

Gruppo di Lavoro 2: SISMICITA' RECENTE IN ITALIA

Task 2.1 Catalogo parametrico dei terremoti 1980-99

Responsabile R. Di Giovambattista, Centro Nazionale Terremoti, INGV, Roma

Il task 2.1 prevede la prosecuzione del lavoro avviato nell'ambito di un Progetto Esecutivo 1998 del GNNT che ha portato alla realizzazione di un catalogo strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 1996 reso disponibile nel giugno 2001 con circa un anno di ritardo rispetto alla formale conclusione del progetto GNNT98. Il ritardo con cui è stato concluso il precedente lavoro ha comportato una revisione della programmazione inizialmente preventivata.

Valutazione dei dati presenti nell'attuale catalogo strumentale GNNT81-96 e degli ulteriori dati disponibili

Per valutare la presenza delle reti locali nel DB GNNT 81-96 è stata effettuata un'analisi quantitativa - statistica mirata all'identificazione del contributo delle singole reti. I risultati sono riportati nella tabella seguente:

SISMICITA' STRUMENTALE 1981-1996 INTEGRAZIONE DATI RESE SISMICA NAZIONALE -RETI LOCALI																	
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	TOTALI
ING	2027	1445	10905	21931	24130	25698	27751	33071	34474	41353	30145	30660	37377	40473	49559	48717	459716
GENOVA	147	1365	2453	2643	5291	7246	6376	4620	6524	6777	6361	6892	15317	10701	10894	10546	104153
TRIESTE	3897	5970	5371	6617	5592	4894	4564	5420	2502	2109	1423	1098	2181	1964	3319	4918	61839
MARCHE	1404	507	657	1823	2080	805	2166	3137	2432	4005	3755	4543	2042	1101	296	5135	35887
RAC												378	156	364	311	704	1913
RESIL																2090	2090
DATI TOT	9002	10786	22861	37956	45905	49143	51616	59174	59936	74671	58407	59016	73117	69611	74642	76122	831965
%LOCALI	63	79	44	32	33	34	31	30	31	30	31	29	35	28	26	34	
%ING	22	13	47	58	52	52	54	56	57	55	52	52	51	58	66	63	

La distribuzione territoriale delle reti presenti nel Database GNDT 81-96 che costituisce la attuale base di dati per le successive integrazioni è riportata nella figura seguente:

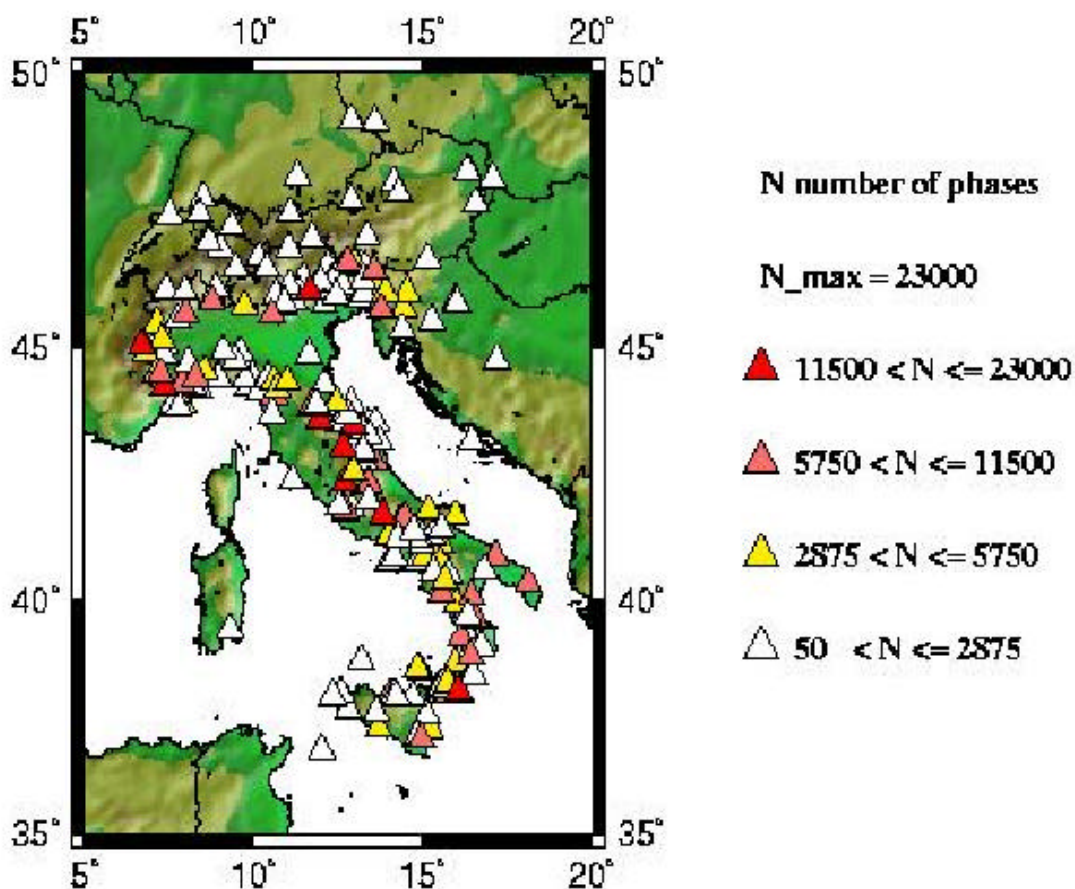


Figura 1 - Distribuzione delle stazioni sismiche del catalogo 1981-1996 (GNDT, Augliera et al., 2001), divise per numero di dati registrati.

Sono stati avviati contatti con Enti Locali e Pubbliche Amministrazioni che hanno gestito Reti Sismiche con continuità nel tempo e che presentano caratteristiche di omogeneità dal punto di vista strumentale con i dati sinora integrati nel catalogo strumentale. A seguito dei contatti avviati con il Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento sono stati ottenuti i dati di circa 277 eventi registrati dalla Rete Sismica del Trentino Alto-Adige dal 1982 ad oggi. I dati registrati da tale Rete sono stati integrati in modo non sistematico nell'attuale DB GNDT 81-96 in quanto presenti nella base di dati fornita dall'OGS.. Nella figura seguente sono riportate le stazioni del Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento

Valutazione dei parametri mancanti dal DB attuale

Durante la precedente esperienza di integrazione dei dati condotta nel progetto GNDT98 è emerso il problema della mancanza di alcuni parametri sismometrici fondamentali per la stima della magnitudo di molti eventi sismici registrati da reti locali per i quali mancano sia l'informazione riguardante la durata della registrazione per una eventuale stima della Md che le informazioni necessarie per la stima di una Ml. Al fine di valutare l'omogeneità e la completezza del Catalogo strumentale GNDT, sono stati selezionati i soli eventi per i quali si ha l'informazione riguardante la magnitudo e ad essi sono state applicate le tecniche proposte da Habermann (Habermann, R.

E.,1987: Man-made changes in seismicity rates.BSSA, 76:141-159). I risultati preliminari sin qui ottenuti hanno permesso di verificare che il catalogo strumentale risulta omogeneo e completo per magnitudo maggiori di 2.4.

Al fine di abbassare la soglia di completezza si sta tentando di recuperare l'informazione riguardante la magnitudo degli eventi che ne risultano sprovvisti.

Integrazione dei dati delle reti locali non incluse nel DB GdL GNDT

Ricevuti i dati della rete gestita dalla Provincia Autonoma di Trento si sta verificando che le sigle adottate non siano già state assegnate ad altre stazioni presenti nel Database.

Parallelamente si sta proseguendo con l'operazione di integrazione dei dati già resi disponibili dai partecipanti al progetto per l'estensione temporale dal 1996 al 2001.

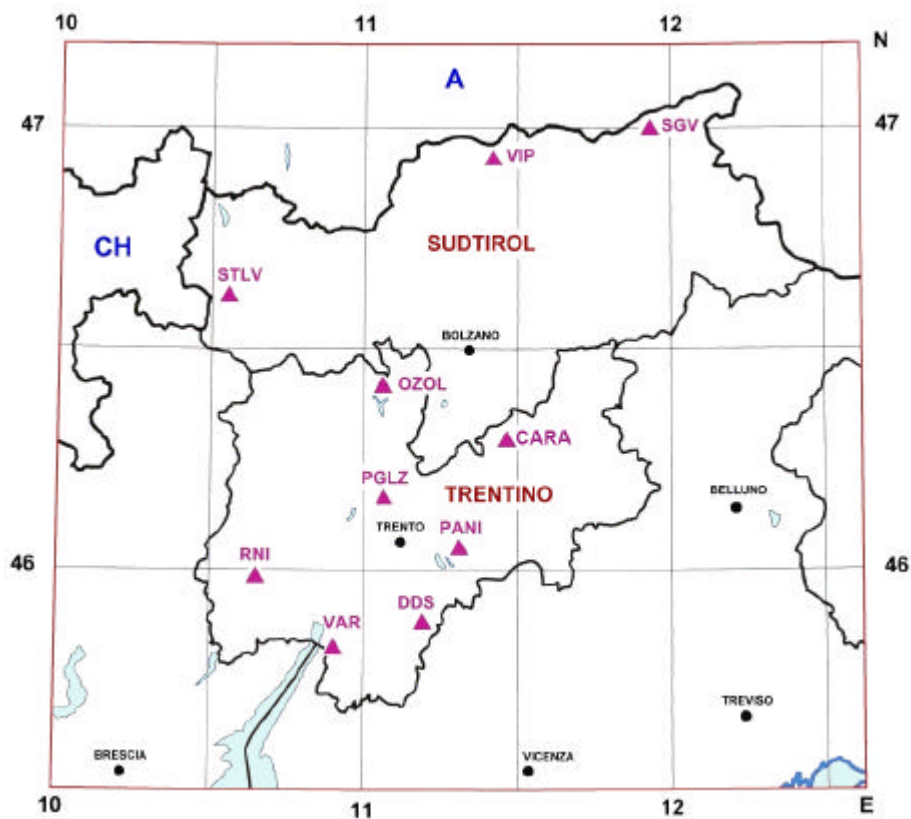


Figura 2 - La Rete del Trentino Alto-Adige gestita dal Servizio Geologico della Provincia autonoma di Trento.

Inoltre si stanno realizzando le procedure per includere i dati delle reti dell'Osservatorio Vesuviano, delle reti siciliane gestite dall'ex-Istituto Internazionale di Vulcanologia e del Sistema Poseidon. Un lavoro più laborioso richiederà l'inclusione dei dati delle reti ERGA (ex-ENEL geotermica) di Larderello, Monte Amiata e Monti Vulsini-Latera. A seguito di alcune riunioni con i ricercatori e tecnici dell'ERGA, si sta concretizzando una collaborazione per la rilettura con tecniche miste di *picking* automatico con controllo visivo, delle numerose forme d'onda digitali archiviate da ERGA per i terremoti "regionali" (ossia fuori dalle tre reti), che non vengono interpretati di routine. Programmiamo di includere queste analisi nelle procedure descritte nel Task 2.3, relative alle forme d'onda della Rete Sismica Nazionale.

L'unità di ricerca (UR 5) del GNDT-INGV presso l'Università di Genova (Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse - DIPTERIS) per il Task 2.1 ha effettuato l'aggiornamento del *dataset* dei tempi d'arrivo dell'Italia Nord-Occidentale per gli eventi avvenuti tra il 1997 ed il 2000. In particolare, per quanto concerne il 1999 si è integrato il data set della Rete Sismica dell'Italia Nord-Occidentale (Rete IGG, gestita dal DIPTERIS, Settore di Geofisica) con i tempi d'arrivo registrati dalla rete nazionale svizzera (ETH) e dalle reti regionali francesi.

Task 2.2 Modelli crostali 2-D e 3-D nell'area italiana da dati di sismica attiva **Responsabile G. Biella, CNR Milano**

L'attività svolta dall'UR2 durante il primo anno è consistita fondamentalmente nell'ottimizzazione degli strumenti che saranno utilizzati per lo sviluppo delle fasi successive del progetto. In particolare sono stati implementati gli algoritmi che verranno utilizzati per:

- il picking dei tempi associati alle fasi P primarie e secondarie relative ai dati di sismica attiva registrati in Italia dal 1968 ad oggi;
- il calcolo dell'incertezza associata ai tempi delle fasi identificate;
- la costruzione dei modelli iniziali di velocità;
- la modellizzazione 2-D;
- la modellizzazione 3-D.

È stato inoltre realizzato, utilizzando il data base Microsoft Access, il sistema di archiviazione dei dati ottenuti dal picking dei tempi delle fasi e un pacchetto software, implementato in ambiente Matlab, che mette in relazione le matrici contenenti i dati e il data base e ne consente il trasferimento.

Il criterio scelto per l'individuazione dell'istante iniziale delle fasi, osservate sulle sezioni sismiche mediante un'analisi preliminare, si basa sull'utilizzo della trasformata di Hilbert del segnale, che rappresenta l'involuppo del treno d'onde associato alla fase sismica analizzata e di una funzione caratteristica (Allen, 1978) che consente di esaltare le variazioni del segnale sia in termini di ampiezza, sia in termini di frequenza. Il tempo di *onset* di ciascuna fase viene calcolato come media dei picking effettuati indipendentemente sulla trasformata di Hilbert, sulla funzione caratteristica e sul segnale stesso.

Allo scopo di attribuire il giusto peso all'informazione sperimentale nella successiva fase di modellazione, si è ritenuto necessario implementare una procedura che permettesse di valutare l'incertezza da assegnare ad ogni arrivo di fase. Lo stimatore dell'incertezza, che è stato realizzato, tiene conto della differenza tra il picking effettuato sulla traccia sperimentale e il picking effettuato sulla trasformata di Hilbert del segnale.

Al fine di determinare l'affidabilità dei metodi di valutazione dei tempi di arrivo e dell'errore, sono stati realizzati dei test su sismogrammi sintetici opportunamente perturbati con diversi livelli di rumore. I risultati dei test, hanno indicato che il tempo di *onset*, calcolato come detto in precedenza, nelle diverse condizioni di rapporto segnale/rumore differisce in media di circa 0.05 s da quello teorico, individuato sulla traccia non perturbata, e che comunque quest'ultimo si trova, nel 95% dei casi, all'interno della barra di errore. Inoltre, come è prevedibile, l'incertezza connessa al tempo di arrivo della fase sismica, generalmente aumenta al diminuire del rapporto segnale/rumore. Nella figura 1 si può osservare il risultato ottenuto per un gruppo di forme d'onda perturbate con uno dei livelli di rumore generati.

Sulla base dell'analisi delle dromocrone sperimentali individuate in seguito al picking dei primi arrivi vengono costruiti i modelli monodimensionali iniziali relativi a ciascuna linea sismica. Il metodo utilizzato è quello del tempo intercetta.

I modelli iniziali sono quindi trasformati in semplici modelli bidimensionali ed invertiti con la tecnica iterativa DLSQR (Zelt and Smith, 1992) che ottimizza contemporaneamente i nodi di

velocità e di interfaccia in modo da ottenere un accordo tra dati osservati e dati calcolati. La stima di ogni parametro permette di aumentare progressivamente il numero dei nodi e quindi la complessità del modello tenendo in considerazione il valore dell'RMS.

I modelli 2-D vengono quindi interpolati con B-splines bicubici mediante l'uso di un algoritmo di smoothing (Klimeš, 2000) che crea modelli appropriati per l'uso di tecniche di ray-tracing. Per la determinazione della propagazione delle onde sismiche attraverso strutture tridimensionali eterogenee verrà usato un programma, implementato su piattaforma SUN e LINUX, basato sul metodo di Cerveny et. al. (1988). L'ottimizzazione del modello 3-D finale verrà effettuata mediante un algoritmo di inversione, sviluppato insieme al gruppo di Geofisica della Facoltà di Matematica e Fisica della Charles University di Praga, che minimizza la norma di Sobolev, nello spazio H^2 , delle funzioni che rappresentano i parametri di modello (nodi di interfaccia e di velocità). Tale procedura dovrà essere verificata mediante l'utilizzo di dati sintetici.

Oltre gli aspetti già discussi, che essenzialmente si riferiscono all'ottimizzazione delle metodologie da utilizzare, si è iniziato il picking dei primi arrivi e la modellazione di alcune linee sismiche. In particolare sono già stati analizzati i dati DSS-WARR acquisiti nell'Appennino Centro Settentrionale nell'ambito dell'esperimento CROP-03 e di un profilo effettuato dal Gruppo Grandi Profili (Toscana '78).

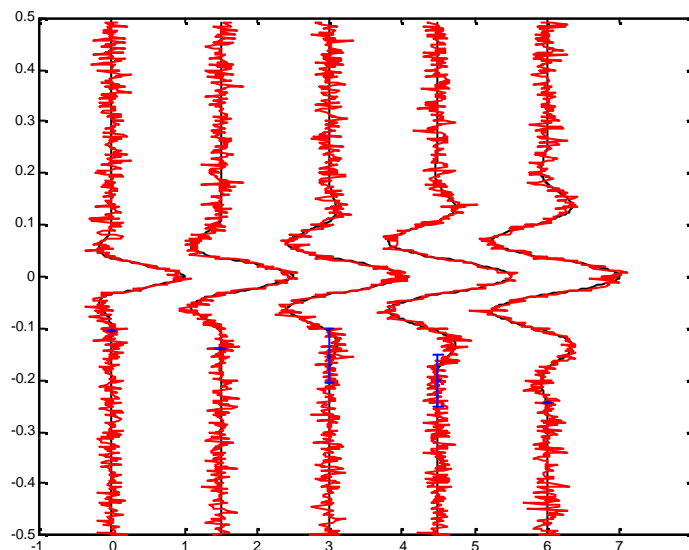


Fig. 1 - Risultato del test effettuato su un gruppo di cinque forme d'onda sintetiche (tratto nero) perturbate con un rumore di una certa ampiezza (tratto rosso). Il punto blu indica il valore del picking riportato con la barra di errore.

Bibliografia

- Allen R. V. (1978) - Automatic earthquake recognition and timing from single traces. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 68, 1521-1532
- Cerveny, V., Klimeš, L., and Pšencík, I. (1988) - Complete seismic ray-tracing in three-dimensional structures. In: Doornbos, D.J. ed., *Seismological Algorithms*, 89-168, Academic Press, N.Y.
- Klimeš, L. (2000) - Smoothing the Marmousi model for Gaussian packet migration: *Seismic Waves in Complex 3-D Structures*, Report 10, 63-74.
- Zelt C. A., and Smith R. B. (1992) - Seismic travelttime inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophys. J. Int.*, 108, 16-34.

Task 2.3 Modelli tridimensionali di velocità e attenuazione

Responsabile C. Chiarabba, Centro Nazionale Terremoti, INGV Roma

Obiettivo del Task: definizione di un modello di velocità delle onde sismiche di alta risoluzione per la crosta terrestre nell'area italiana, sulla base di un *dataset* integrato e di elevata qualità

Obiettivi del primo anno:

Creazione di un database di forma d'onda *easy-to-access* e di alta qualità, a partire dal database della RSNC INGV

Realizzazione di modelli di velocità tridimensionali preliminari per la regione italiana.

Durante il primo anno del progetto e' stato leggermente modificato l'approccio di studio proposto in origine al fine di migliorare la definizione e la risoluzione delle immagini tomografiche crostali. Un aumento della qualità delle letture e una procedura omogenea di pesatura in funzione degli errori di lettura e delle caratteristiche del segnale porta ad una capacità risolutiva maggiore nella definizione delle strutture crostali rispetto a quella ottenuta nei precedenti studi (Di Stefano et al., 1999). Data set provenienti da diversi bollettini sismici soffrono di una intrinseca mancanza di omogeneità e di un errore nei dati tali da poter inibire la definizione di dettagli della struttura. Pertanto l'attività si e' concentrata nella implementazione di una procedura di rianalisi delle forme d'onda dei data base sismici italiani, wave processing e re-picking dei segnali descritta in seguito. L'obiettivo e' quello di migliorare e omogeneizzare con criteri unici e oggettivi la qualità dei tempi di arrivo delle fasi P del catalogo italiano a partire dal 1989.

Creazione di un database di forme d'onda digitali

L'area italiana in termini di monitoraggio sismico è coperta da una Rete Sismica Nazionale Centralizzata (RSNC, Fig. 1), facente capo alla sede di Roma del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV, per la quale sono disponibili dati digitalizzati a partire dal 1988. Le suddetta rete è integrata sul territorio nazionale da una serie di reti gestite da altri istituti o da altre sezioni dell'INGV e da reti sismiche locali temporali, come nel caso di sequenze sismiche.

La prima parte di questo progetto è stata finalizzata alla collezione e riqualificazione di ciascuno di questi dataset di eventi locali e regionali e alla loro integrazione, con particolare attenzione al database INGV che rappresenta il primo passo e il più importante.

Per quanto riguarda la RSNC il problema è stato affrontato in tre fasi successive e interdipendenti.

- Fase 1: analisi statistica di 33940 eventi che ne ha consentito la suddivisione in 5 classi di "qualità" che saranno poi riferimento per la successiva integrazione e per la fase di inversione tomografica; le classi da 1 a 3 (fig. 2) rappresentano 11354 eventi, dei 33940, che hanno almeno 8 fasi P registrate alla RSNC. Tali eventi sono stati considerati di maggiore qualità rispetto agli altri per la maggiore stabilità ipotizzabile in fase di rilocalizzazione e per la maggiore copertura di raggi assicurata nell'inversione tomografica.

In questo senso, la classe 1 comprende 1600 eventi con più di 8 fasi P registrate a stazioni distanti meno di 100 km (stazioni vicine) mentre gli eventi di classe 2 hanno sempre più di 8 stazioni ma un numero compreso fra 4 e 7 sono quelle vicine; di classe 3 sono i 3800 eventi con meno di 4 stazioni vicine ma con un numero maggiore di 8 complessivo.

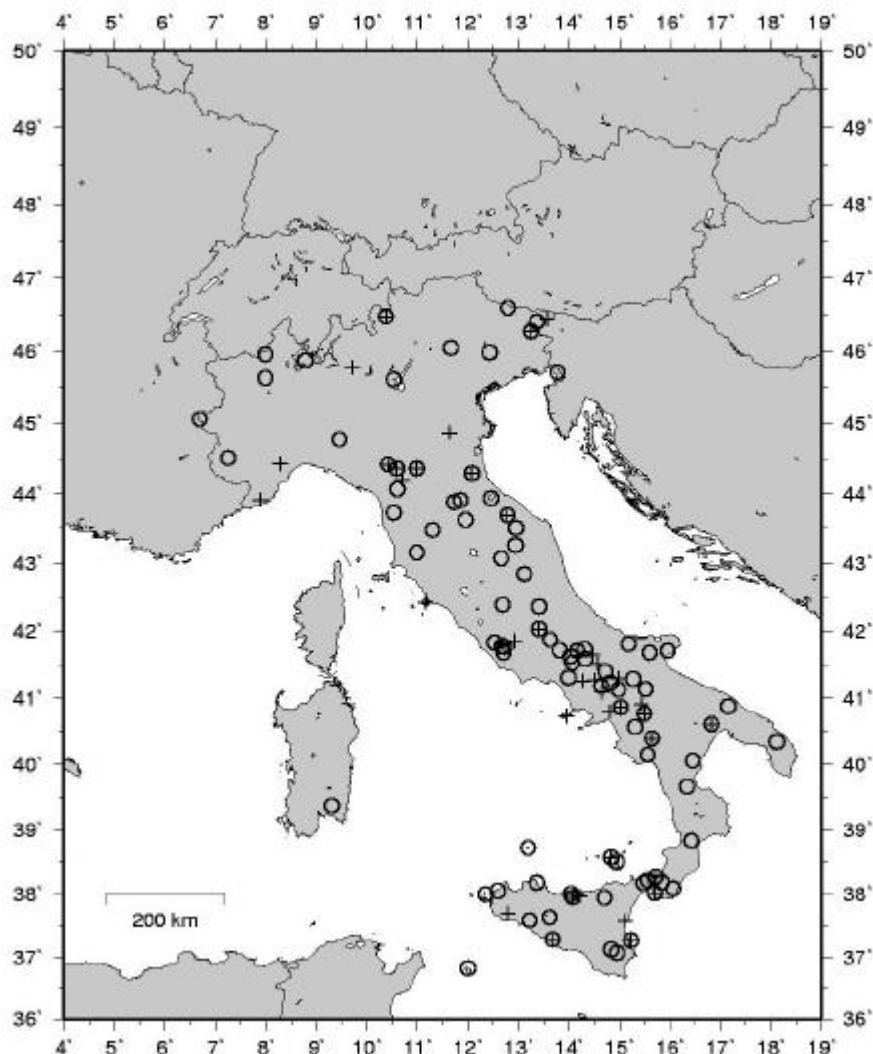


Fig. 1 - Rete nazionale italiana RSNC; le stazioni indicate con i cerchi sono le stazioni attive al 2001, quelle indicate con croce e cerchio hanno cambiato codice mentre quelle indicate con la sola croce sono state attive per un sottoperiodo fra il 1988 e il 2001 ma sono attualmente inattive.

Di classe 4 infine sono gli 11800 eventi con meno di 8 fasi P di cui più di 4 sono di stazioni vicine. La quinta classe invece comprende tutti i restanti eventi con poche stazioni e in prevalenza lontane. Il principio di qualità impone di utilizzare per la fase di rilocalizzazione e inversione tomografica solo gli eventi di classe 1-3.

- Fase 2: Il duplice scopo è stato quello di aumentare la qualità e il numero di picking (solo una parte rivisti in origine da personale specializzato) e di spostare il maggior numero possibile di eventi verso le classi superiori, attraverso un sistema combinato di estrazione diretta dal database di forme d'onda (INGNET) e di re-picking automatico da applicare all'intero dataset, ridefinendo in maniera omogenea, sulla base di un criterio unico, il peso relativo da attribuire ai tempi di arrivo letti.

Events with more than 8 P phases

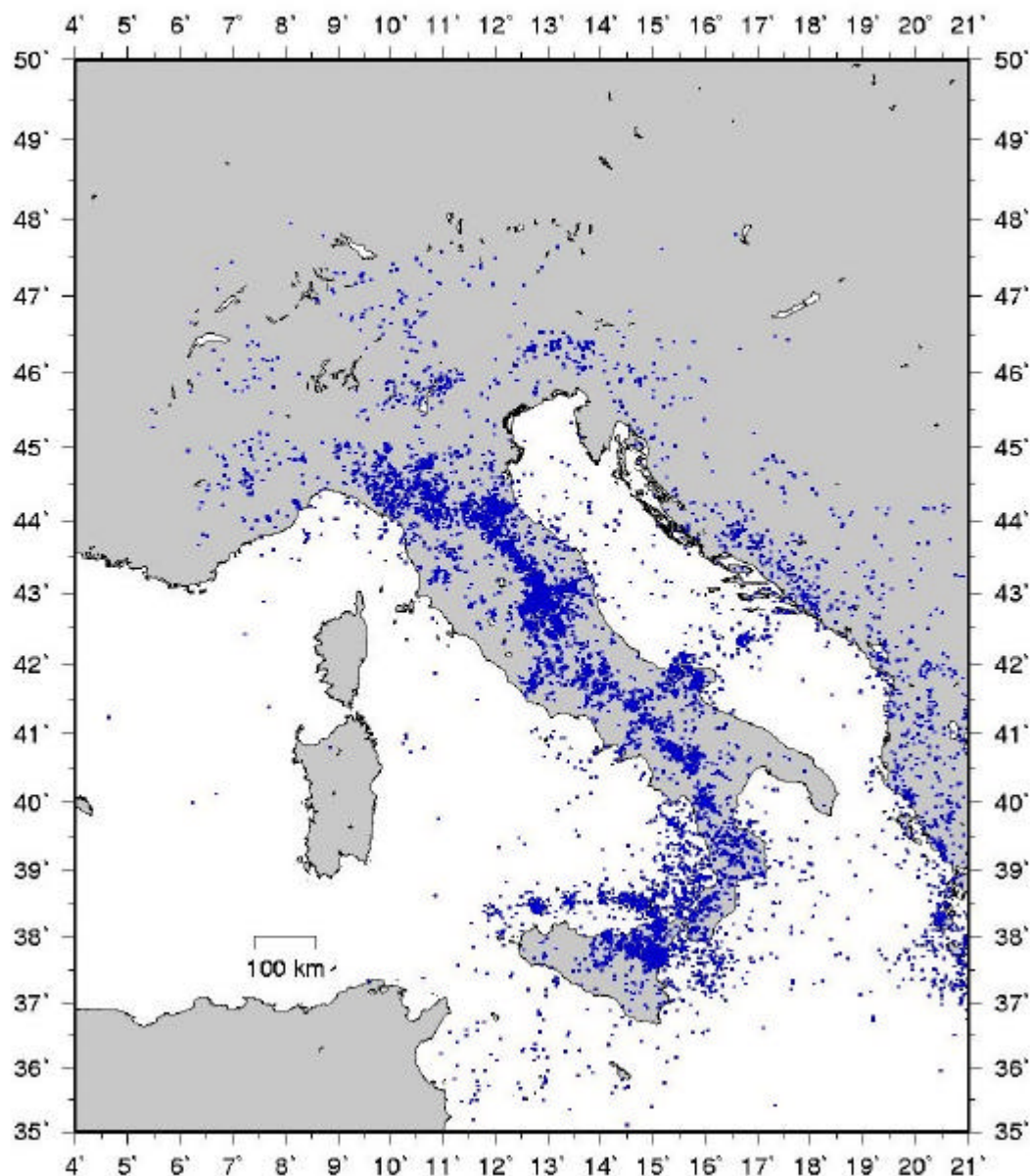


Fig. 2 - Mappa degli 11354 eventi con più di 8 fasi P registrate alla RSNC, comprendenti eventi locali e regionali; solo una parte di questi, prima della fase di riestrazione delle forme d'onda e di repicking, presenta un numero elevato di stazioni vicine.

Il lavoro è stato affrontato approntando un sistema di estrazione denominato *wavex*, sviluppato in collaborazione con il Dr. Franco Mele, sulla base di programmi già esistenti di accesso al database INGNET. Lo sviluppo di tale procedura di estrazione, attiva sul nodo ing750 della rete interna INGV-Roma, ha comportato anche il definitivo trasferimento dell'intero database, prima disponibile solo su singoli supporti magneto-ottici, in una unica area su supporto magnetico costantemente in linea e accessibile in ogni sua parte anche attraverso le normali procedure REWORK (sistema standard di accesso alle forme d'onda dell'INGV).

Wavex nasce come procedura per l'estrazione di forme d'onda per singoli eventi o per interi *set* di dati, come nel caso del presente lavoro. Nell'estrazione vengono operate, opzionalmente, selezioni in base alla magnitudo, al delta evento-stazione e al travel-time stimato. Inoltre l'estrazione può

essere “mirata” ad estrarre esclusivamente le fasi già riconosciute dal sistema automatico o dai revisori, oppure è possibile effettuare una estrazione “libera” associando le fasi agli eventi sulla base dei criteri sopra esposti. In entrambi i casi l'*header* del formato *ascii* di uscita dell'estrazione (formato "rework") riporta il *picking* rivisto (quando presente) oppure tempi di arrivo, sia P che S, stimati attraverso una *routine* di *forward modeling*.

Questa procedura è stata fin'ora applicata all'intero database procedendo con l'estrazione "mirata" per gli eventi di magnitudo sia Ml che Md minore di 2.8 (in base a dati di bollettino), mentre per tutti gli eventi di magnitudo superiore si è proceduto all'estrazione "libera" che consente di estrarre anche forme d'onda non associate preventivamente all'evento con lo scopo di estrarre anche forme d'onda eventualmente escluse per la distanza dall'evento o per la difficile leggibilità delle fasi.

Successivamente le forme d'onda vengono trasformate in formato SAC binario.

Il particolare formato SAC (per Unix) è stato scelto per massimizzare e ottimizzare il numero di informazioni utili al sistema di re-picking automatico e per fornire un formato universale per l'analisi sismologica.

Per questo è stata sviluppata una procedura di conversione rework2sac in grado di tenere conto di tutte le informazioni aggiuntive (fra cui la sincronizzazione degli eventi e le caratteristiche tecniche delle sigole stazioni).

Al termine del primo anno di progetto è disponibile, on-line su server interno, l'intero database RSNC dal 1988 al 2001 in formato SAC scaricabile via rete. Entro i prossimi 6 mesi di progetto il database INGV sarà disponibile per l'accesso dall'esterno.

- Fase 3: Attualmente in fase di test è l'applicazione di un re-picker, sviluppato dal Freddy Aldersons e Manfred Baer, dell'ETH di Zurigo, all'intero database. Tale procedura è stata per il momento applicata ad un subset di 15 eventi locali e regionali (fig. 3) rappresentativo delle caratteristiche della Rete Nazionale e del tipo di campionamento dell'area italiana. In totale sono state sottoposte a re-picking circa 700 forme d'onda con buoni risultati. Sulla base dei risultati preliminari fin qui ottenuti si è passati alla fase di calibrazione “fine” della procedura rispetto ai dati INGV e di costruzione dello schema di ripesatura indispensabile per garantire una elevata affidabilità e un'alta risoluzione dei risultati sia della rilocalizzazione che della tomografia sismica. Alla fase di repicking seguirà una verifica sia diretta che statistica dei risultati rispetto ai dati di bollettino.

- Fase 4: Sono state prese in considerazione, con lo scopo di ottenere una copertura volumetrica dei raggi sismici la più completa e omogenea possibile, 6 reti, fra locali italiane e nazionali estere (fig. 4) per integrare il database relativo alla rete nazionale INGV. In questo modo sarà possibile eliminare il gap azimutale sia di eventi situati al margine dell'area italiana (gap azimutale spesso superiore a 180°) che di eventi interni alla RSNC ma situati al margine di zone non coperte (o mal coperte) da quest'ultima. Fra le reti prese in considerazione vi sono le reti TGRS SismALP e RéNaSS francesi, la rete nazionale Svizzera (SDSNet), le reti nazionali Slovena, Croata e Austriaca e le reti locali italiane dell'OGS di Udine (19000 forme d'onda selezionate fra il 1995 e il 1998) e dell'università di Genova (IGG). Lo scambio di dati, in termini di forme d'onda, avviene nell'ambito di una politica Europea di costruzione di una rete integrata di acquisizione di dati sismici e nasce dalla cooperazione fra i diversi istituti preposti al monitoraggio della sismicità.

Selected MP events

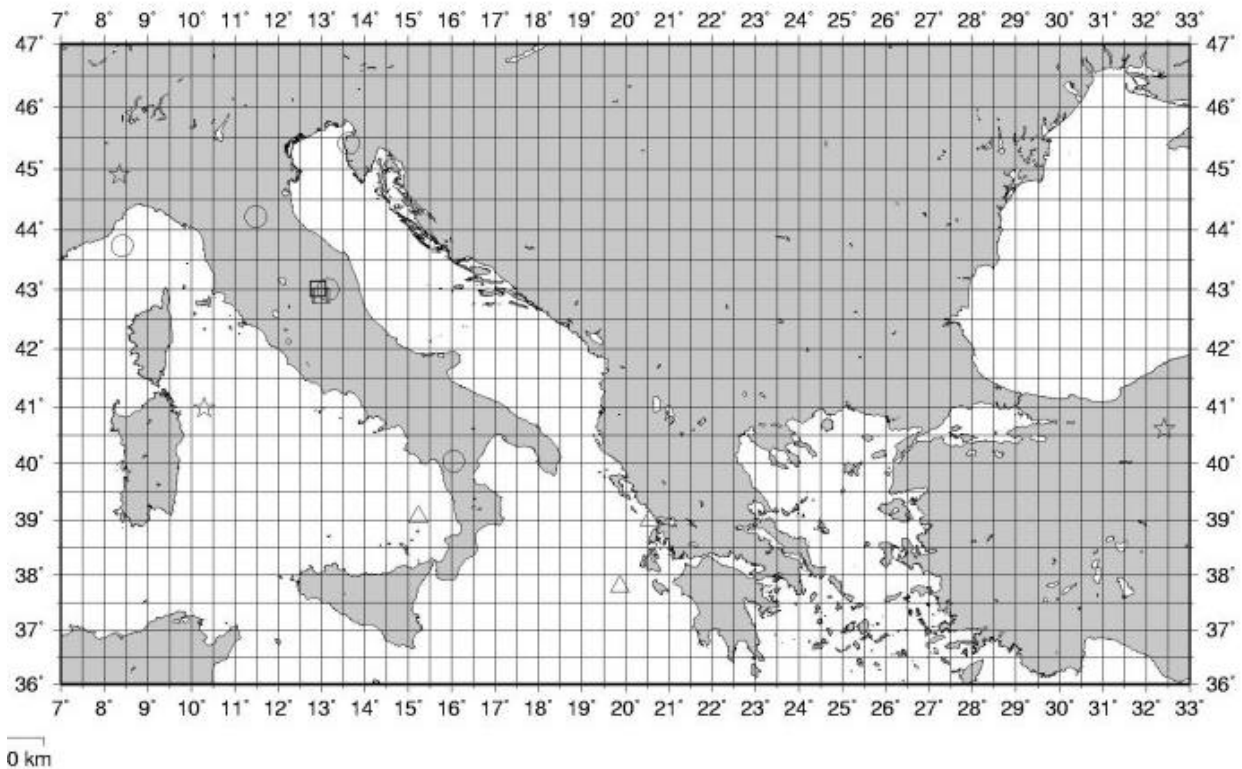


Fig 3 - Gli eventi riportati in figura sono relativi al 1988, 1994, 1997 e 2000; la scelta delle date è stata condizionata dalla variabilità di alcune caratteristiche della RSNC (parametri di stazione) e dalla localizzazione e magnitudo degli eventi; nel caso del 1997 per esempio la scelta è legata alla sequenza dell'Umbria-Marche e al fatto che per alcuni eventi di magnitudo superiore a 5 solo una parte delle fasi sono state lette con finalità di localizzazione, e molte di esse sono saturate: questo costituisce un elemento di test importante per il re-picker. La disposizione relativa degli eventi è stata inoltre scelta in modo da essere rappresentativa di azimuth e delta comuni per il database di eventi registrati dalla RSNC.

Infine, obiettivo della prima parte del successivo anno di progetto, è l'applicazione della stessa procedura di estrazione e re-picking ai telesismi registrati dalla RSNC fra il 1988 e il 2001.

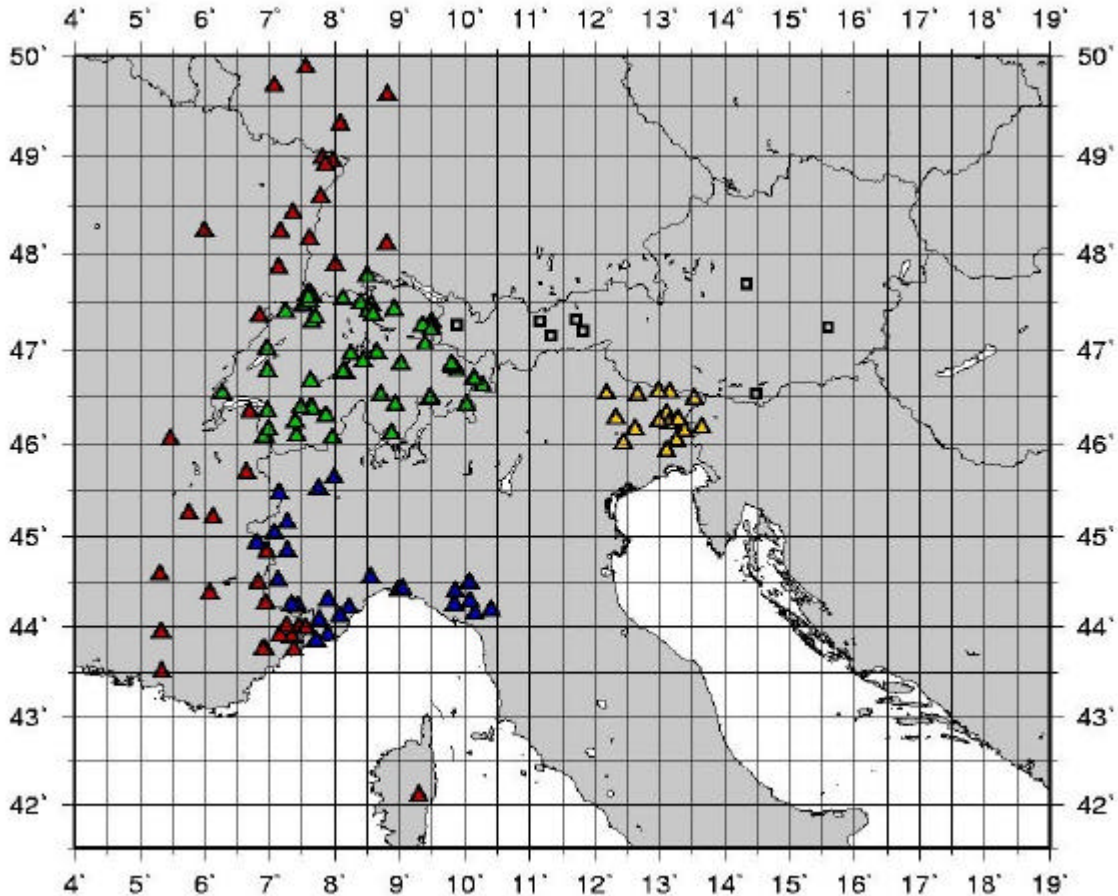


Fig 4 - Reti estere e locali italiane: i triangoli rossi indicano le reti francesi (Rennass Sismalp e TGRS), i triangoli blu rappresentano le stazioni della rete IGG di Genova mentre i triangoli verdi e gialli sono rispettivamente le stazioni della rete SDSNet Svizzera e quelle della rete locale Friuli dell'OGS; infine i quadrati neri rappresentano le stazioni, parte a corto periodo e parte broadband, della rete austriaca; non sono riportate la rete croata e slovena.

Parallelamente alla creazione di un nuovo dataset di forme d'onda come descritto fin qui, sono state sperimentate le tecniche di inversione tomografica alla scala italiana utilizzando data set già disponibili.

Il data set integrato dei tempi di arrivo di fasi P e S per il periodo 1981-1996 prodotto dal GNDT nel 2001 e' stato invertito, in via preliminare, con la tecnica messa a punto da Zhao et al. (1994) per il calcolo di un modello tomografico a grande scala, crosta e mantello superiore, della regione Italiana. La distribuzione dei dati e il campionamento dei raggi sismici ha permesso una definizione delle anomalie crostali e del mantello superiore con una dimensione laterale di circa 20-30 km in diversi strati tra 8 e 66 km. Il numero maggiore di dati, sia di eventi sismici che di stazioni sismiche, rispetto a quelli usati in passato ha permesso di evidenziare caratteristiche interessanti nella struttura profonda (vedi figura 5).

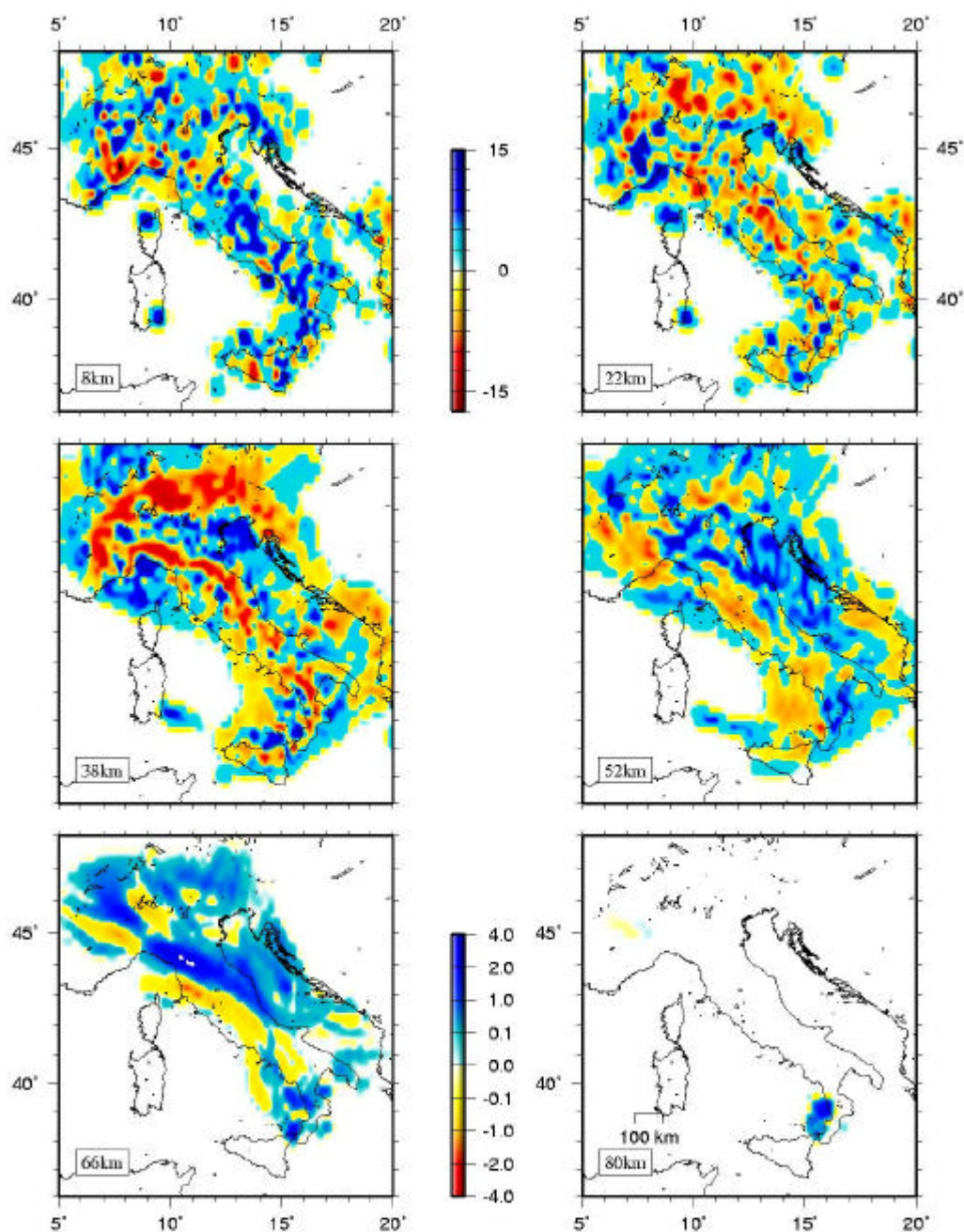


Fig. 5 - Anomalie di velocità nella crosta e nel mantello superiore calcolate con il dataset GNDT1981-1996. Le eterogeneità osservate, benché preliminari e soggette a possibili modifiche, risultano interessanti in tutti gli intervalli di profondità risolti e mostrano un migliore campionamento rispetto ai data set usati in precedenti studi.

In particolare la maggior definizione delle strutture si osserva nell'intervallo di profondità 30-70 km, intervallo solo marginalmente definito dagli studi tomografici degli ultimi 10 anni, principalmente finalizzati alla struttura dell'intero mantello superiore o di porzioni limitate della crosta superiore. Il data set si prefigura utile quindi per investigare e definire la struttura al di sotto

della penisola italiana nella zona di interazione tra le placche subdote e/o in collisione. Dalle immagini preliminari ottenute sono ben visibili le radici crostali sotto le Alpi e l'andamento degli archi in subduzione sotto gli Appennini e la Calabria. Di fronte alla placca adriatica in subduzione (caratterizzata da consistenti anomalie positive tra 38 e 66 km) si notano due estese zone a bassa velocità (fino al 6 % di perturbazione) tra i 50 e i 66 km che potrebbero indicare le risalite astenosferiche nel margine tirrenico.

Il modello 3D ha permesso un miglioramento nella rilocalizzazione di circa 13000 terremoti selezionate fra gli originari per numero di fasi, errori di localizzazione (nel modello 1D) e gap azimutali inferiori di 180 gradi (figura 6).

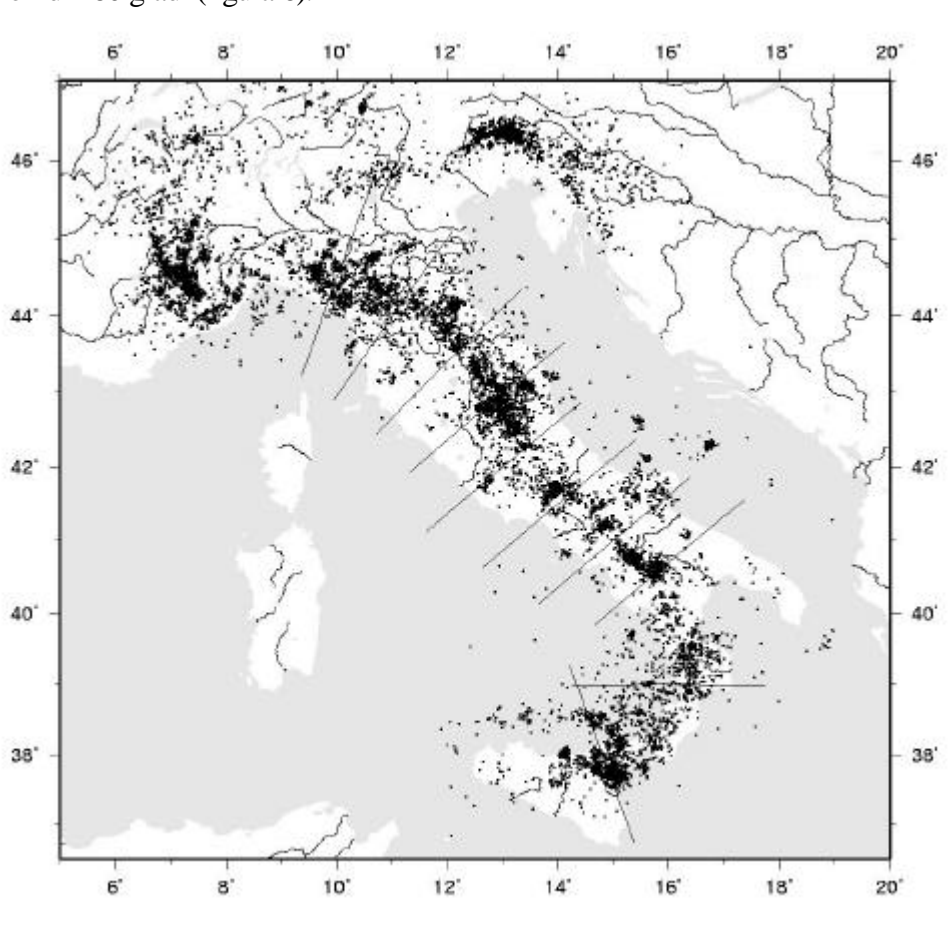


Fig. 6 - Epicentri rilocalizzati con il modello tridimensionale e tracce delle sezioni di figura 7.

Si nota una significativa diminuzione dei residui dei tempi di arrivo con il modello 3D. Le profondità crostali dei terremoti rilocalizzati sono concentrate nei primi 12-15 km, ma una evidente attività sismica a profondità crostale inferiori ai 20 km e subcrostale è presente al bordo della placca adriatica e ne identifica la geometria in subduzione. Tale caratteristica, visibile in sezioni crostali attraverso gli Appennini (figura 7), è abbastanza continua per l'arco Appenninico settentrionale fino all'altezza del M. Conero, si interrompe al di sotto dell' Appennino centrale e meridionale, e riprende al di sotto dell'Arco Calabro.

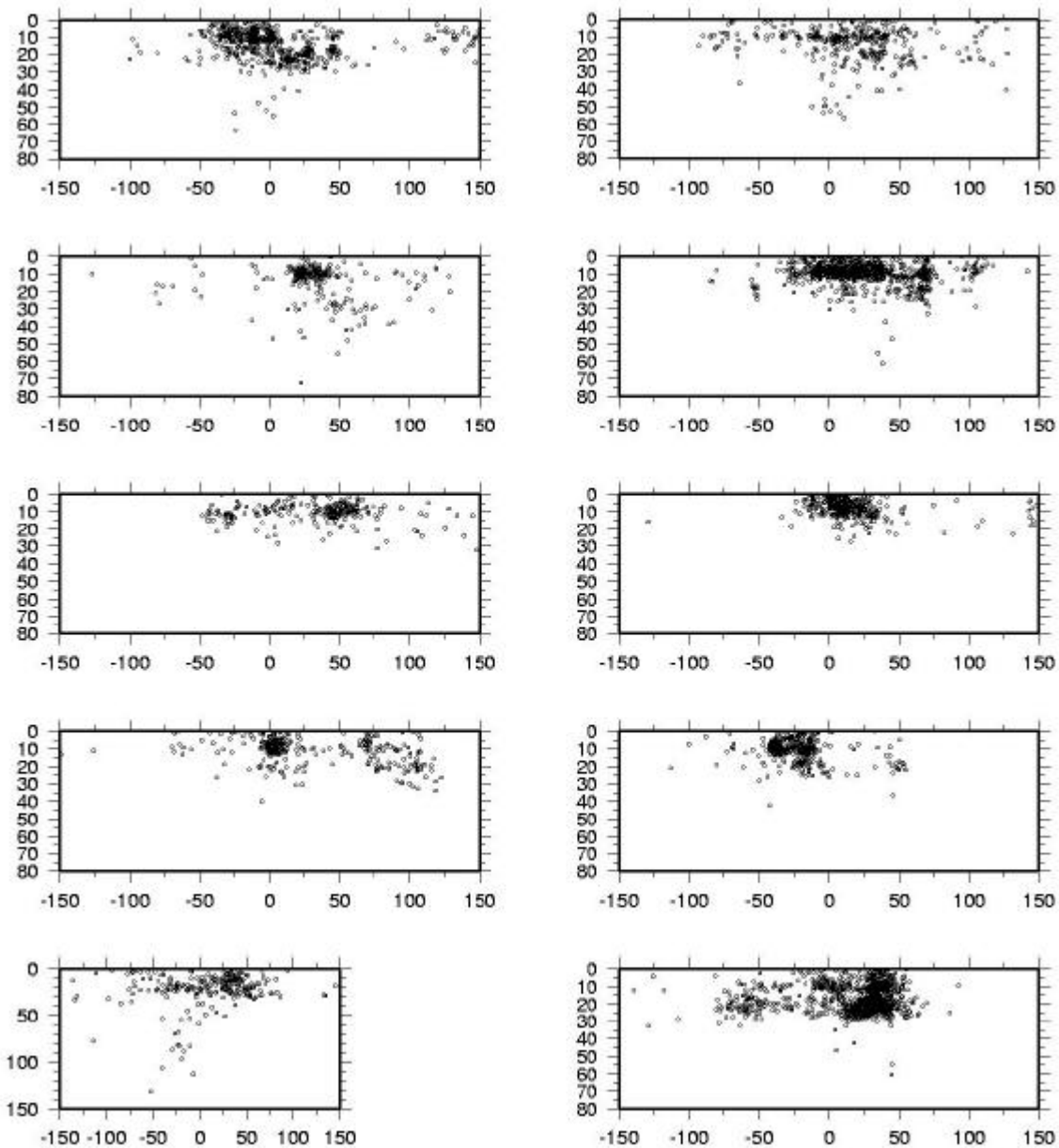


Fig. 7 - Sezioni verticali (tracce in fig. 6) della sismicità al di sotto della penisola italiana (dataset GNDT 1981-96).

Contributo della UR 5 (DIPTERIS Univ. Di Genova) al Task 2.3

Per il task 2.3 si è indagato sull'accuratezza delle procedure per la localizzazione dei terremoti e la ricostruzione tomografica tridimensionale delle strutture di velocità. Tali determinazioni sono influenzate da fattori quali geometria della rete, errori nel picking delle fasi sismiche, errori nella ricostruzione della struttura di velocità. Si è partiti confrontando i risultati ottenuti applicando due differenti pseudo-bending raytracer al modello di velocità 3-D ipotizzabile per la zona dell'Italia nord occidentale. Quest'area è molto valida per effettuare un test di questo genere, infatti è caratterizzata da forti variazioni laterali di velocità ed anomalie estremamente accentuate, legate al cosiddetto corpo d'Ivrea, con perturbazioni nelle velocità sino al 10%. Sono stati confrontati l'algoritmo di ray tracing implementato nel codice Simulps12 con uno schema di ray tracing basato sull'algoritmo di Prothero et al., 1988 (PTE) utilizzando il medesimo modello di velocità. Il data set è composto da oltre 8700 fasi P e 7500 fasi S e sono state valutate le performance dei due ray tracer sia nei termini di differenza nei tempi di percorrenza che in termini di geometria del raggio. Lo schema PTE si è dimostrato superiore, producendo quasi sempre tempi di percorrenza inferiori. Le

differenze nei tempi di percorrenza sono fortemente legate alla distribuzione delle eterogeneità di velocità. Inoltre, per tutte le stazioni prese in esame, le differenze più significative nei tempi di percorrenza (sino a 0.15 s) sono state trovate in corrispondenza dei settori azimutali che interessano il Corpo d'Ivrea. Un differente percorso del raggio porta ovviamente a possibili bias nelle ricostruzioni tomografiche.

Per quanto riguarda l'affidabilità delle procedure di localizzazione in aree caratterizzate da notevoli eterogeneità si è proceduto attraverso una serie di test con dati sintetici. Si è adottato il raytracing PTE e si è generato un data set di tempi d'arrivo sintetici utilizzando la struttura 3-D ipotizzabile per il settore delle Alpi Sud Occidentali. In un primo test, si è adottata la configurazione delle stazioni e la distribuzione degli eventi sismici registrati durante un esperimento di sismica passiva condotto tra l'agosto del 1996 ed il febbraio 1997 in questo settore (esperimento Geofrance3D-Alps). La configurazione delle stazioni corrisponde ad una implementazione, con stazioni temporanee, delle stazioni delle reti sismiche operanti in questa zona, permettendo quindi una maggiore stabilità ed affidabilità delle determinazioni focali. I dati sintetici così ottenuti sono inoltre stati perturbati applicando diverse tipologie nella distribuzione degli errori. Un ulteriore esperimento è stato effettuato considerando un data set di eventi sintetici generato posizionando gli eventi nei nodi di un grigliato regolare tridimensionale. Per imitare le procedure seguite realmente durante la fase di localizzazione degli eventi da una rete sismica per la creazione dei data set sintetici abbiamo seguito le seguenti fasi: rilocalizzazione dei terremoti, inversione con un modello 1-D di velocità con correzione di stazione ed inversione finale utilizzando un modello di velocità in 3-D. Si è dimostrato che la localizzazione ottenuta con modelli di velocità 1-D, anche se con correzioni di stazione, può portare ad errori significativi nella stima dei parametri focali e notevoli incertezze nella successiva ricostruzione tomografica.