Stucchi M., 1999. Margini di incertezza sui parametri dei forti terremoti dell'Appennino umbro-marchigiano: analisi speditiva. In: L. Peruzza (ed.), Progetto MISHA. Metodi innovativi per la stima dell'hazard: applicazione all'Italia centrale. CNR-GNDT, Roma, pp. 65-80.
- Camassi R., Castelli V., Galli P. e Molin D., 2001. Il terremoto del 9 settembre 1998 nel quadro della sismicità storica del confine calabro-lucano. Possibili implicazioni sismotettoniche. Il Quaternario, in corso di stampa.
- Castelli V., Monachesi G. e Stucchi M., 1997. La sismicità maggiore dell'Appennino umbro-marchigiano. Rapporto tecnico, GNDT, Milano-Macerata, 140 pp.
- Castelli V., Monachesi G., Moroni A. e Stucchi M., 1996. I terremoti toscani dall'anno 1000 al 1980: schede sintetiche. Rapporto tecnico, GNDT, Macerata-Milano, 314 pp.
- Castelli V., 2001. Il terremoto del 30 settembre 1789 nell'area di Città di Castello: aggiornamento delle conoscenze alla luce dei risultati delle ultime ricerche. Rapporto tecnico, GNDT, 37 pp. (in progress).
- Galadini F., Meletti C., Vittori E., 2000. Stato delle conoscenze sulle faglie attive in Italia: elementi geologici di superficie. In: Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (eds.), 2000. Ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999). CNR-GNDT, Roma, pp. 107-136.
- Gasperini P., Bernardini F., Valensise G., Boschi E., 1999. Defining seismogenic sources from historical felt reports. Bull. Seism Soc. Am., 89, 94-110.
- Gruppo di Lavoro CPTI, 1999. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92 pp.
- Meletti C., Stucchi M., Galadini F., Leschiutta I. e Scandone P., 2000. Criteri e procedure per la compilazione di un inventario speditivo delle sorgenti potenziali di terremoti distruttivi, finalizzato alla compilazione di una nuova mappa delle zone sismogenetiche per l'area italiana. In: Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (eds.), 2000. Ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999). CNR-GNDT, Roma, pp. 379-397.
- Monachesi G. e Stucchi M., 1997. DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno. Rapporto tecnico, GNDT, Milano-Macerata, 1052 pp. + <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>
- Moroni A., 2001. I terremoti del 14 febbraio 1834, Alta Lunigiana, e dell'11 aprile 1837, Alpi Apuane: qualificazione degli studi disponibili e nuovi risultati. Rapporto tecnico INGV, Milano, 46 pp.

Task 1.3 Stima della deformazione sismica e geodetica

Responsabile G. Selvaggi, Centro Nazionale Terremoti, INGV Roma

L'obiettivo del task 1.3 è di stimare e confrontare la deformazione sismica e geodetica in Italia. L'importanza delle stime di deformazione risiede nella possibilità di inserire l'aspetto originale, almeno per l'Italia, di tali stime nel calcolo della pericolosità e non solo quindi negli aspetti puramente tettonofisici e per il modello sismotettonico. Inoltre, il confronto tra i campi di deformazione sismica e geodetica può mettere in evidenza aree a basso rilascio sismico rispetto alla deformazione geodetica, con una notevole ricaduta rispetto ai temi generali del progetto stesso. Il lavoro svolto e le indicazioni generali ottenute nel primo anno di lavoro verranno brevemente riassunte di seguito suddivise nei tre temi principali del task 1.3.

Deformazione sismica

L'obiettivo è quello di calcolare un campo di velocità a lungo termine, integrando un campo di deformazione ottenuto da momenti tensoriali di terremoti storici, da confrontare con il campo di velocità ottenuto dalla geodesia. Nel primo anno abbiamo lavorato principalmente sulla catena Appenninica, in quanto i dati storici sono sicuramente più completi e affidabili rispetto alla Sicilia orientale o alle Alpi orientali.

Il primo passo è stato quello di vedere, nell'intervallo che ci prefiggiamo di esplorare (700 anni), le caratteristiche generali del rilascio sismico. Usando le magnitudo dei terremoti storici maggiori (superiori a 6.2) del CFTI (Gasperini e Ferrari, 1995), è stato graficato il momento sismico scalare cumulato verificando che esso presenta un andamento lineare nella finestra temporale scelta. Il tasso di momento sismico scalare è di $4 \cdot 10^{24}$ dyne-cm/a, mentre il numero di eventi cumulato non presenta un andamento lineare ma si osservano almeno tre periodi differenti. Ciò potrebbe essere dovuto sia a interazione tra strutture adiacenti che a incompletezza del catalogo. Il rilascio di momento sismico totale è circa un ordine di grandezza superiore in Appennino centro-meridionale (circa $3 \cdot 10^{27}$ dyne-cm) rispetto all'Appennino settentrionale (circa $3 \cdot 10^{26}$ dyne-cm). La differenza è sostanziale, il rilascio di momento sismico di un solo forte terremoto dell'Appennino centro-meridionale tipo Irpinia 1980 equivale al rilascio di tutti i terremoti dal 1300 ad oggi dell'Appennino settentrionale (Umbria-Marche '97 compreso). La figura 1 e la tabella 1 riassumono i concetti suddetti. I valori di rilascio sismico e di tasso annuale sono sostanzialmente confrontabili con le stime effettuate dal catalogo NT4.1.

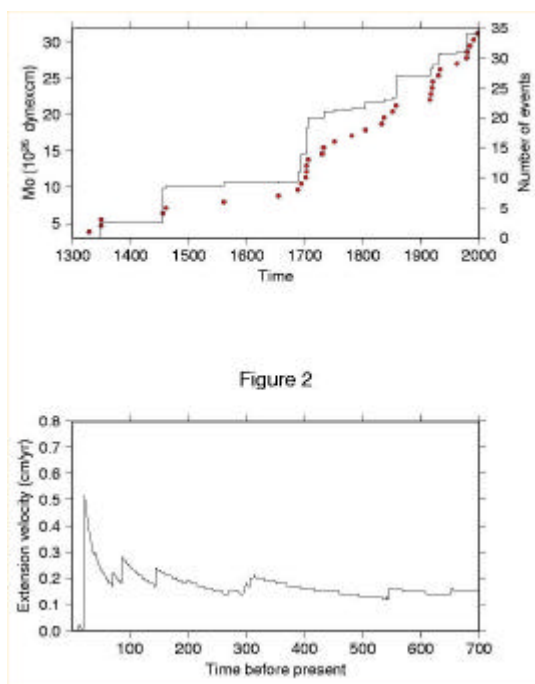


Figura 1 – Numero cumulato di eventi dal 1300 ad oggi (puntini pieni e scala a sinistra). La linea continua è il momento sismico scalare cumulato (scala a sinistra). Il tasso di momento sismico è pari a $4 \cdot 10^{24}$ dyne-cm/a.

Figura 2 – Tasso di estensione nel tempo. In circa 150-200 anni si raggiunge il valor medio a lungo termine con un residuo di decimi di millimetro.

E' stato inoltre calcolato il tasso di rilascio di momento sismico scalare dai dati strumentali della rete sismica nazionale, in quanto recenti lavori fanno vedere che essi possono contribuire per una importante percentuale nelle stime di deformazione. In Appennino centro-meridionale il tasso di momento sismico scalare dai dati delle rete nazionale è pari a circa $6.0 \cdot 10^{22}$ dyne-cm/a mentre è di $4.0 \cdot 10^{22}$ dyne-cm/a in Appennino settentrionale.

Si è quindi esplorato la finestra temporale caratteristica per raggiungere il valore medio a lungo termine del tasso di estensione perpendicolare alla catena (figura 2). In circa 150-200 anni si raggiunge il valor medio a lungo termine, pari a circa 1.8 mm/a, con residui inferiori al decimo di millimetro. Tale intervallo temporale è abbastanza stabile per finestre temporali mobili, mentre il calcolo del tasso di estensione per finestre temporali inferiori a 150 anni possono subire forti sovra o sottostime. In questi calcoli è stato anche considerato il contributo della microsismicità. Quindi, se 150-200 anni sono una finestra temporale sufficiente per ottenere delle stime di estensione dell'intero Appennino, ciò non assicura che una finestra temporale quattro volte più lunga, 700 anni, sia comunque sufficiente per trovare un campo di velocità rappresentativo della deformazione a lungo termine alla scala spaziale delle maggiori faglie. Ciò è maggiormente vero considerando che i tempi di ricorrenza delle faglie, in Italia come in altre aree continentali, è ben superiore ai 1000 anni. Questa, quindi, è una questione rilevante e di interesse generale negli studi di sismotettonica e vede la sua risposta nella considerazione che la finestra temporale necessaria per avere una stima affidabile del campo di velocità dipende da come i terremoti sono distribuiti nel tempo e dal numero di faglie presenti nell'area considerata e non dal valore di slip rate delle singole faglie, a meno che la deformazione non sia accomodata da una singola faglia.

Il lavoro è quindi proseguito nel calcolo del campo di deformazione e di velocità. Per far ciò, è stata associata una cinematica ai terremoti storici di magnitudo superiore a 6.2 avvenuti in Appennino negli ultimi 700 anni e di cui esiste una vasta letteratura, calcolando, in un grigliato regolare di triangoli di dimensioni paragonabili alle maggiori faglie appenniniche, il campo di deformazione medio attraverso la nota formula di Kostrov del 1974 (figura 3). Il campo di deformazione è input per un'inversione ai minimi quadrati per il calcolo del campo di velocità (dettagli sul metodo si possono trovare in England and Molnar, 1997). La soluzione rappresenta la velocità che devono avere i vertici dei triangoli per mantenere il tasso di deformazione medio dell'interno dei triangoli (figura 4). I residui, differenza tra la deformazione osservata e calcolata all'interno di ogni triangolo (figura 5), forniscono diverse indicazioni sulla bontà della soluzione e su aree in deficit di momento sismico rispetto ad aree contigue (figura 6). In ultimo sono state prodotte altre due soluzioni (non mostrate in questo resoconto) del campo di velocità considerando una finestra temporale di soli 350 anni, dal 1650 al 2000, e una dove sono state ridotte le incertezze negli strain rate. Le soluzioni non sono molto dissimili fra loro. L'aspetto più interessante della soluzione con incertezze ridotte è che le velocità sono molto consistenti tra triangoli adiacenti con piccole variazioni lungo la catena, a scapito però di un fit meno buono sugli strain rates di input.

Problemi aperti

- Il problema maggiore è nella stima della magnitudo momento. Nel prossimo anno si cercherà di avere nuove stime di magnitudo momento per terremoti storici calibrando regressioni dirette tra il campo macrosismico e il momento sismico, senza passare dalla M_s .
- Incertezze nella cinematica associata ai forti terremoti storici. Si tratta di esplorare in base a test mirati, l'influenza delle incertezze nel calcolo del campo di deformazione. In questo primo anno sono state assunte delle incertezze standard per ogni terremoto.

Figure 3

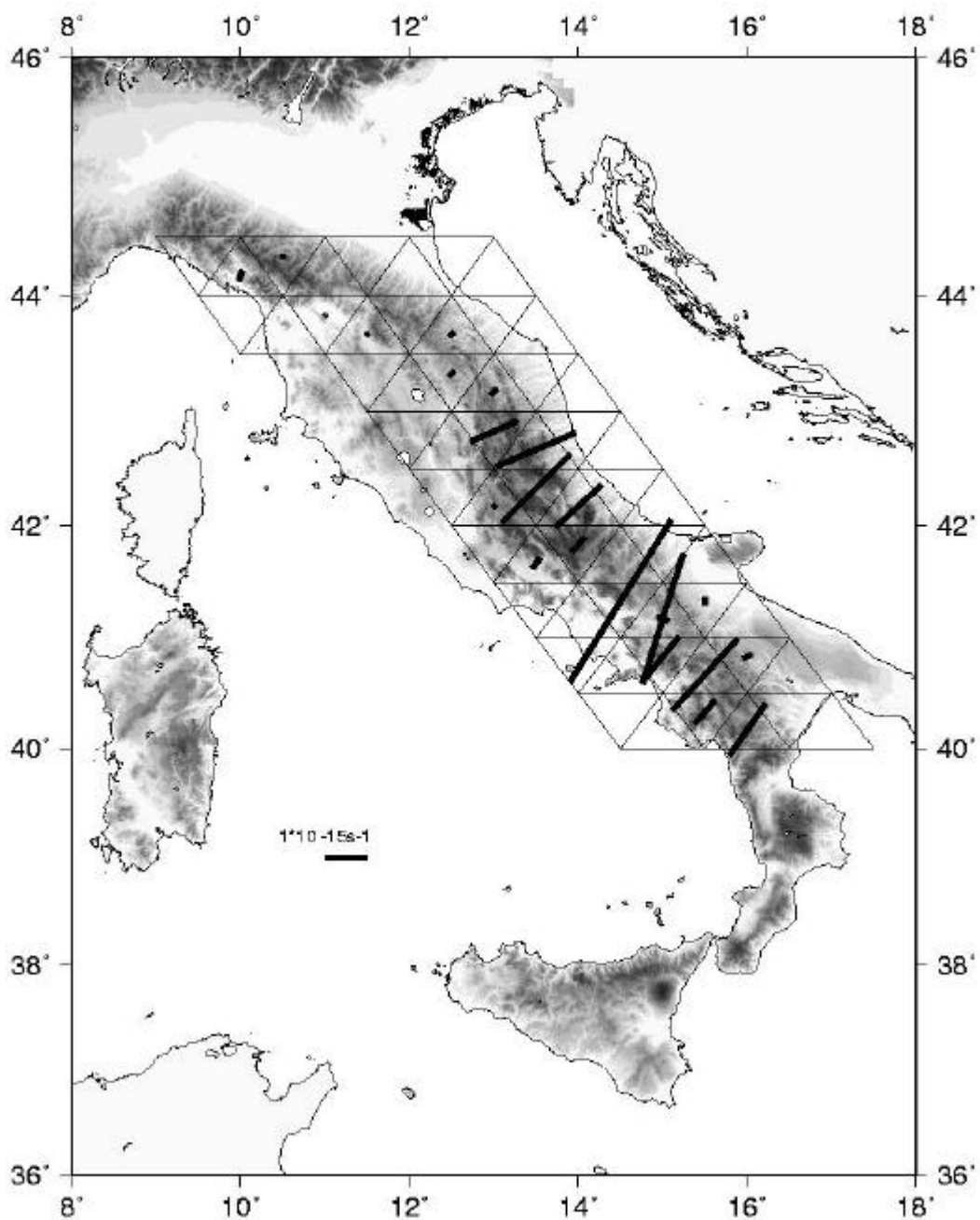


Figura 3 - Mappa del tasso di estensione in Appennino calcolato dai momenti tensori associati ai forti terremoti storici. Le barre nere rappresentano la direzione e il valore del asse principale minimo (estensione) del tensore di deformazione.

Figure 4

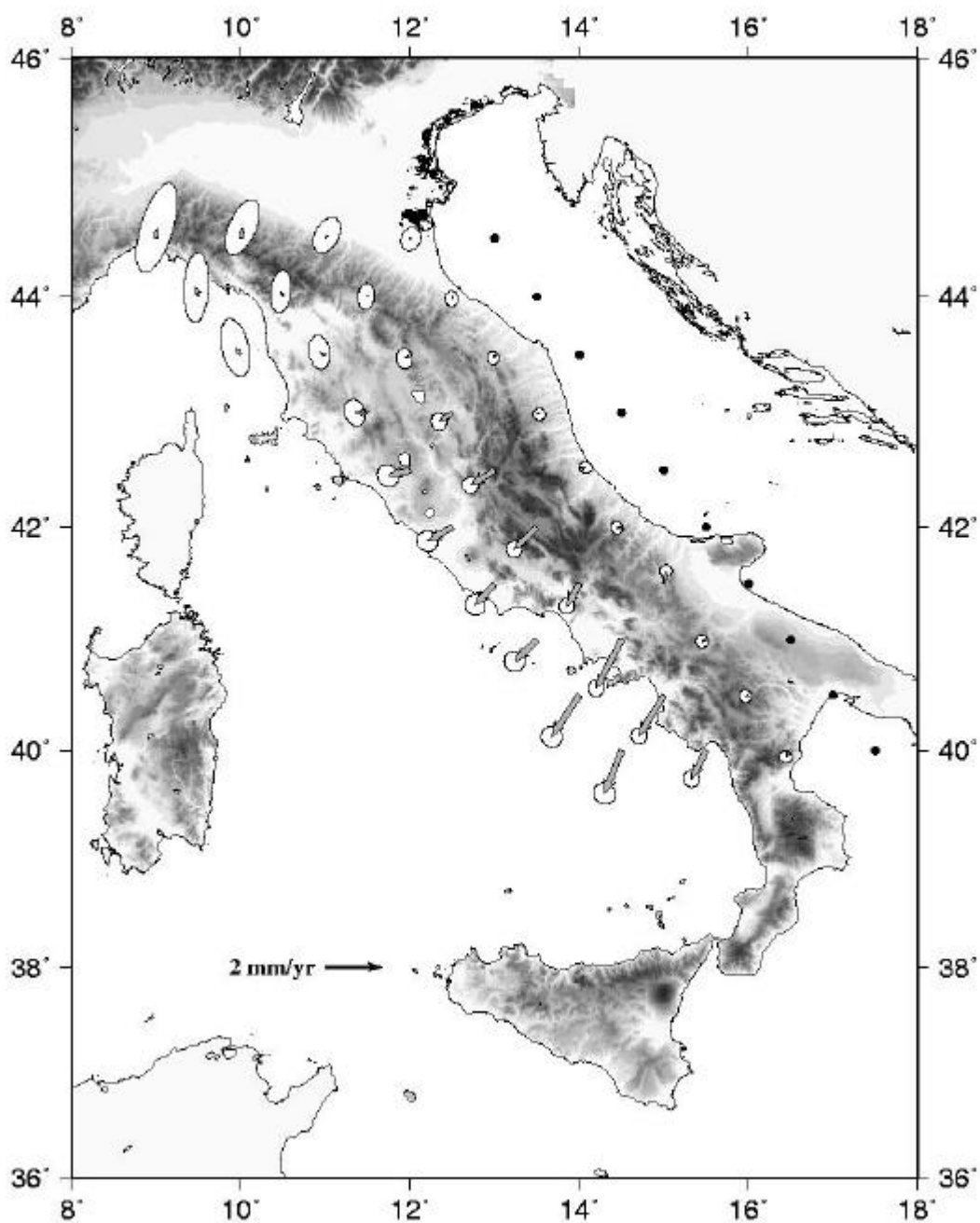


Figura 4 – Campo di velocità derivato dal campo di deformazione di figura 3. La soluzione è rispetto a all'Adriatico dove sono è stata imposta una linea di vertici indeformata e non ruotata come *constraint* a priori.

Figure 5

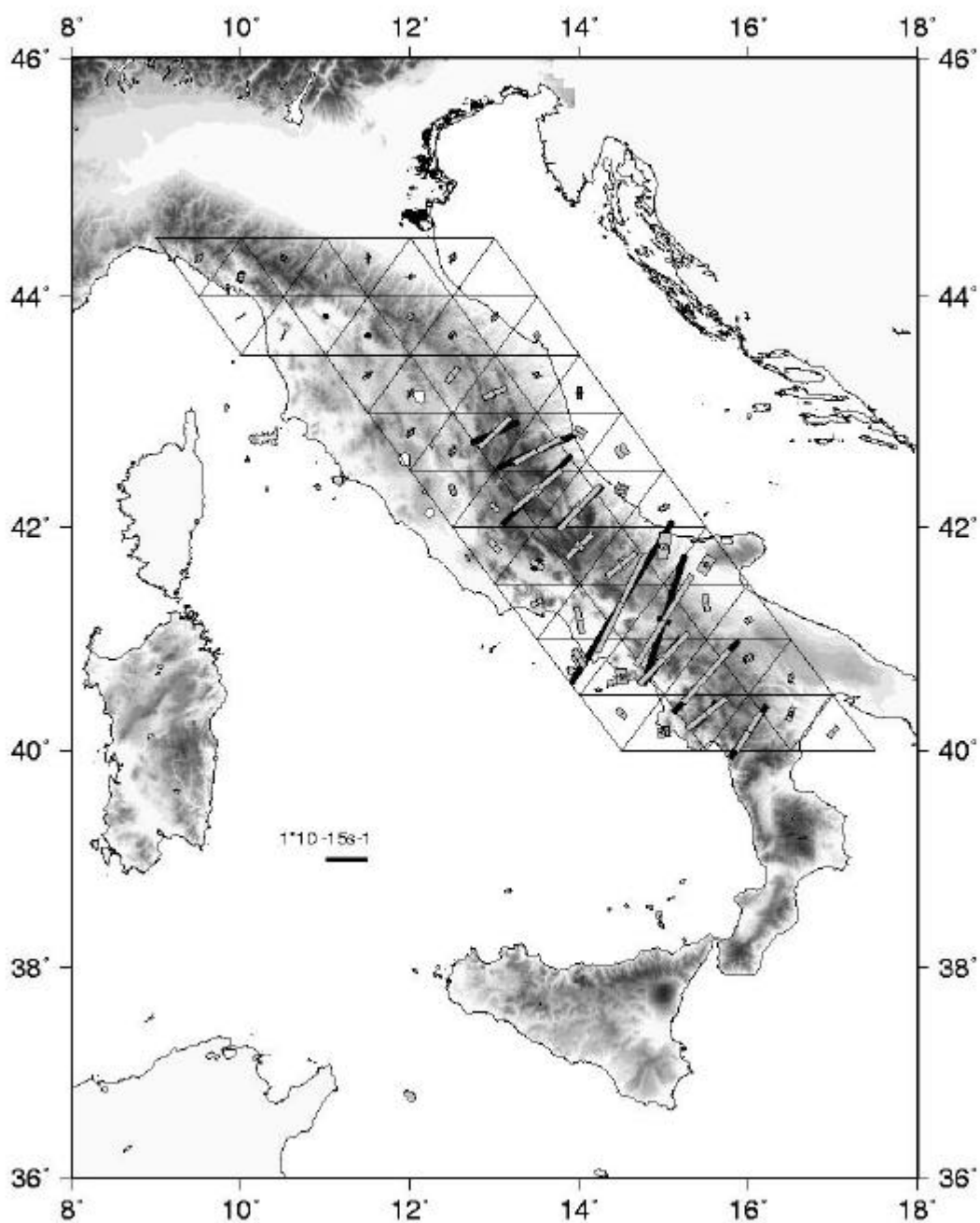


Figura 5 – Confronto tra lo *strain* osservato di figura 3 (barre nere) e lo *strain* calcolato dal campo di velocità di figura 4 (barre grigie). Il *fit* è abbastanza buono per molti triangoli, anche se sovra o sottostime dello *strain* di input sono osservate in alcuni triangoli.

Figure 6

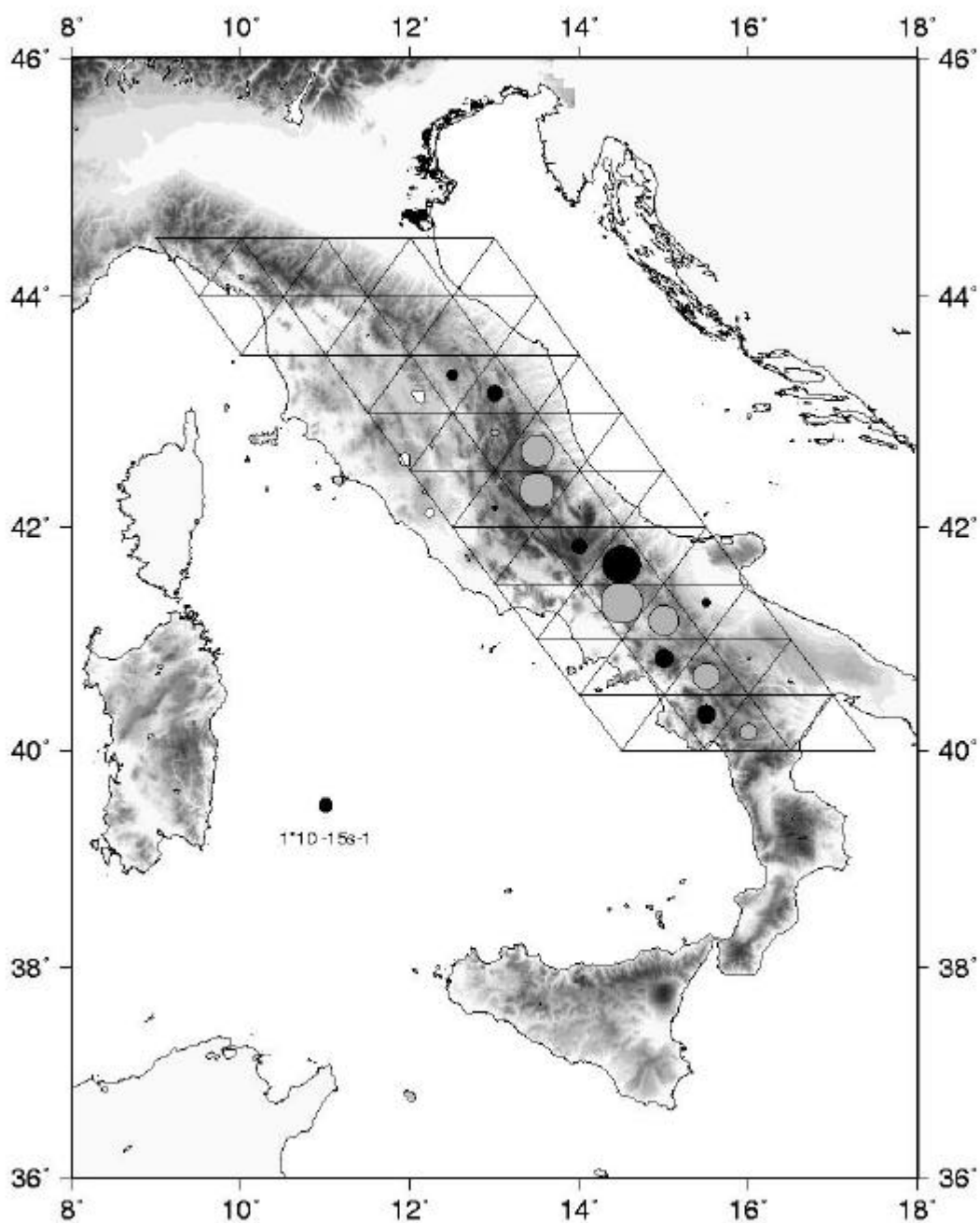


Figura 6 – Distribuzione dei residui maggiori. Cerchi neri indicano valori negativi dei residui, quindi sottostime dello *strain* osservato (il residuo è definito come la differenza tra lo *strain* osservato e quello calcolato), cerchi grigi sovrastime dello *strain*.

Deformazione geodetica

Deformazione geodetica orizzontale

La deformazione geodetica orizzontale viene stimata dal confronto tra le coordinate ricompensate della rete di triangolazione del I ordine, istituita dopo l'unità d'Italia, e le coordinate ottenute dalla rioccupazione dei vertici ancora esistenti. Alcuni di questi vertici sono stati rioccupati tra 1992 e il 1998 dall'IGM con strumenti geodetici, permettendo una prima stima della deformazione geodetica.

Il lavoro nel primo anno di progetto ha previsto i seguenti passi:

- Completamento del *dataset* dell'intera rete di triangolazione del 1880 con acquisizione presso l'IGM dei dati angolari di più di 200 vertici.
- Studio della storia dei singoli vertici della rete di triangolazione per verificare quali sono rimasti invariati dal 1880 ad oggi.
- Definizione della rete da rioccupare. 103 vertici della rete del 1880 sono rimasti invariati nel tempo e formano la rete che intendiamo rioccupare nel secondo anno di progetto (figura 7). Di questi 56 sono stati rioccupati dall'IGM tra il 1992 e il 1998, mentre i restanti 47 sono stati abbandonati perché difficili da raggiungere. La rete ha una buona scala per l'obiettivo proposto sia in Appennino che in Sicilia Orientale, mentre nelle Alpi orientali esistono problemi di raggiungibilità dei vertici e in Calabria sono stati distrutti quasi tutti i vertici della rete di primo ordine.

Figure 7

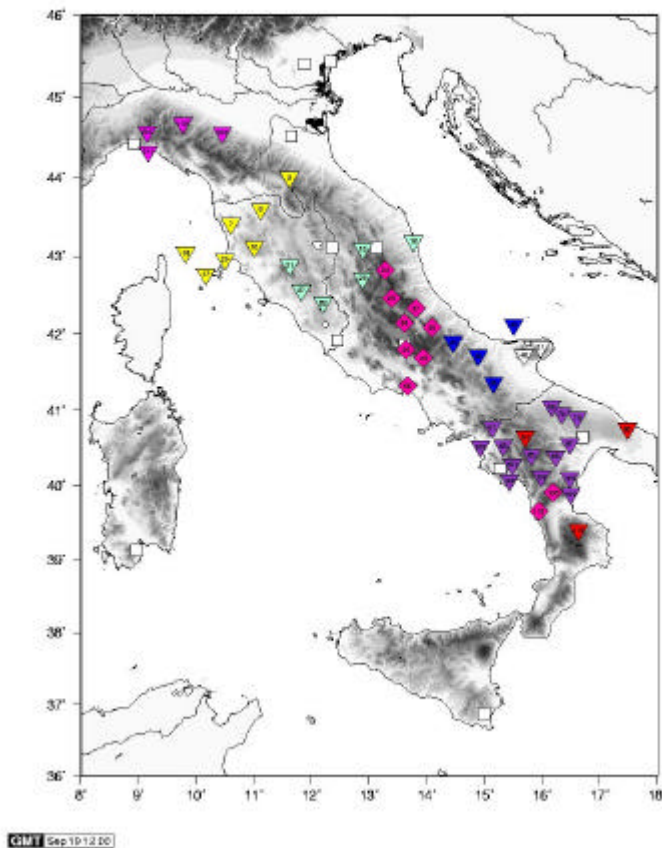


Figura 7 – Vertici della rete di triangolazione del I ordine ancora esistenti e che saranno rioccupati nell'Ottobre 2001.

- Compensazione della rete di triangolazione e calcolo delle coordinate in WGS84 e stima degli errori. I residui della compensazione sono mediamente compresi tra 0.6 e 0.8 secondi di arco, che è quanto aspettato.
- Acquisizione delle monografie relative ai vertici coincidenti con la rete storica rioccupati dall'IGM, confronto di coordinate e stima del campo di deformazione tramite γ . Questo primo campo di deformazione mostra che in Appennino meridionale esiste un chiaro segnale tettonico, mentre in Appennino settentrionale i risultati sono meno consistenti.
- Controlli di campagna per verificare lo stato di conservazione dei vertici da rioccupare nel corso del progetto. Sono stati controllati 46 vertici lungo la penisola, alcuni anche più volte, e solo pochi vertici non sono rioccupabili. Realizzazione di un archivio fotografico di ogni vertice controllato.
- Nel mese di Luglio 2001 abbiamo effettuato una prima campagna geodetica di rioccupazione in Appennino meridionale misurando 17 vertici della rete dell'1880. I dati di questa campagna sono attualmente in elaborazione.

Indicazioni generali

- Il calcolo del campo di velocità è dipendente dall'assunzione di stabilità nel tempo tra le due osservazioni (1880-1995) di una base usata per compensare la rete storica a partire dalle coordinate IGM95 di due vertici. Se i vertici della base hanno subito uno spostamento dovuto a tettonica o a propria instabilità, l'assunzione della sua invariabilità nel tempo si rifletterà nel calcolo del campo di spostamento come una o più rotazioni interne alla rete. Queste rotazioni, altresì, non influiscono γ e diversi test effettuati dimostrano proprio tale invarianza.
- Il confronto con IGM95 mostra che in alcuni settori della catena esiste un chiaro segnale tettonico e che quindi la rioccupazione prevista dal progetto è proponibile sia per migliorare le incertezze legate alle coordinate di IGM95 che per infittire la rete.
- Il γ_1 , se interamente interpretato come estensione attraverso la catena, mostra, a meno di un fattore non risolvibile dalle osservazioni angolari (dilatazione), un tasso di estensione in Appennino centro-meridionale compreso tra i 3 e 5 mm/a, consistente con recenti stime. Anche la compressione esternamente alla catena sembra essere un segnale tettonico ben risolto. Il γ_2 mostra invece valori decisamente più bassi del γ_1 , tranne che nel Gargano.

Problemi aperti

- Il problema principale è nella scala delle osservazioni nelle Alpi orientali e in Calabria.
- Interpretazione non immediata se in termini di γ ed inoltre bisogna fare delle assunzioni sullo strain. Si spera di poter comunque avere una soluzione in termini di campo di velocità. Se il problema delle rotazioni fosse interamente dovuto alla compensazione di IGM95, dove le osservazioni interessano diversi anni di misure, la nuova occupazione proposta potrebbe risolvere il problema.

Deformazione geodetica verticale

Le stime della deformazione geodetica verticale sono effettuate tramite l'analisi dei dati altimetrici della rete di livellazione fondamentale dell'IGM e delle sue successive rimisurazioni. Gli intervalli temporali delle

diverse linee sono variabili ma comunque compresi tra i 20 e i 100 anni. Il lavoro svolto nel primo anno di progetto ha previsto i seguenti passi:

- Informatizzazione dei dati altimetrici già disponibili all'INGV e creazione di un database delle osservazioni. Abbiamo a disposizione i dati relativi a 40 linee per le quali esiste una doppia campagna di misura (figura 8)



Figura 8 – Distribuzione delle linee di livellazione della rete fondamentale per cui disponiamo dei dati di almeno due campagne.

- Scelta del metodo di analisi e stima degli errori contenuti nei dati. Il metodo da noi utilizzato nella stima delle variazioni di quota rilevate dal confronto tra diverse campagne di misura è assumere una quota di riferimento comune per le due campagne. Ciò si traduce in variazioni di quota relative e non assolute. In sostanza possiamo calcolare la deformazione contenuta nelle variazioni di quota ma non se le variazioni di quota rappresentano settori in sollevamento o in abbassamento assoluto. Tale metodo è in realtà imposto dalla natura dei dati stessi.

- Nel primo anno sono state analizzate cinque linee di livellazione, tre delle quali attraversano la catena Appenninica settentrionale. I risultati mostrano variazioni di quota significative in due dei tre transetti attraverso la catena con tassi di sollevamento relativo di circa 0.5-0.8 mm/a. Questi sollevamenti relativi sono concentrati per lo più esternamente allo spartiacque Appenninico. Tali linee sono state interpretate anche in termini di deformazione.

- Sono state effettuate alcune missioni presso l'archivio storico dell'IGM per completare i dati delle linee già disponibili, implementando in modo considerevole la densità di capisaldi per singola linea.

Problemi aperti

Il problema principale rimane la copertura delle linee di livellazione in Appennino centro-meridionale, mentre nelle Alpi orientali si spera comunque di poter analizzare delle linee di cui ancora non disponiamo i dati altimetrici.

Un secondo problema è il contributo di tali stime al calcolo della pericolosità sismica, ferma restando l'importanza di quantificare lo strain in Italia.

Deformazione geologica

L'obiettivo del primo anno di progetto è quello della catalogazione degli slip rates delle faglie attive. In questo senso, si fa riferimento al “catalogo delle potenziali sorgenti sismogenetiche” recentemente pubblicato dall'INGV. Inoltre, è iniziato il confronto tra gli slip rates contenuti nel suddetto catalogo con gli slip rates recentemente pubblicati dal GNDT e più in generale con i valori noti dalla letteratura.

Sono state, quindi, definite le aree dove saranno effettuate le datazioni con i metodi cosmogenici. In particolare, le superfici che si intende datare sono quelle di Irsina e alcune superfici in Appennino settentrionale lungo il versante adriatico. Altre superfici di interesse saranno comunque datate con metodi classici come il Carbonio 14.

Tabella 1

Tasso di Mo su 700 anni	$4 \cdot 10^{24}$ dyne-cm/a
Mo totale App. Settentrionale in 700 anni	$3 \cdot 10^{26}$ dyne-cm
Mo totale App. Centro-meridionale in 700 anni	$3 \cdot 10^{27}$ dyne-cm
Tasso Mo App. Settentrionale (strumentale)	$4 \cdot 10^{22}$ dyne-cm/a
Tasso Mo App. Centro-meridionale (strumentale)	$6 \cdot 10^{22}$ dyne-cm/a
Tasso di estensione medio in App. in 700 anni	1.8 mm/a