

SVILUPPO E CONFRONTO DI METODOLOGIE PER LA
VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA IN AREE
SISMOGENETICHE: APPLICAZIONE ALL'APPENNINO
CENTRALE E MERIDIONALE

Rapporti delle Unità di Ricerca

Unità di Ricerca UR1
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma.

Responsabile dell'Unità di Ricerca

Dr. Massimo Cocco

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata 605, 00143, Roma.

RAPPORTO DI ATTIVITA' – 1° ANNO

PARTECIPANTI ALL'UNITA' DI RICERCA

Nome-Qualifica	Afferenza	mesi/uomo
Massimo Cocco	INGV ROMA	5
Paola Montone	INGV ROMA	4
Maria Teresa Mariucci	INGV ROMA	2
Simona Pierdominici ^(S)	INGV ROMA	6
Luigi Cucci	INGV ROMA	3
Claudio Chiarabba	INGV ROMA	4
Marco Cattaneo	INGV ROMA	3
Davide Piccinini ^(*)	INGV ROMA	12
Giulio Selvaggi	INGV ROMA	2
Massimo Di Bona	INGV ROMA	1
Luca Malagnini	INGV ROMA	4
Aybige Akinci	INGV ROMA	2
Giovanna Cultrera	INGV ROMA	6
Francesca Pacor ^(°)	INGV ROMA	12
Antonio Rovelli	INGV ROMA	4
Arrigo Caserta	INGV ROMA	1
Lucia Margheriti	INGV ROMA	2

^(S) Borsa di studio su fondi progetto dal 1/9/2000 al 31/12/2000, successivamente passata su fondi Dottorato INGV.

^(*) Borsa di studio su fondi progetto a partire dal 1/9/2000.

^(°) Assegno di Ricerca su fondi progetto a partire dal 1/3/2001.

▪ **OBIETTIVI I° ANNO**

Task 1. Caratterizzazione Geometrica e Meccanica delle Sorgenti

- ❑ *Raccolta e Revisione informazioni sulle strutture sismogenetiche per l'area training di Colfiorito*

Task 2. Caratterizzazione della struttura crostale (elastica ed anelastica)

- ❑ *Modelli di velocità e attenuazione per il sito training di Colfiorito e Sellano: raccolta e revisione delle informazioni disponibili*
- ❑ *Campagna di acquisizione dati nel test site Città di Castello*

Task 3. Determinazione delle Leggi di attenuazione del moto del terreno

- ❑ *Studio delle leggi di Attenuazione a scala regionale per l'Appennino Centro-Settentrionale*

Task 4. Validazione di metodologie per il calcolo di sismogrammi sintetici.

- ❑ *Sviluppo di Codici di calcolo*
- ❑ *Calcolo di Sismogrammi sintetici per l'area di Colfiorito*

Task 5. Caratterizzazione degli effetti di sito.

- ❑ *Raccolta di informazioni geologiche e geotecniche per l'area training di Colfiorito.*
- ❑ *Raccolta di informazioni geologiche e geotecniche per le aree test.*
- ❑ *Raccolta ed organizzazione dei dati sismici weak e strong motion esistenti ed utili agli obiettivi del task per l'area training.*
- ❑ *Campagna di raccolta dati microsismici e di microtrecore nell'area test di Città di Castello.*
- ❑ *Valutazione e confronto delle varie tecniche per la stima degli effetti di amplificazione locale con particolare riferimento agli effetti topografici (Sellano, Nocera).*

▪ **RISULTATI I° ANNO**

Task 1. Caratterizzazione Geometrica e Meccanica delle Sorgenti

In questo primo anno di attività i lavori sono stati focalizzati nell'area training di Colfiorito. E' terminato il documento relativo allo stato dell'arte per quanto riguarda le conoscenze disponibili sulle sorgenti sismiche attivate durante la sequenza sismica del 1997-1998. Questo rapporto finale costituisce uno strumento fondamentale per la proposizione dei modelli di sorgente con cui iniziare le simulazioni del movimento del terreno durante i terremoti più forti previste nel task 4. Lo stato dell'arte elaborato in questo progetto sarà anche un utile prodotto che verrà distribuito tra i ricercatori afferenti al progetto stesso ed alla comunità scientifica italiana. Il rapporto finale è presentato nell'**ALLEGATO A**.

Parallelamente è iniziata l'attività di ricerca sull'area test di Città di Castello (CdC) mediante un lavoro sistematico di sintesi e revisione critica delle conoscenze attuali su quest'area.

Nell'ambito di questo progetto sono stati revisionati tutti i dati in nostro possesso relativi alle perforazioni profonde ubicate entro le due aree test (il rapporto completo è presentato nell'**ALLEGATO B**). Sono stati esaminati 13 pozzi dei quali 11 nell'area della Val d'Agri e 2 nella zona di Città di Castello. E' stata effettuata un'attenta revisione dei dati riguardanti le sequenze stratigrafiche attraversate dalle perforazioni, al fine di poter correlare eventuali variazioni in profondità della direzione dell' Sh_{min} all'assetto geologico-strutturale.

Poiché l'unità di ricerca UR1 coordina le attività su questo task, una estesa presentazione dei risultati e delle attività coordinate con UR3 e UR7 sono discusse nel rapporto di task e nei due allegati.

Task 2. Caratterizzazione della struttura crostale (elastica ed anelastica)

L'unità di ricerca ha pesantemente contribuito alle attività di campagna relative all'esperimento di Città di Castello. E' stata ultimata la campagna di acquisizione dati di Città di Castello che ha avuto una durata complessiva di più di otto mesi. La campagna è stata suddivisa in due fasi principali. Hanno partecipato all'esperimento le UR 1, 2 e 6. Nella prima, come già dettagliato nel rapporto semestrale del progetto, si sono poste le stazioni su un grigliato la cui maglia aveva spaziature dell'ordine dei 5 km e si copriva un area di quasi 60x40 km posta all'incirca tra Gualdo Tadino a S e San Sepolcro a N. Sono stati installati un totale di 27 stazioni portatili che hanno registrato in modalità continua

durante tutto il periodo.

L'unità di ricerca ha anche contribuito allo studio del campo di velocità nella zona di Colfiorito i cui risultati sono ampiamente presentati nel rapporto di task.

Task 3. Determinazione delle Leggi di attenuazione del moto del terreno

L'unità di ricerca UR1 ha contribuito a questo task proponendo nuove leggi di attenuazione dei valori di picco in funzione della distanza per differenti intervalli di frequenza. Questo risultato è fondamentale per il confronto con i risultati attesi nel task 4 e per la valutazione della pericolosità sismica nelle aree selezionate. Poiché l'unità di ricerca UR1 coordina le attività su questo task, una estesa presentazione dei risultati e delle attività sono discusse nel rapporto di task.

In questo primo anno di attività l'UR ha anche iniziato uno studio metodologico teso al calcolo di mappe di pericolosità a scala regionale. Questo prodotto, atteso per il secondo anno di attività del progetto, sarà un ulteriore strumento per il confronto e la validazione dei risultati delle simulazioni e previsioni teoriche eseguite nel task 4.

Task 4. Validazione di metodologie per il calcolo di sismogrammi sintetici.

Test Source time function (STF)

Per lo svolgimento del test STF, abbiamo applicato due tecniche di simulazione semplificate, la prima puramente stocastica (BOORE, Boore, 1983), la seconda ibrida (CRONOS, Mendez e Pacor, 1994) in cui l'involuppo del segnale è modellato in modo deterministico mentre le oscillazioni dei segnali in alta frequenza sono generate in modo stocastico.

Tecnica di Boore

Questa tecnica simula il moto del suolo relativo ad onde dirette S, prodotto da una sorgente puntiforme immersa in un mezzo omogeneo. La sorgente è descritta dal momento sismico M_0 e dalla corner frequency f_c , pari all'inverso della durata della funzione sorgente T . La forma spettrale che descrive la sorgente sismica è il modello W^2 . Il modello di attenuazione è descritto dal fattore di qualità $Q(f)$ e dal parametro di attenuazione al sito k . Per questi parametri i valori prescelti sono:

$$Q(f) = 130f^{0.1} \text{ e } k = 0.04s$$

Tecnica ibrida

Questa tecnica è una tecnica semplificata che permette di simulare il moto del suolo relativo ad onde dirette S, prodotto da una sorgente estesa immersa in un mezzo di propagazione stratificato. La risposta del mezzo di propagazione è calcolata, in modo approssimato, attraverso la teoria del raggio. Per il calcolo dei tempi di viaggio e degli angoli di take off dei raggi abbiamo utilizzato il mezzo di propagazione indicato nel test precedente. La sorgente sismica è stata simulata attraverso un quadrato di lato pari a $l = 100m$, con meccanismo focale analogo al test sulle green-function. La rottura è stata simulata considerando un fronte d'onda circolare partito dal centro della subfaglia. Il valore della velocità di rottura (ovviamente non fisica) è stata fissata in modo tale da riprodurre un processo di sorgente di durata pari a $T=2.7s$. Il modello di attenuazione è lo stesso di quello utilizzato nella tecnica di Boore.

Confronto fra le tecniche

La Tabella 1 riassume i risultati del calcolo ottenuto con le due tecniche per i 4 siti considerati.

Nel caso di CRONOS, i risultati sono presentati considerando varie modalità di calcolo del radiation pattern. Questo parametro è stato calcolato considerando:

- a) valore medio valutato sull'intera sfera focale (da letteratura). In questo modo nessuna informazione è presente nel modello relativamente al meccanismo focale dell'evento
- b) radiation pattern calcolato esattamente, distinto per la componente NS ed EW del moto.

Tabella 1.

CRONOS						
	phi (gradi)	T(s)	R (km)	Rpa	a (gal)	v (cm/s)
ass	-74.61	3.2	21.8	0.63	41.4	4.6
ctr	170.27	3.2	25.6		30.6	3.9
gtd	-15.98	3.2	23.9		36.3	4.3
mfg	82.69	3.2	27.0		33.8	4.4

Media Orizzontale			
	RPd	a (gal)	v (cm/s)
ass	0.5	31.9	4.0
ctr	0.31	15.6	2.1
gtd	0.23	13.6	1.7
mfg	0.34	17.5	2.1

NS			
	Rpa	a (gal)	v (cm/s)
ass	0.49	49.6	5.7
ctr	0.05	3.8	0.5
gtd	0.06	5.4	0.7
mfg	0.34	23.5	3.1

EW			
	RPb	a (gal)	v (cm/s)
ass	0.13	13.2	0.5
ctr	0.31	22.2	2.8
gtd	0.22	18.6	2.3
mfg	0.04	3.1	0.4

Tecnica Ibrida
Sorgente estesa ridotta ad un punto
Mezzo Stratificato
Moto orizzontale distinto per le due componenti

Parametri
R = Distanza ipocentrale
T = Durata apparente; fissa
la corner frequency del modello omega-quadro
RPa = Radiation pattern mediato sulla sfera focale
RPb = componente NS di RP calcolato esattamente
RPC = componente EW di RP calcolato esattamente
RPd = Composizione vettoriale delle componenti

Commenti
I picchi scalano con la distanza ipocentrale;
variano al variare di RP
dipendono dalla durata apparente
La durata degli accelerogrammi è pari alla durata apparente

BOORE			
	T(s)	a (gal)	v (cm/s)
ass	2.7	59.1	6.7
ctr	2.7	44.7	5.8
gtd	2.7	49.5	6.3
mfg	2.7	41.2	5.4

Tecnica Stocastica
Sorgente puntiforme
Mezzi omogeneo
Moto orizzontale

Parametri
R = Distanza ipocentrale
T = Durata sorgente; fissa
la corner frequency del modello omega-quadro
RP = Radiation pattern mediato sull'intera sfera focale

Commenti
I picchi di accelerazione e velocità scalano con la distanza ipocentrale
La durata dei segnali è pari al doppio della durata sorgente

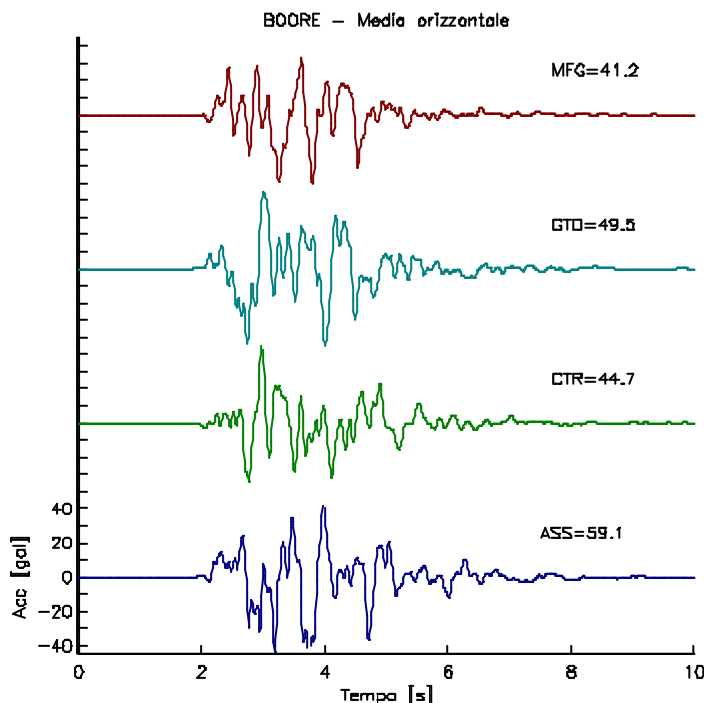


Figura 1

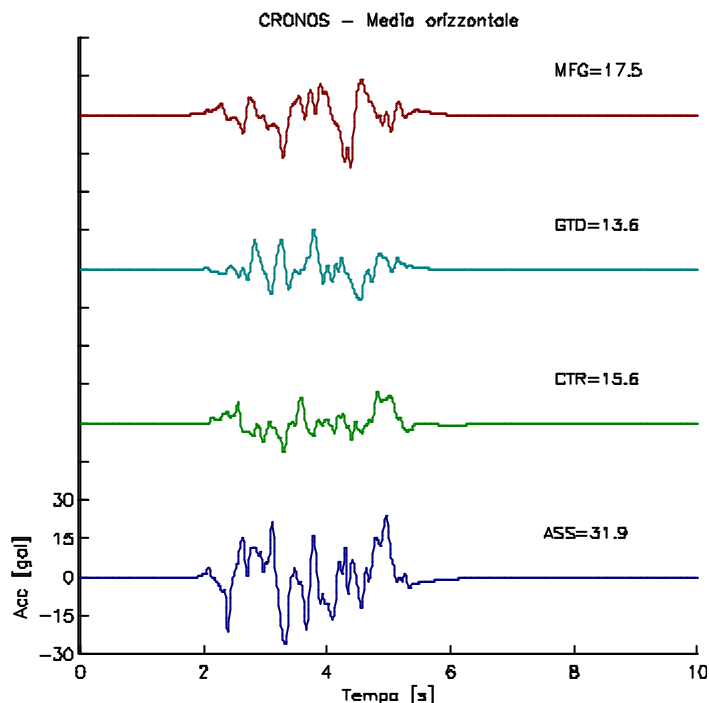


Figura 2

c) radiation pattern calcolato attraverso la composizione vettoriale delle due componenti del moto.

Nelle figure 1 e 2 sono riprodotte le tracce di accelerazione calcolate per le quattro stazioni, rispettivamente per la tecnica di Boore e per Cronos. Per Cronos, i sismogrammi presentati sono relativi al caso di radiation pattern mediato sulle due componenti. Nelle figura 34, è riportato il confronto, per i siti di Assisi e Gualdo Tadino, fra le tracce accelerometriche calcolate con le due tecniche di simulazione. In entrambe le tecniche, gli accelerogrammi sono generati in modo stocastico; le tracce presentate nelle figure sono il risultato di una simulazione stocastica e quindi non rappresentano esattamente il modello imposto; viceversa i valori di picco sono calcolati come media di 30 simulazioni.

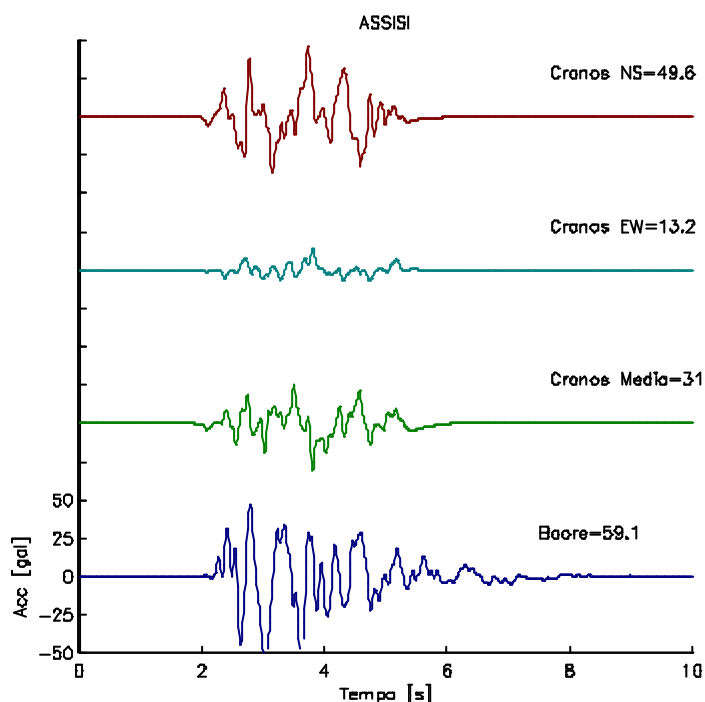


Figura 3

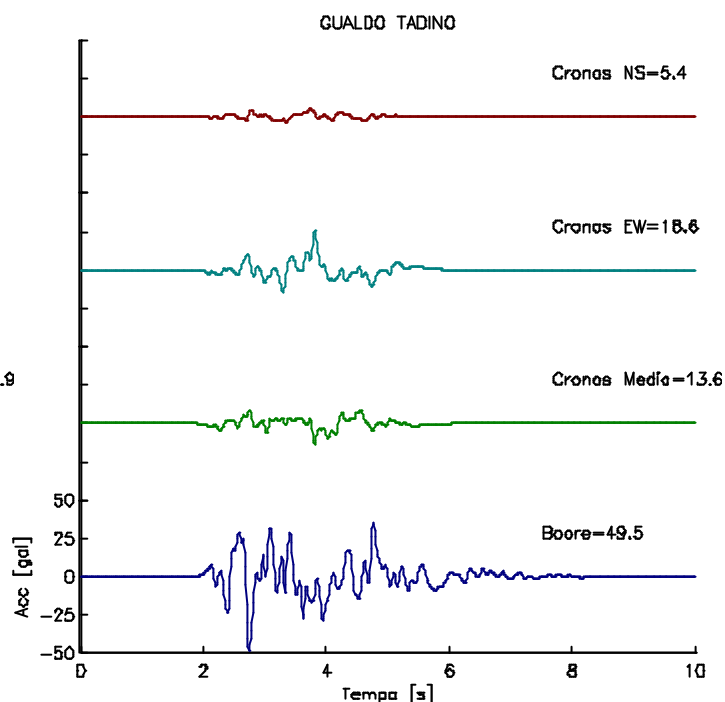


Figura 4

Task 5. Caratterizzazione degli effetti di sito.

Nel primo anno di attività sono state prese in considerazione sia zone per le quali si dispone di dati acquisiti attraverso esperimenti effettuati durante la sequenza sismica in Umbria e Marche, sia l'area di Città di Castello dove, nell'ambito di questo progetto, si sono effettuate misure di rumore sismico a maglia densa e si è tenuto in funzione un transetto temporaneo di 21 stazioni sismiche, trasversale alla Valle del Tevere.

L'unità di ricerca ha partecipato alla campagna di acquisizione di dati sismici di Città di Castello ed i dati acquisiti sono attualmente in via di elaborazione. Poiché questa UR coordina le attività del task 5, una più estesa presentazione delle attività svolte è presentata nel rapporto di task.

▪ **PRODOTTI DELLA RICERCA**

TASK 1. Caratterizzazione Geometrica e Meccanica delle Sorgenti

1. Stato dell'arte sulle conoscenze relative alle sorgenti sismiche nella zona di Colfiorito (**ALLEGATO A**).

2. Identificazione di parametri di sorgente ben vincolati per l'area *training* di Colfiorito da trasferire al task 4 per iniziare le simulazioni.
3. Inizio studi per una revisione critica dello stato delle conoscenze nella zona di Colfiorito (si veda **ALLEGATO B**).

TASK 2. Caratterizzazione della struttura crostale (elastica ed anelastica)

1. Stato dell'arte sulle conoscenze relative alla struttura crostale nella zona di Colfiorito.
2. Identificazione di modelli di velocità per l'area *training* di Colfiorito da trasferire al task 4 per iniziare le simulazioni.
3. Banche dati per le zone di Città di Castello e Colfiorito-Sellano comprendenti:
 - banca dati forme d'onda;
 - banca dati tempi di arrivo;

TASK 3. Determinazione delle Leggi di attenuazione del moto del terreno

1. Nuove leggi di attenuazione a scala regionale per l'Appennino Centro Settentrionale (2 pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali).

TASK 4. Validazione di metodologie per il calcolo di sismogrammi sintetici.

1. Codice per la simulazione del moto del suolo basato su un approccio ibrido stocastico-deterministico.
2. Prime applicazioni al calcolo di Sismogrammi sintetici per l'area di Colfiorito (pubblicazioni su riviste internazionali, nazionali e presentazione a convegni).
3. Partecipazione al *blind test* riguardante Colfiorito.

TASK 5. Caratterizzazione degli effetti di sito.

1. Informazioni geologiche e geotecniche per l'area training di Colfiorito.
2. Informazioni geologiche e geotecniche per l'area test di Città di Castello, disponibili anche grazie al protocollo di intesa con la Regione Umbria.
3. Banca dati sismici weak e strong motion, microsismici e di microtremore nell'area test di Città di Castello.

ELENCO PUBBLICAZIONI (includendo lavori in stampa e sottomessi)

- Castro R., Rovelli A., Cocco M., Di Bona M. and F. Pacor (2000). Stochastic simulation of strong-motion records from the september 26, 1997 (Mw 6.0) Umbria-Marche (Central Italy) earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, pp
- Cultrera G., R. Azzara, A. Caserta, S. Donati, F. Marra, G. Mele, and A. Rovelli, Amplification effects within a fault zone (Nocera Umbra, central Italy): observations of weak and strong motions, poster, AGU Fall Meeting, San Francisco, California, 15-19 December 2000.
- Donati S., F. Marra, and A. Rovelli, 2001. Damage and Ground Shaking in the Town of Nocera Umbra during Umbria-Marche, Central Italy, Earthquakes: The Special Effect of a Fault Zone. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 3,
- Luzi L., G. Cultrera, F. Marra, R. Azzara, A. Caserta and A. Rovelli (2001). Topographic site effects in the Nocera Umbra hill (Central Italy) during May-June 1998: preliminary results, XVIII° workshop of the International School of Geophysics "Advances in the Assessment of Earthquake and Volcanic Hazards", Erice, 5-15 July 2001.
- Malagnini L. and R. Herrmann (2000). Ground-motion scaling in the region of the 1997 Umbria-Marche earthquake (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 1041-1051.
- Malagnini L., Herrmann R. and M. Di Bona (2000). Ground-motion scaling in the Apennines (Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 1062-1081.
- Rovelli A., Scognamiglio L., Marra F., Caserta A. (2001). Edge-diffracted 1-s surface waves observed in a small-size intramountain basin (Colfiorito, Central Italy). *Bull. Seism. Soc. Am.*, *in press*.

BIBLIOGRAFIA

- Boore D. M. (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 1865-1894.
- Mendez A. e F. Pacor (1994). A study of rupture characteristics of the 40's subevent of the 1980 Irpinia earthquake, *Annali di Geofisica*, XXXVII, 1601-1620.

Unità di Ricerca UR2

Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste.

Responsabile dell'Unità di Ricerca

Nome-Qualifica: E. Priolo - Ricercatore

Afferenza: Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste (Italia)

RAPPORTO DI ATTIVITA' – 1° ANNO

PARTECIPANTI ALL'UNITA' DI RICERCA

Nome-Qualifica	Afferenza	mesi/uomo
Enrico Priolo	OGS, Trieste	4
Alberto Michelini	OGS, Trieste	7
Géza Seriani	OGS, Trieste	5
Alessandro Vuan ^(S)	OGS, Trieste	3
José Maria Carcione	OGS, Trieste	4
Giovanna Laurenzano	OGS, Trieste	1
Aladino Govoni	OGS, Trieste	2
Marco Romanelli	OGS, Trieste	1
Restivo Andrea	OGS, Trieste	2
Di Bartolomeo Paolo	OGS, Trieste	1
Durì Giorgio	OGS, Trieste	1
Kravanja Stefano	OGS, Trieste	1
Borsista ^(*)		

^(S) Assunzione unità di personale avvenuta il 01/04/2001 su fondi appositi.

^(*) Concorso espletato. Assunzione prevista al 1/09/2001. Si chiede una proroga sulla rendicontazione dell'unità di personale prevista per il primo anno, in quanto detta unità prenderà servizio durante il secondo anno.

▪ OBIETTIVI I° ANNO

UR2 (parte 1.a)

Sviluppo metodologico (Task 4) – Sviluppo del metodo pseudospettrale di Fourier 3-D con griglie sfalsate. Validazione del metodo con soluzioni numeriche ed analitiche.

UR2 (parte 1.b)

Applicazioni alle aree training (Task 4) - Modellazioni regionali WIM 3-D per l'evento principale della sequenza di Colfiorito e confronto con altri metodi di sintesi del moto forte del terreno (blind test).

UR2 (parte 2)

Strutture tridimensionali di velocità per Colfiorito e Città di Castello (Task 2) –Acquisizione dati, analisi preliminare e modelli di velocità 1D.

▪ RISULTATI I° ANNO

UR2 (parte 1.a)

Sviluppo metodologico (Task 4) - E' stato sviluppato ed implementato un algoritmo per la modellazione 3D dei campi d'onda sismici in strutture geologiche complesse. L'algoritmo è basato sulla soluzione dell'equazione completa delle onde elastiche in mezzi eterogenei con il metodo pseudospettrale di Fourier. L'accuratezza numerica e l'efficienza computazionale sono state migliorate rispettivamente con l'uso di griglie sfalsate e con un'implementazione parallela. Sono state implementate sorgenti impulsive come forze unidirezionali, volumetriche e di doppia coppia. L'espressione dei parametri di faglia (strike, dip and rake) come componenti cartesiane del

momento tensore è derivata dalla formulazione di *Aki e Richards (1980)*.

Allo scopo di validare il metodo pseudospettrale 3D di Fourier sono stati approntati alcuni test comparativi con metodi analitici e numerici. Le metodologie impiegate nella verifica comprendono il metodo analitico Cagniard-de Hoop e il “Wave-number Integration Method (WIM)” (eg. *Herrmann e Wang, 1985*). I tempi di arrivo delle principali fasi e le relative ampiezze sono consistenti con le soluzioni di riferimento. L'utilizzo del metodo a griglie sfalsate comporta tuttavia alcuni problemi relativi alla delocalizzazione di sorgenti, ricevitori e interfacce sismiche. Questi saranno risolti introducendo processi di interpolazione veloce e di “averaging” sui nodi delle griglie duali.

UR2 (parte 1.b)

Applicazioni alle aree training (Task 4) - Sono stati calcolati sismogrammi sintetici WIM 3D nell'ambito del blind test concordato con le diverse UR afferenti al Task 4 per un confronto tra le diverse metodologie che saranno successivamente impiegate nella simulazione dei processi di frattura sulla faglia di Colfiorito. In particolare sono stati eseguiti dei confronti tra le funzioni di Green per stimare la consistenza sui tempi di arrivo, ampiezza, polarizzazione e forme spettrali delle diverse fasi. Si è inoltre provveduto ad eseguire un confronto sulle “Source Time Functions (STF)” solitamente utilizzate dalle diverse UR nell'ambito del Task 4. Per ragioni di spazio si rimanda per maggior dettaglio alla relazione compilata dal coordinatore del Task 4. Sono stati inoltre eseguiti dei test aggiuntivi di confronto tra il metodo WIM (UR2) ed il metodo modale (MSM, UR5) per stimare la congruenza dei risultati per diverse profondità della sorgente e distanze epicentrali. Il confronto tra i due metodi lungo profili di ricevitori rettilinei ha evidenziato alcuni aspetti che possono essere riassunti brevemente nei seguenti punti:

- 1) per sorgenti puntiformi superficiali (e.g. $Z=0.5\text{km}$) WIM e MSM si mostrano consistenti nel riprodurre ampiezze, fasi e durata lungo l'intervallo di distanze considerato (5-25km), 2) per una sorgente posta a 6 km di profondità, le fasi P e P convertite (comprese tra gli arrivi P e S, vedi Fig. 1) assumono ampiezze comparabili con le ampiezze delle onde S e di superficie, soprattutto a distanze epicentrali superiori a 15km. In tal caso i sismogrammi MSM si dimostrano carenti rispetto ai sismogrammi WIM di una parte significativa del segnale. Dall'arrivo delle onde S in poi, onde di superficie incluse, possiamo ritrovare una buona consistenza tra i due metodi. In generale e come già osservato nel blind test il metodo MSM mostra sismogrammi di durata inferiore rispetto al metodo WIM.
- 3) per una profondità della sorgente di 12km nell'intervallo di distanze da 5 a 10km, l'arrivo della fase S diretta sintetizzato con MSM risulta anticipato rispetto allo stesso arrivo sintetizzato con WIM. Tale anticipo è spesso correlato con la presenza di fasi a-causali di ampiezza non trascurabile in coda oppure in testa ai sismogrammi MSM,
- 4) è presente una certa discordanza, quantificabile in un fattore 2, nelle ampiezze di picco dei velocigrammi MSM e WIM. Le differenze crescono al diminuire delle distanze sorgente-ricevitore (5-10km) e al crescere della profondità della sorgente puntiforme, e si accentuano fino a raggiungere un rapporto 5 a 1 nei casi critici (corte distanze e profondità di 12 km).

In aggiunta abbiamo calcolato mappe di PGV e PGA per l'area interessata dal terremoto di Colfiorito con il modello strutturale utilizzato nel blind test per una sorgente puntiforme. Tali mappe verranno integrate con le mappe ottenute utilizzando sorgenti estese con slip omogeneo ed eterogeneo lungo la faglia.

UR2 (parte 2)

Strutture tridimensionali di velocità per Colfiorito e Città di Castello (Task2)

Si è partecipato alla campagna di acquisizione per registrare la sismicità di fondo nella zona di Città di Castello. Durante l'esperimento si sono installate 6 stazioni sismografiche portatili per un periodo di 8 mesi. Durante il mese di maggio, alla fine dell'esperimento, abbiamo installato le stazioni per quasi due settimane all'interno di Città di Castello per ottenere dati per svolgere studi di amplificazione locale.

Il nostro lavoro è stato svolto in stretta collaborazione e coordinazione con gli altri gruppi che partecipano al progetto. A questo riguardo e col fine di agevolare quanto più possibile l'interazione con i dati, si è approntato in stretta collaborazione con Anthony Lomax un sistema ed il relativo software per la visualizzazione e la lettura delle fasi dei sismogrammi registrati.

Tutto ciò era indispensabile perchè nell'esperimento si è utilizzata strumentazione alquanto eterogenea ed era necessario automatizzare lo scaricamento dei dati l'identificazione degli eventi dalle registrazioni continue effettuate. In Fig. 2 si presenta un diagramma a blocchi che illustra il flusso dei dati adottato nell'analisi dei dati durante l'esperimento. Tutto il percorso dei dati è stato realizzato in modo da essere il più indipendente possibile dai formati dei dati di ingresso in maniera da utilizzare procedure di elaborazione omogenee e consistenti. L'altro obiettivo principale è stato quello di realizzare l'accesso ai dati da elaborare tramite server web per permettere a tutti gli interessati di lavorare in remoto sulla loro piattaforma preferita utilizzando esclusivamente un web browser.

Per le successive operazioni di visualizzazione ed elaborazione dei dati è stata realizzata un'interfaccia utente html su server web. Tramite una serie di applicazioni CGI, l'utente può accedere all'evento di interesse come utilizzando un normale file manager. Raggiunto l'evento di interesse può esaminarne lo stato di elaborazione ed accedere alle forme d'onda per le analisi successive. Per la visualizzazione dei dati e la successiva analisi dei tempi di arrivo è stata utilizzata l'applicazione JAVA SeisGram2K realizzata da Anthony Lomax (<http://www.alomax.net>) (vedi Fig. 3).

Per quanto concerne la struttura di velocità nella zona di Colfiorito, si è ottenuta in collaborazione con la UR1 ed è stata trasmessa alle UR che svolgono la modellistica mediante forme d'onda complete. Infine, è in avanzata preparazione il CD con i dati dell'esperimento di Sellano (TOMOSEL) del 1999.

▪ PRODOTTI DELLA RICERCA

- 1 presentazione a convegni;
- Codice di calcolo per macchine parallele (Cray T3E e SGI Origin 2000).

▪ ELENCO PUBBLICAZIONI

Seriani G., Wave propagation modeling in complex media by using spectral methods: Recent advances. *Invited Lecture at 5th Int. Conf. on Theor. and Comp. Acoustics (ICTCA 2001), May 21-25, 2001, Beijing, China.*

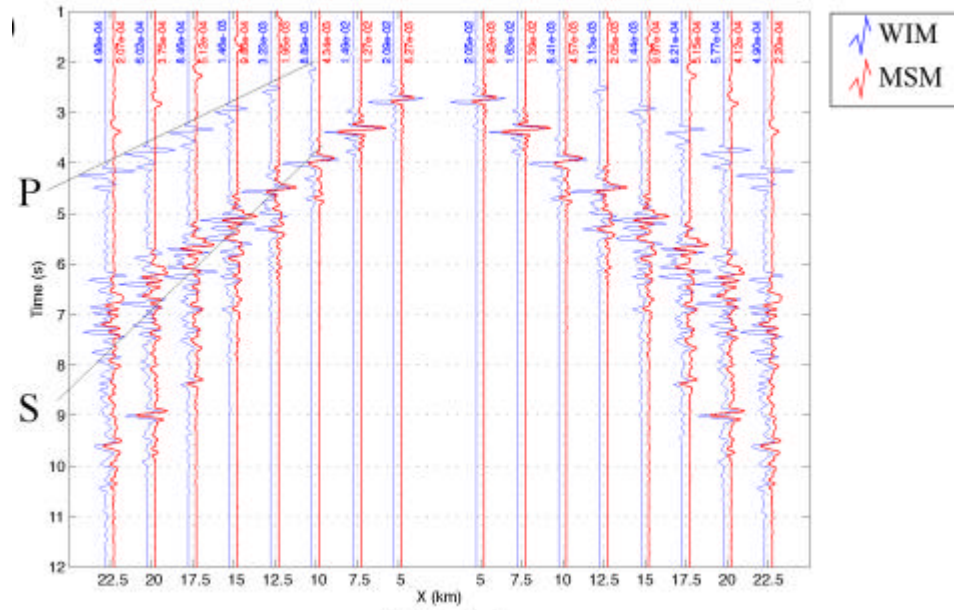


Fig.1- Sismogrammi (componente radiale) MSM (linee rosse, spesse) e WIM (linee blu, sottili) per una sorgente puntiforme posta alla profondità di 6 km. Le serie temporali sono comparabili a coppie (su distanze comuni) e sono normalizzate in funzione della distanza.

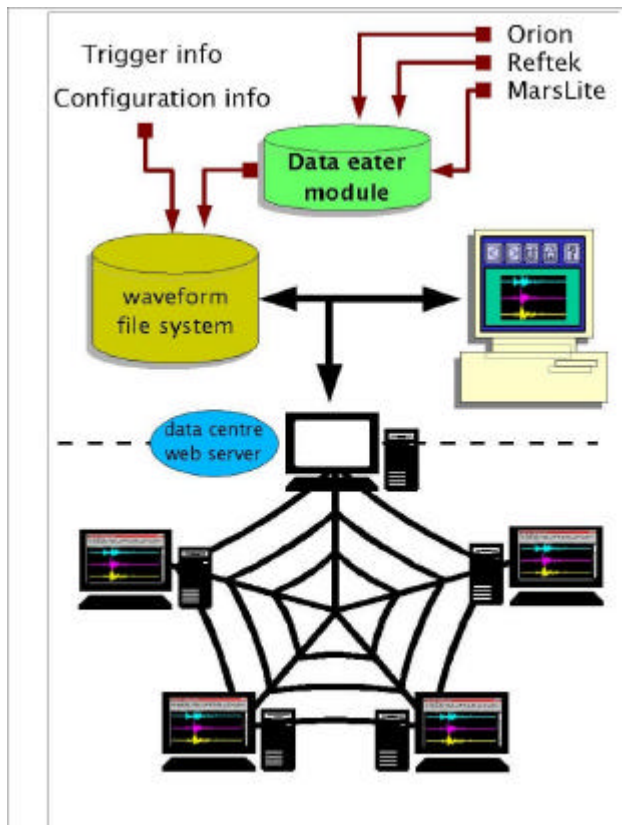


Fig.2 – Diagramma a blocchi che è stato utilizzato per l’analisi preliminare dei dati acquisiti a Città di Castello.

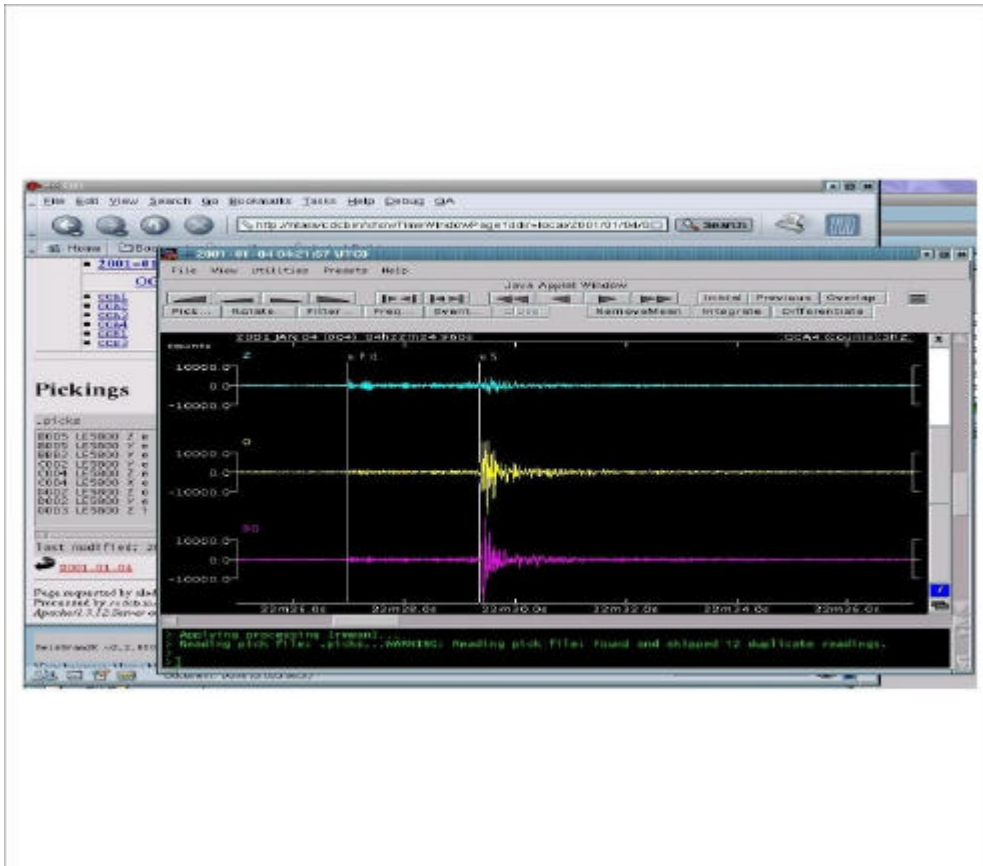


Fig.3 – Visualizzazione e letture delle fasi primarie attraverso l'applicazione JAVA di Antony Lomax (SeisGram2K vedi <http://www.alomax.net>).

Unità di Ricerca UR3

Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II”

Responsabile dell’Unità di Ricerca

Nome-Qualifica: Aldo Zollo, Professore Associato

Afferenza: Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II”

RAPPORTO DI ATTIVITA' – 1° ANNO

PARTECIPANTI ALL’UNITA’ DI RICERCA

Nome-Qualifica	Afferenza	mesi/uomo
Aldo Zollo, Professore Associato	Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II”	3
Antonio Emolo, Dottorando	Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II”	6
Gaetano Festa, Dottorando	Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II”	9
André Herrero, Art. 36	INGV, Roma	6
Maria Lancieri, Laureanda	Dipartimento di Scienze Fisiche, Università di Napoli “Federico II”	12
Stefan Nielsen, Art. 36	INGV, Roma	6

A questa unità di ricerca è associata una ulteriore unità che si occupa dello *Studio elettrico ed elettromagnetico ad alta risoluzione: applicazione al sistema di faglie umbro-marchigiano*. La responsabile della sotto-unità di UR3 è la Prof.ssa Agata Siniscalchi del Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari e i partecipanti al gruppo di ricerca sono:

Nome-Qualifica	Afferenza	mesi/uomo
Agata Siniscalchi, Professore Associato	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	4
Salvatore de Lorenzo, Assegnista di ricerca	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	3
Ida Diaferia, Dottoranda	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	5
Mariano Loddo, Professore Ordinario	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	2
Domenico Schiavone, Professore Associato	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	1
Antonio Tramacere, Professore Associato	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	1
Ruggiero Quarto, Ricercatore Confermato	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	5
Giovanni Montrone, Tecnico	Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari	1

▪ OBIETTIVI 1° ANNO

1. Sviluppo e test di una metodologia di somma delle Funzioni di Green Empiriche basata sul modello k-quadro.
2. Parametri di sorgente dei terremoti: studio numerico della correlazione tra i parametri cinematici e dinamici della frattura.
3. Sviluppo e test di un metodo di calcolo delle funzioni di Green basato sul teorema di reciprocità mediante differenze finite 3D.

Sono stati aggiunti due nuovi obiettivi non presenti nel progetto originario:

4. Sviluppo ed applicazione di un metodo di inversione non lineare di dati sismici a corto periodo.
5. Simulazione del moto forte del suolo per l'area di Colfiorito.

Per venire incontro alle esigenze globali del progetto, per le quali era preferibile produrre simulazioni strong motion, si è preferito rinviare l'obiettivo 3 agli anni successivi e aggiungere gli obiettivi 4 e 5.

▪ RISULTATI° ANNO

Obiettivo 1. Le tecniche di somma di funzione di Green empiriche sono state introdotte da Hartzell (1978). Il metodo consiste nell'uso della registrazione di piccoli eventi sismici, spesso aftershocks, come funzione di Green. Queste tecniche sono usate per studiare la storia della rottura di un evento principale, deconvolvendo la registrazione di questo evento ad un sito per la registrazione di un piccolo evento localizzato vicino all'evento principale e registrato al medesimo sito. Un'altra applicazione di questo metodo è la stima di un evento maggiore tramite la registrazione di piccoli eventi, migliorando soprattutto la modellistica della propagazione delle onde. Il principale problema di queste tecniche risiede nel numero elevato di restrizioni associate alla loro messa in opera. La restrizione principale riguarda il fatto che la geometria sito-sorgente è fissata dalla funzione di Green empirica. Un altro problema è il metodo di somma usato per modellare l'evento principale. Infatti il nome "somma di funzioni di Green empiriche" non è una scelta felice visto che il principio che deve essere applicato alla funzione di Green empirica non è una somma ma una convoluzione se si ragiona nel dominio del tempo. Considerando che il modello di sorgente cinematico k-quadro di Herrero e Bernard (1994) può essere visto come una tecnica di somma di funzioni di Green sintetiche sul piano di faglia (Herrero, 1994), abbiamo usato questo modello per sviluppare un codice di somma di funzioni di Green. Questo codice è stato applicato ai dati della sequenza sismica di Colfiorito del 1997 utilizzando la registrazione del foreshock del 3 settembre 1997 come funzione di Green. Anche se la forma spettrale di questa funzione di Green non sembra rispettare una forma di tipo omega-quadro, ipotesi sulla quale è basata la tecnica, ed il risultato ottenuto mostra un buono accordo con i dati relativi al primo mainshock. Questo dimostra che la forma spettrale contiene effetti di propagazione importanti e che le ipotesi di auto similarità alla base del modello k-quadro possono applicarsi correttamente a questo evento, una volta che questi sono adeguatamente corretti.

Obiettivo 2. Per scoprire come lo sforzo, il tasso di dislocazione e lo slip finale sono correlati sulla superficie della faglia, è necessario che la nostra comprensione evolva dai casi omogenei verso ambienti sempre più complessi e realistici. In un primo passo in questa direzione descriviamo le proprietà di una frattura impulsiva che attraversa inhomogeneità semplici e ben definite nel campo di sforzo iniziale. La Figura 1A descrive un campo di sforzo iniziale eterogeneo, composto da un'asperità centrale circondata da una striscia di sforzo maggiore. La frattura si propaga in 3D, ma il modello comporta una implicita simmetria cilindrica. Studiamo quindi come il sistema viene alterato dal passaggio della frattura, paragonando le distribuzioni finale ed iniziale di sforzo e di dislocazione. Un risultato importante è il fatto che una delle proprietà dell'impulso di frattura, il tasso di espansione locale (Figura 1D), è essenzialmente prevedibile a partire dallo sforzo locale nei modelli inhomogenei, data una legge di attrito e le proprietà elastiche del

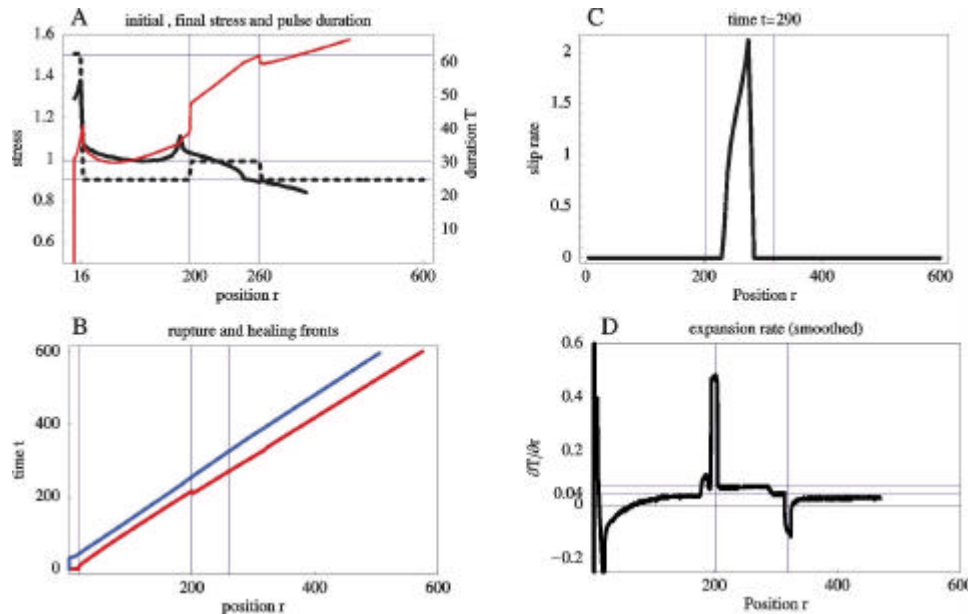


Figura 1. (A) sforzo iniziale (curva nera a trattini), sforzo finale (curva nera continua) e durata dell'impulso (curva rossa) in funzione della posizione r . (B) Posizione dei fronti di frattura e di arresto in funzione del tempo. (C) Slip rate al tempo $t=290$, in funzione della posizione r relativa al punto di enucleazione. (D) Tasso d'espansione dell'impulso in funzione della posizione. La collocazione dei gradini di sforzo è richiamata dalle due linee verticali in blu. Notare la correlazione tra le diverse variabili, e lo shift nello sforzo finale.

Obiettivo 3. mezzo. Un esempio di impulso appare nella Figura 1C. A parte le suddette variazioni del tasso d'espansione dell'impulso, si possono reperire espansioni o contrazioni immediate dell'impulso nei siti ove sono collocate le variazioni di sforzo (Figura 1A e 1B). Troviamo inoltre che la distribuzione finale dello sforzo è una versione alterata della distribuzione iniziale (Figura 1A). L'alterazione si osserva a quattro livelli: (1) un filtraggio che fa sparire certe caratteristiche iniziali della distribuzione, alle lunghezze d'onda inferiori alla larghezza dell'impulso stesso; (2) nuove caratteristiche dall'andatura impulsiva appaiono in correlazione ai gradini di sforzo, (3) appaiono nuovi trend a larga banda, e, (4) la posizione dell'eterogeneità finale è spostata, rispetto a la posizione iniziale, nella direzione opposta alla propagazione della frattura. La lunghezza dello spostamento è controllata dalla dimensione dell'impulso di frattura (Figura 1C). In quanto riguarda i metodi numerici, abbiamo apportato varie migliorie al tool di simulazione numerica del campo d'onda completo (codice alle differenze finite), sia in 2D che in 3D. a) I codici comportano ora delle condizioni di bordi assorbenti molto efficienti (PML o "Perfect Matching Layer" introdotte da Tsogka e Collino); questo punto è essenziale per la simulazione dinamica di sorgenti estese, infatti, consente di limitare le dimensioni della "scatola" che contiene la faglia stessa, dove viene effettuato il calcolo del campo completo. In conseguenza si possono aumentare le dimensioni effettive della faglia. b) Il codice è stato ottimizzato per un calcolo più efficiente su macchine parallele. Lavoriamo adesso a una versione MPI da implementare su clusters. c) È stato scritto un codice basato sulla simmetria cilindrica, che permette un'esplorazione estesa dello spazio di parametri per modelli semplici (la simmetria permette di ridurre le equazioni 3D in $\{x,y,z\}$ a un calcolo 2D in $\{r,z\}$).

Obiettivo 4. È stata implementata una tecnica di ottimizzazione non lineare per la determinazione della storia di rottura a partire da registrazioni sismiche di alta frequenza ottenute in condizioni far-field near-source. Il modello di rottura assume che ciascun punto sulla faglia dislocchi al passaggio del fronte di rottura secondo una funzione rampa di ampiezza variabile da punto a punto. Le funzioni di Green sintetiche sono calcolate mediante la soluzione asintotica dell'equazione d'onda in un mezzo di propagazione 1D. Le distribuzioni

della dislocazione finale e della velocità di rottura sulla faglia sono parametrizzate su una griglia regolare di nodi (punti di controllo) e i valori di tali grandezze in ciascun punto sulla faglia sono ricavati mediante interpolazione con bi-cubic spline. La distribuzione dei tempi di rottura sulla faglia è calcolata a partire dalla distribuzione delle velocità di rottura utilizzando l'algoritmo di Podvin e Lecomte (1990). I parametri stimati mediante il processo di inversione sono i valori della dislocazione finale e della velocità di rottura nei punti di controllo. Il problema inverso viene risolto utilizzando una tecnica di inversione basata sull'algoritmo genetico per una funzione di fitness che misura la distanza tra i dati reali e sintetici. La strategia di inversione prevede che vengano eseguiti step successivi di ottimizzazione aumentando di volta in volta il numero di punti di controllo sul piano di faglia. Nei run iniziali, caratterizzati da un piccolo numero di punti di controllo, l'ottimizzazione viene eseguita consentendo che i valori di dislocazione finale e velocità di rottura nei punti di controllo possano variare su un ampio intervallo. Nei passi successivi l'ottimizzazione è effettuata restringendo via via i valori consentiti per i parametri ad intervalli di ampiezza sempre minore centrati sui modelli ottenuti ai passi precedenti. Questo è del tutto equivalente a spostarsi verso descrizioni dei parametri di sorgente caratterizzate da lunghezze d'onda decrescenti. La parametrizzazione ottimale (numero di punti di controllo) è scelta in accordo con il Minimum of the Akaike Information Criteria Estimate, criterio che corrisponde a trovare il compromesso migliore tra la bontà del fit e la semplicità del modello. Il metodo di inversione è stato applicato ad un caso sintetico basato sulla simulazione di un evento sismico realistico.

Obiettivo 5. Nell'ambito delle simulazioni del moto forte del suolo sono stati effettuati una serie di blind test in una situazione realistica coincidente con il terremoto di Colfiorito. Tali test hanno avuto lo scopo di confrontare i risultati ottenuti da diverse unità di ricerca con metodologie di simulazione differenti consentendo di stabilire la consistenza delle stime del tempo di arrivo, ampiezza, polarizzazione e forme spettrali delle principali fasi sismiche. Le metodologie utilizzate sono state la teoria asintotica del raggio (UR Zollo), il metodo dei numeri d'onda discreti (UR Zollo), il wave number integration method (UR Priolo), la tecnica dei modi normali (UR Suhadolc). Il primo test ha riguardato il confronto tra i sismogrammi che rappresentano la risposta impulsiva del mezzo di propagazione (funzione di Green) che si utilizzerà nella simulazione dei processi di frattura sulla faglia di Colfiorito. Il secondo test è stato invece finalizzato al confronto dei sismogrammi ottenuti utilizzando le Source Time Function solitamente adottate dai metodi utilizzati dalle diverse unità di ricerca. In particolare, sono state utilizzate una funzione sorgente di tipo rampa accoppiata alla teoria asintotica per il calcolo della funzione di Green (UR Zollo), una funzione sorgente triangolare accoppiata al metodo dei numeri d'onda discreti (UR Zollo), al wave number integration method (UR Priolo) e al metodo dei modi normali (UR Suhadolc), una funzione sorgente di Onhaka (UR Priolo) e una funzione sorgente di Gusev (UR Suhadolc). I rapporti, relativi ai blind test sono allegati al presente documento. La nostra UR ha coordinato e pianificato i blind test eseguiti ed ha curato l'assemblaggio dei contributi provenienti dalle varie UR che hanno partecipato ai blind test.

▪ PRODOTTI DELLA RICERCA

- n° pubblicazioni su riviste internazionali: 4
- n° pubblicazioni su riviste nazionali, atti, presentazioni a convegni, rapporti tecnici, etc.: 7
- banche dati: è disponibile il set di dati che costituiscono il risultato dei blind test; è in corso di costruzione una banca dati strong motion per terremoti italiani che vede attualmente disponibili i dati relativi al terremoto del Friuli (1976), al terremoto dell'Irpinia (1980), al terremoto di Augusta (1980) ed agli eventi umbro-marchigiani (1997).

- codici di calcolo: codice per la somma delle funzioni di Green empiriche basata sul k-quadro; codici 2D e 3D alle differenze finite con ottimizzazione e miglioramento delle condizioni ai bordi; codice cilindrico per il calcolo rapido di modelli con simmetria semplificata; codice in inversione non lineare basato sull'algoritmo genetico; codice di simulazione di sismogrammi sintetici basato sul k-quadro.
- ftp-site (ftp://luxgea1.na.infn.it/pub/OUTGOING/BLIND_TEST/) per l'archiviazione dei risultati e dei contributi relativi ai blind test.

ELENCO PUBBLICAZIONI

- Capuano P., A. Zollo, A. Emolo, S. Marcucci and G. Milana (2000). Rupture mechanism and source parameters of Umbria-Marche mainshocks from strong motion data. *Journal of Seismology*, 4: 463-478.
- Emolo A. (2001). Modelli di frattura dei terremoti crostali di media e forte magnitudo dall'inversione non lineare di registrazioni a corto periodo. Tesi di Dottorato in Geofisica e Vulcanologia, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.
- Emolo A., A. Gorini, G. Iannaccone e A. Zollo (2000). Il terremoto irpino del 1930: caratteristiche della sorgente sismica da simulazioni numeriche del processo di frattura. Atti del XIX Convegno Nazionale del GNGTS, Roma, Italia.
- Emolo A. and A. Zollo (2001a). Non linear inversion of high frequency seismic records for fault rupture kinematic parameters. EGS, XXVI General assembly, Nice, France.
- Emolo A. and A. Zollo (2001b). Accelerometric radiation simulation for the September 26, 1997 Umbria-Marche (Central Italy) mainshocks. *Annali di Geofisica*. In stampa.
- Festa G. (1999). Propagazione delle onde sismiche in mezzi viscoelastici attraverso una tecnica alle differenze finite nel dominio delle frequenze. Tesi di Laurea in Fisica, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.
- Festa G. and S. Nielsen (2001). Use of the Perfect Matching Layer technique for efficient boundary absorbing conditions in 3D elastic finite-differences. In preparazione.
- Lancieri M. (2001). Simulazioni di forti movimenti del suolo mediante l'uso di Funzioni di Green Empiriche. Tesi di Laurea in Fisica, Università di Napoli "Federico II", Napoli, Italia.
- Nielsen S. and J Carlson (2001). Properties of self-healing fracture pulses propagating through inhomogeneous stress. In preparazione.
- Zollo A. and A. Emolo, (2000a). Modelling of ground acceleration field in the Catania area associated with the ibleo-maltese fault system. In "The Catania project", E. Faccioli and V. Pessina eds., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, CNR, Italia, pp. 84-89.
- Zollo A., A. Emolo e S. Nielsen (2000b). Modellazione della radiazione accelerometrica ed applicazione a problematiche di rischio. LXXXVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, Palermo, Italia.

Unità di Ricerca UR4 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano (ex-IRRS CNR)

Responsabile dell'Unità di Ricerca

Franceschina Gianlorenzo - Ricercatore a tempo determinato
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Sezione di Milano

RAPPORTO DI ATTIVITA' I° ANNO

PARTECIPANTI ALL'UNITÀ DI RICERCA

Franceschina Gianlorenzo / GNDT ex art.23	INGV-MI	12 m.u./anno
Corsi Adelmo / CPT	IRRS-MI	1 m.u./anno
Daminelli Rosastella / OTP	IRRS-MI	1 m.u./anno
De Franco Roberto / PR	IRRS-MI	6 m.u./anno
Maistrello Mariano / STER	INGV-MI	1 m.u./anno
Marcellini Alberto / DR	IRRS -MI	1 m.u./anno
Pacor Francesca / Collaboratore	INGV-RM1	8 m.u./anno
Pagani Marco / Collaboratore	DISTER-MI	1 m.u./anno
Tento Alberto / STER	IRRS-MI	1 m.u./anno

OBIETTIVI I° ANNO

task 2

1. Caratterizzazione geofisica di dettaglio delle coperture dei siti di Sellano e Città di Castello.

task 4

1. Valutazione dei parametri di attenuazione da utilizzare per il calcolo dei sismogrammi sintetici
2. Sviluppo di una metodologia ibrida per il calcolo di sismogrammi sintetici applicabile ad aree estese (in collaborazione con UR1).

RISULTATI I° ANNO

task 2

•Acquisizione dati

1. Si sta procedendo all'acquisizione e all'elaborazione di dati sismometrici nel centro urbano di Città di Castello volta alla valutazione degli effetti di sito. Il relativo database è in fase di pre-processamento.
2. È stato effettuato uno studio di fattibilità finalizzato al campionamento della Valle del Tevere nell'area di Città di Castello con un'acquisizione sismometrica ad alta risoluzione estesa anche alle zone a ridosso degli affioramenti a ovest e a est del centro urbano. Nell'esperimento sono state utilizzate 35 stazioni sismometriche mobili, e oltre all'acquisizione dell'array lineare sono state effettuate serie di misure di microtremori sia sull'array, sia nel centro urbano.

task 4-punto 1)

•Acquisizione dati

A partire dai dati raccolti durante la campagna di microzonazione che nel periodo Ottobre-Novembre 1997 ha monitorato 21 siti localizzati nell'area urbana della città di Fabriano, sono state selezionate circa 1500 registrazioni 3D relative a 40 eventi del periodo 4-14 Novembre 1997 e a 30 eventi del periodo 4-6 Ottobre 1997. L'obiettivo di questa

fase della ricerca consiste nella verifica di una possibile correlazione tra i risultati ottenuti nelle indagini di microzonazione e il valore del parametro k di decadimento spettrale

•Sviluppi metodologici

La valutazione di k nei diversi siti monitorati è stata effettuata utilizzando esclusivamente gli eventi di magnitudo più elevata ($M_L > 3.5$), allo scopo di disaccoppiare la stima di k da quella dei parametri che caratterizzano lo spettro sorgente. Il trade-off fra parametri di attenuazione e parametri di sorgente, che si manifesta in misura crescente al diminuire della magnitudo, non permette infatti determinazioni affidabili di k per eventi di bassa magnitudo.

•Interpretazione e modellistica

Le elaborazioni effettuate mostrano una buona stabilità nella stima del parametro di decadimento spettrale. Gli spettri di accelerazione ottenuti sono infatti ben interpolabili con un modello lineare almeno a partire da 5 Hz. Inoltre, nei diversi siti sembra esistere una correlazione fra il valore di k e l'andamento del rapporto spettrale in alta frequenza ($f > 5$ Hz circa) mentre, l'eventuale presenza picchi di amplificazione in bassa frequenza (ben rilevabile anche mediante la tecnica di Nakamura) sembra essere indipendente da k .

task 4-punto 2)

•Sviluppi metodologici

In collaborazione con UR1, è stata messa a punto una tecnica di simulazione ibrida finalizzata alla simulazione del moto sismico nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico.

Questa tecnica rappresenta uno sviluppo della metodologia proposta da *Mendez e Pacor, 1994* basata su un approccio ibrido in cui le basse frequenze sono simulate in modo deterministico e l'alta frequenza in modo stocastico.

Gli sviluppi principali sono stati:

- 1.implementazione di vari modelli di attenuazione della radiazione in alta frequenza;
- 2.automatizzazione del codice per la sua applicazione ad aree estese (grigliato);

•Interpretazione e modellistica

La tecnica ibrida messa a punto nel corso di questo progetto è stata applicata alla prima fase del *blind-test* di Colfiorito consistente nella generazione di sismogrammi sintetici utilizzando una sorgente puntiforme. Le simulazioni effettuate sono state confrontate con quelle ottenute dalle altre metodologie partecipanti al progetto. Il confronto con tecniche puramente deterministiche permette di valutare il grado di approssimazione presente nelle simulazioni del moto sismico effettuate con la tecnica ibrida.

PRODOTTI DELLA RICERCA

•Pubblicazioni

- 1.Franceschina G.L. (2000). "Allegato 2 - CD-ROM delle registrazioni velocimetriche delle repliche effettuate dalla rete installata a Fabriano", In Marcellini A.,Tiberi P.(eds.), CNR-GNDT / Regione Marche -Assessorato Protezione Civile / SSN,"La microzonazione sismica di Fabriano", pp.257-291, Biemmergraf, Piediripa di Macerata, 2000.
- 2.Franceschina G.L. (2001). "Stima di parametri per la simulazione del moto sismico di riferimento", Quaderni di Geofisica, 2001 (sottomesso).

•Banche dati

CD-ROM delle registrazioni di aftershocks e microtremiti effettuate in Fabriano dal 4/11/97 al 14/11/97.

Unità di Ricerca UR5

Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Trieste (DST-UniTS)

Responsabile dell'Unità di Ricerca

Nome-Qualifica: Peter Suhadolc, Professore Associato

Afferenza: Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Trieste (DST-UniTS)

Via E. Weiss, 4 - 34127 Trieste

RAPPORTO DI ATTIVITA' – 1° ANNO

PARTECIPANTI ALL'UNITA' DI RICERCA

Nome-Qualifica	Afferenza	mesi/uomo
Peter Suhadolc – Professore As.	DST-UniTS	3/12
Angela Saraò - Ricercatrice	DST-UniTS	4/12
Peter Klinc - Dottorando	DST-UniTS	3/12
Francesca Fitzko -Dottoranda	DST-UniTS	2/12

▪ OBIETTIVI I° ANNO - (Task 4)

I ANNO

- Calcolo di Sismogrammi Sintetici nell'area TRAINING: Colfiorito.
- Confronto, verifica e validazione dei risultati ottenuti dalle nostre modellazioni con quelle ottenute utilizzando altre metodologie.

▪ RISULTATI I° ANNO (Task 4)

- Interpretazione e modellistica :

Abbiamo modellato sollecitazioni sismiche nell'area campione di Colfiorito al fine di stimare la risposta del terreno per diverse sorgenti nell'approssimazione puntiforme. Nella nostra modellazione i sismogrammi sono calcolati con il metodo della somma modale per sorgenti sia puntiforme che estesa (Panza 1985, Panza e Suhadolc, 1987, Panza et al., 2000). I sismogrammi sono stati calcolati per diverse distanze (comprese tra 5 e 25 km) e azimuth dei ricevitori, per sorgenti poste a diverse profondità, con durate istantanee e non, così come utilizzando le leggi di scala proposte da Gusev (1983). Il meccanismo focale è uguale in tutte le modellazioni. I sismogrammi ottenuti sono stati confrontati con quelli calcolati nelle medesime condizioni utilizzando altre procedure di calcolo. I risultati di tale confronto sono stati riassunti in una relazione a cura del coordinatore del task (task 4). A titolo di esempio riportiamo in figura 1 le serie temporali da noi calcolate applicando le leggi di scala di Gusev (1983) per quattro diversi siti di registrazione.

Gusev, A.A, 1983. Descriptive statistical model of earthquake source radiation and its application to an estimation of short-period strong motion. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* **74**, 787-808.

Panza G.F., 1985. Synthetic seismograms: the Rayleigh waves modal summation, *J. Geophys.*, **58**, 125-145.

Panza G.F. and P. Suhadolc, 1987. Complete strong motion synthetics. In: B. A. Bolt (ed.) *Seismic Strong Motion Synthetics, Computational Techniques 4*, Academic Press, Orlando, 153-204.

Panza G.F., Romanelli, F. and Vaccari, F.; 2000: *Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: Theory and applications to seismic zonation*. Advanced in Geophysics, vol.43, 1-95.

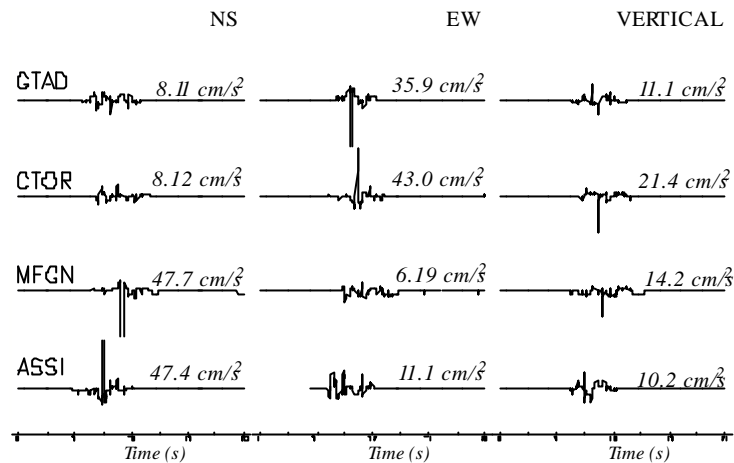


Fig.1 Gli accelerogrammi sono stati calcolati, applicando le leggi di scala di Gusev, per un meccanismo avente strike 144°, dip 42°, rake 280°. L'ipocentro (43°01.82', 12°51.51') e' posto a 6 km di profondita` mentre il momento sismico e' 1x10e18 Nm. Le distanze dai ricevitori sono di 20 (ASSI), 26 (MFGN), 24 (CTOR) e 23 (GTAD) km. I valori riportati sui sismogrammi in cm/s² sono i valori massimi assoluti di accelerazione (amaxa).

▪ PRODOTTI DELLA RICERCA (Task 4)

- E' stata scritta 1 relazione tecnica sul confronto dei sismogrammi calcolati lungo l'array col metodo modale e col metodo del numero d'onda integrato (UR –Priolo)
- Sismogrammi sintetici utilizzabili ai fini della stima dell'input sismico.

ELENCO PUBBLICAZIONI

Il lavoro svolto dalla nostra UR durante questo primo anno non e' stato ancora pubblicato.

Unità di Ricerca UR6

Dipartimento di Scienze della Terra - DIPTERIS-Universita' di Genova

Responsabile dell'Unità di Ricerca UR6 DIPTERIS-Universita' di Genova

Paolo Augliera Ricercatore

GNDT-INGV

RAPPORTO DI ATTIVITA' 1° ANNO

PARTECIPANTI ALL'UNITA' DI RICERCA

Nome-Qualifica	Afferenza	mesi/uomo
Paolo Augliera - Ricercatore	GNDT-INGV	4
Daniele Spallarossa - Ricercatore	GNDT-INGV	3
Elena Eva - Ricercatore	GNDT-INGV	3
Gabriele Ferretti - Dottorando	UNIGE-DIPTERIS	2
Paola Morasca - Dottorando	UNIGE-DIPTERIS	1
Stefano Solarino - Ricercatore	UNIGE-DIPTERIS	2
Dino Bindi - Assegno Ricerca	UNIGE-DIMA	1
Giacomo Careno - Funz. Tecnico	UNIGE-DIPTERIS	2
Pasta Marco - Funz. Tecnico	UNIGE-DIPTERIS	2
Enzo Zunino - Funz. Tecnico	UNIGE-DIPTERIS	2

▪ OBIETTIVI I° ANNO

Installazione di reti sismiche temporanee nelle zone test selezionate per l'acquisizione di dati di microterremoti e microtremore (task 2 e 5)

▪ RISULTATI I° ANNO

A partire dai primi di Ottobre del 2000, è iniziato l'esperimento di acquisizione sismologica in un'area compresa tra Umbria, Marche e Toscana. Più in particolare, l'area indagata rappresenta il settore dell'appennino umbro-marchigiano compreso tra Gualdo Tadino (e quindi il limite nord-occidentale della sequenza sismica 1997-98) e Sansepolcro. All'interno di questa area, si è impostata una geometria di rete in forma di grigliato regolare, allungato in direzione appenninica. L'UR6 ha gestito 6 delle stazioni collocate nel settore settentrionale utilizzando sensori LE-3D/5s accoppiati con acquisitori digitali MARSlite (4 stazioni con registrazione su supporto magneto ottico da 540 mb e 2 stazioni con hard disk da oltre 2 Gb). Tutte le stazioni erano alimentate a rete e registravano in continua. Il controllo periodico alle varie stazioni e' stato effettuato ogni 15 giorni fino al termine della campagna a maggio del 2001. A marzo del 2001 si e' provveduto ad una variazione della geometria di rete, riducendo l'interdistanza tra le varie stazioni con lo spostamento di 2 delle stazioni (alimentate con batterie esterne). Attualmente, dopo aver già provveduto allo scarico delle finestre temporali con possibile presenza di eventi sismici, in base alle indicazioni ricevute da un sistema di event detection automatizzato espressamente tarato per questo esperimento, si sta procedendo alla fase di picking delle forme d'onda ed alla determinazione focale degli eventi locali registrati. L'UR6 ha inoltre preso parte all'esperimento di microzonazione sismica condotto a Citta' di Castello nel maggio 2001 partecipando sia alla fase di acquisizione delle misure di microtremore che alla gestione delle stazioni poste in profilo nell'area test di Citta' di Castello per la raccolta di dati microsismici.

▪ PRODOTTI DELLA RICERCA

Si sta creando un data base delle forme d'onda e dei tempi d'arrivo dei terremoti locali registrati nel periodo ottobre 2000 - maggio 2001 dalle stazioni della rete sismica temporanea.

Sono stati sviluppati opportuni programmi per la detezione ed il riconoscimento automatico degli eventi sismici dalla

registrazione in continuo. Sono state sviluppate procedure per una rapida analisi dei rapporti spettrali da misure di microtremore.



Esempio di Installazione Stazioni
Rete Sismica Temporanea



Stazione CCN4
Localita' Valbaschina

Unità di Ricerca UR7

Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Milano

Responsabile dell'Unità di Ricerca

Alfredo Mazzotti, Professore ordinario
Università di Milano

RAPPORTO DI ATTIVITA' – 1° ANNO

PARTECIPANTI ALL'UNITA' DI RICERCA

Nome-Qualifica /Name-Position	Afferenza /Affiliation	mesi/uomo man/month
A. Mazzotti, Prof. Ord.	Università di Milano	2
L. Zanzi, Prof. Ord.	Politecnico di Milano	4
E. Stucchi, Tecnico	Università di Milano	4
G. Fradelizio, borsa CNR	Università di Milano	4
E. Zamboni, assegno di ricerca	Università di Milano	2
A. Grandi, assegno di ricerca	Politecnico di Milano	4

▪ OBIETTIVI I° ANNO

Task 1.

Nel primo anno di attività questa unità aveva come obiettivi la selezione delle linee sismiche NVR da rielaborare con priorità 1 e la produzione dei relativi risultati in termini di *stack* finali e di campi di velocità.

▪ RISULTATI I° ANNO

▪ Task 1.

- Definizione di una sequenza di elaborazione ottimizzata per evidenziare riflettori in profondità in aree caratterizzate da strutture complesse e da rapporto segnale-rumore basso. Questa sequenza di processing è particolarmente focalizzata sulla applicazione delle correzioni statiche, sulla ricerca e eliminazione automatica delle tracce rumorose, sull'ottimizzazione del tracciato slalom per la raccolta dei CMP e infine sul miglioramento del rapporto S/N dei dati sismici. Sono state selezionate due linee sismiche per sperimentare questa procedura di elaborazione, entrambe messe a disposizione da ENI-AGIP. Sono le linee PG-308-83-V e MC-347-81-V localizzate nell'area di Colfiorito. Entrambe le linee sono state selezionate per la loro importanza nella definizione delle strutture di sottosuperficie e per il riconoscimento delle faglie. Si tratta di profili acquisiti con sorgente Vibroseis e che mostrano problemi analoghi in termini di qualità del dato, in generale assai bassa.
- La linea PG-308-83-V è stata rielaborata due volte. Nella prima rielaborazione l'attenzione è stata puntata sui riflettori profondi come ad esempio quelli tra 4 s e 4.5 s nel segmento centrale della linea (CMP 900 – 1250) che in effetti siamo riusciti a evidenziare (figura 1). La seconda rielaborazione è stata invece finalizzata a ricostruire meglio la parte superficiale (fino a 2 s) per l'intero profilo in modo da evidenziare la presenza di faglie vicine alla superficie o addirittura affioranti. In figura 2 si mostra un esempio di risultato ottenuto e il confronto con lo stesso segmento estratto dalla sezione *stack* originale prodotta nel 1983.
- I dati del profilo MC-347-81-V sono stati elaborati fino alla produzione di uno *stack* preliminare. Durante l'elaborazione è stata ricavata una stima del campo di velocità 2D per le onde P, mostrato in figura 3, il cui confronto con la funzione di velocità 1D, ricavata da dati sismologici da altri partner del progetto, ha evidenziato un buon accordo almeno fino a 4000 m di profondità (figura 4). Questo risultato suggerisce che è possibile usare le velocità P ricavate dalla sismica a riflessione come vincoli spazialmente densi sia per la rilocalizzazione degli ipocentri che per la determinazione dei meccanismi focali o come input per gli algoritmi

di inversione tomografica. Il lavoro e' proseguito fino alla produzione di una sezione stack preliminare. In figura 5 si può osservare il confronto in un tratto del profilo tra il risultato finale prodotto nel 1982 e il risultato preliminare dopo la nostra rielaborazione. E' evidente il miglioramento della qualità dell'immagine sismica: si noti ad esempio la definizione dello strato pendente che si estende dalla superficie fino a circa 1.5 s.

- I dettagli specifici delle operazioni di rielaborazione e della scelta dei parametri di processing sono disponibili nel riferimento bibliografico di seguito indicato.

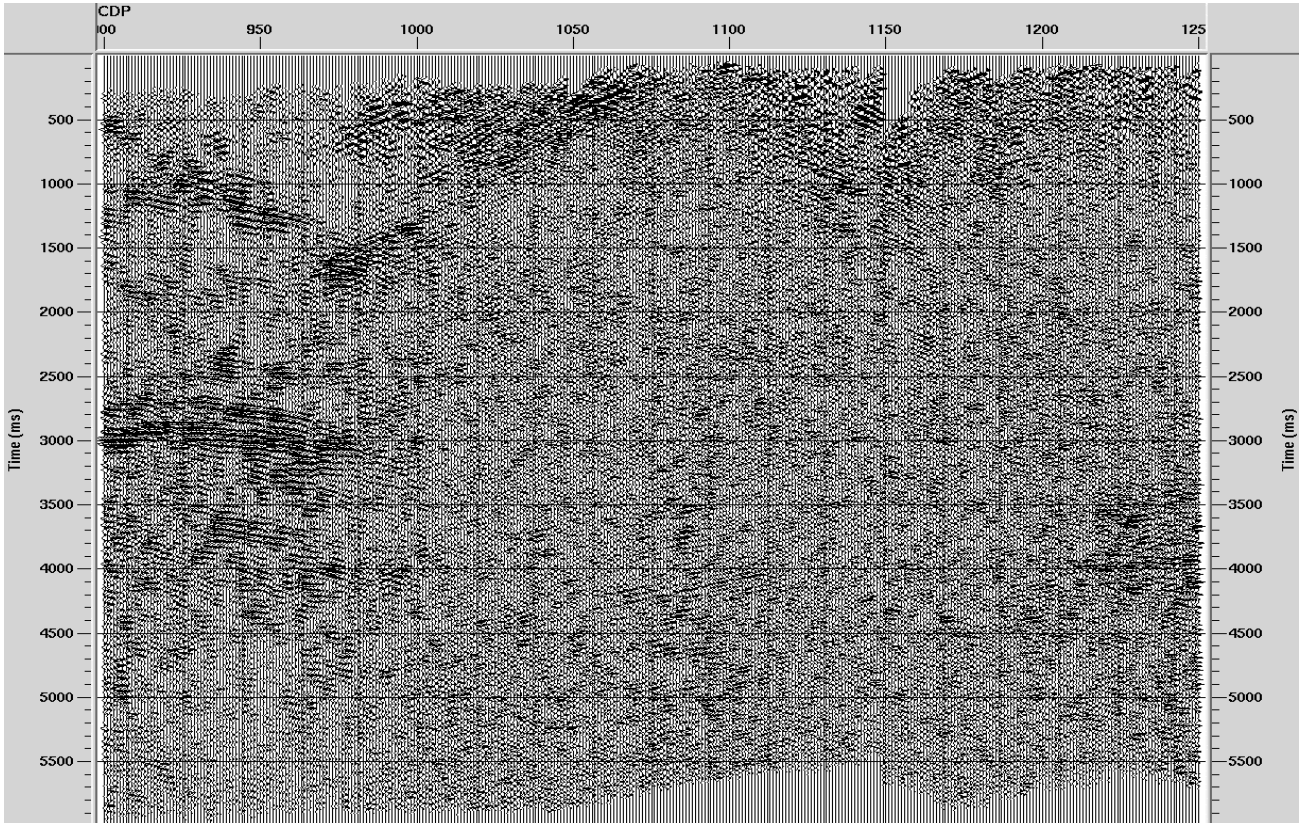


Figura 1a). Sezione centrale della linea PG-308-83-V dopo la rielaborazione.

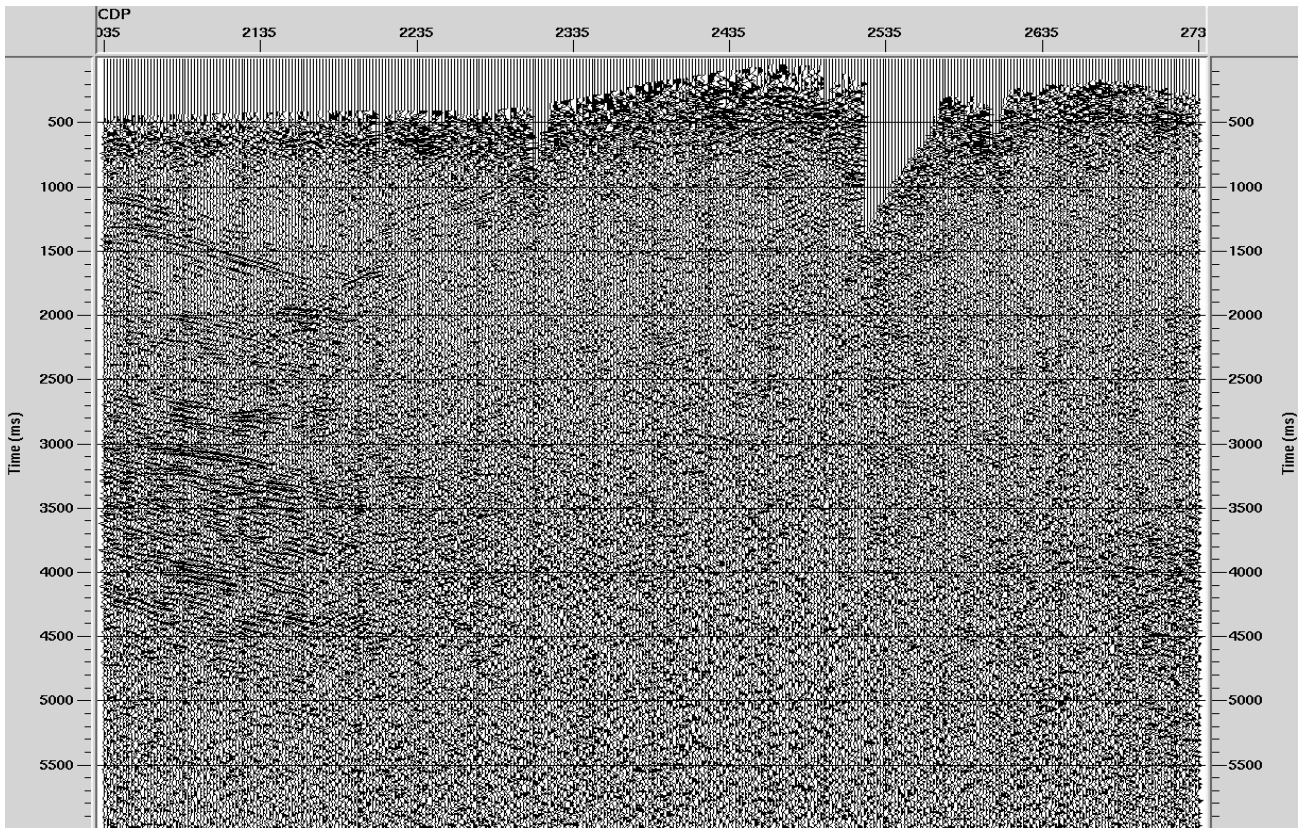


Figura 1b). Stessa porzione della linea PG-308-83-V in (a) dopo l'elaborazione eseguita nel 1983.

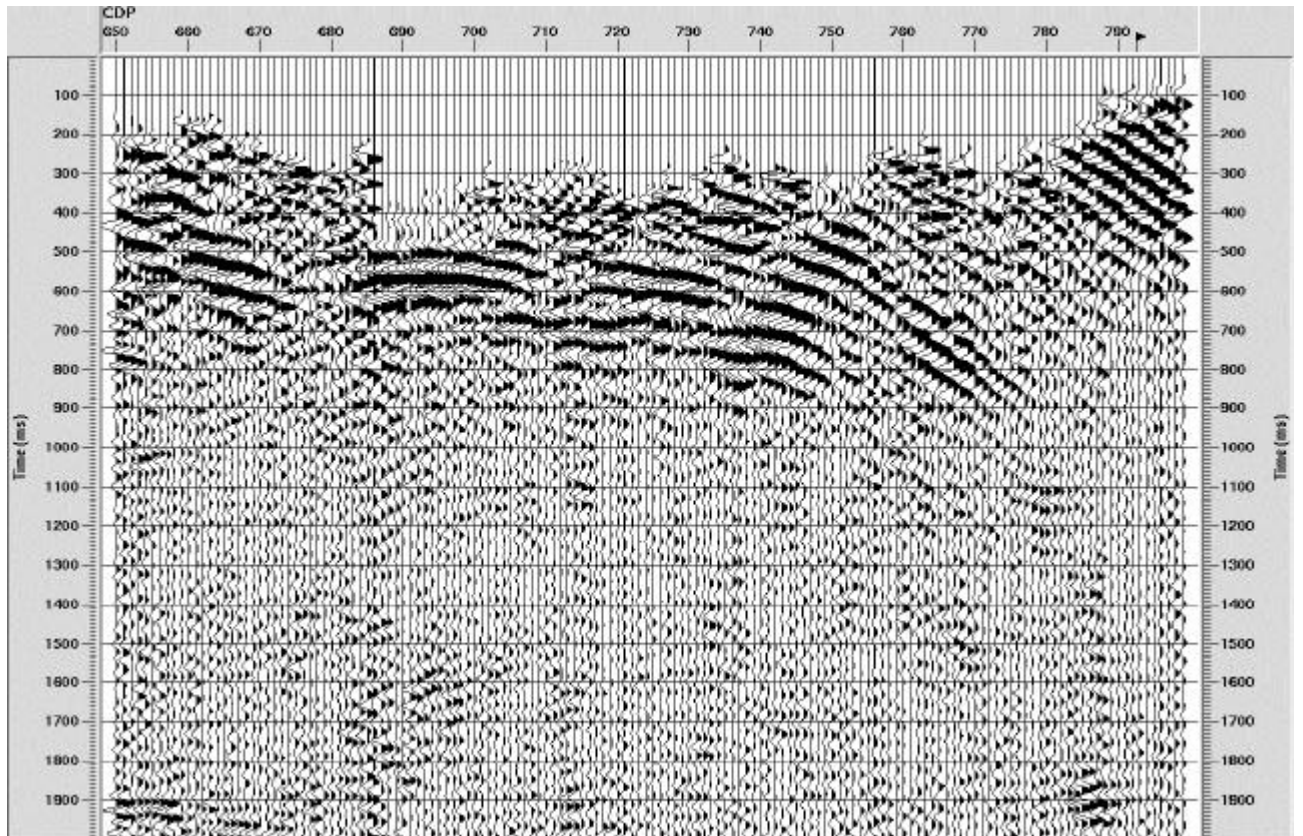


Figura 2a). Porzione superficiale della linea PG-308-83-V tra i CMP 650 e 800.

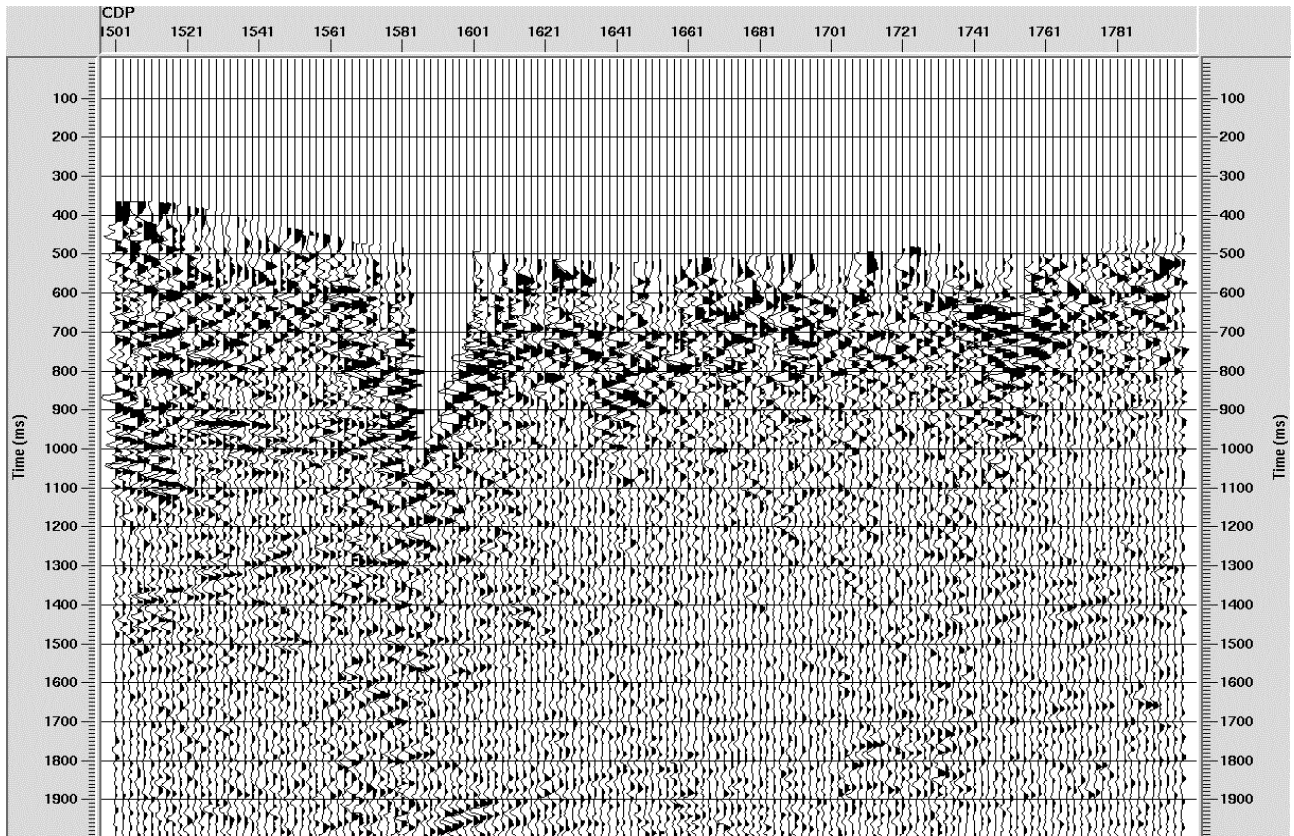


Figure 2b). Stesso segmento della figura precedente dopo il processing del 1983

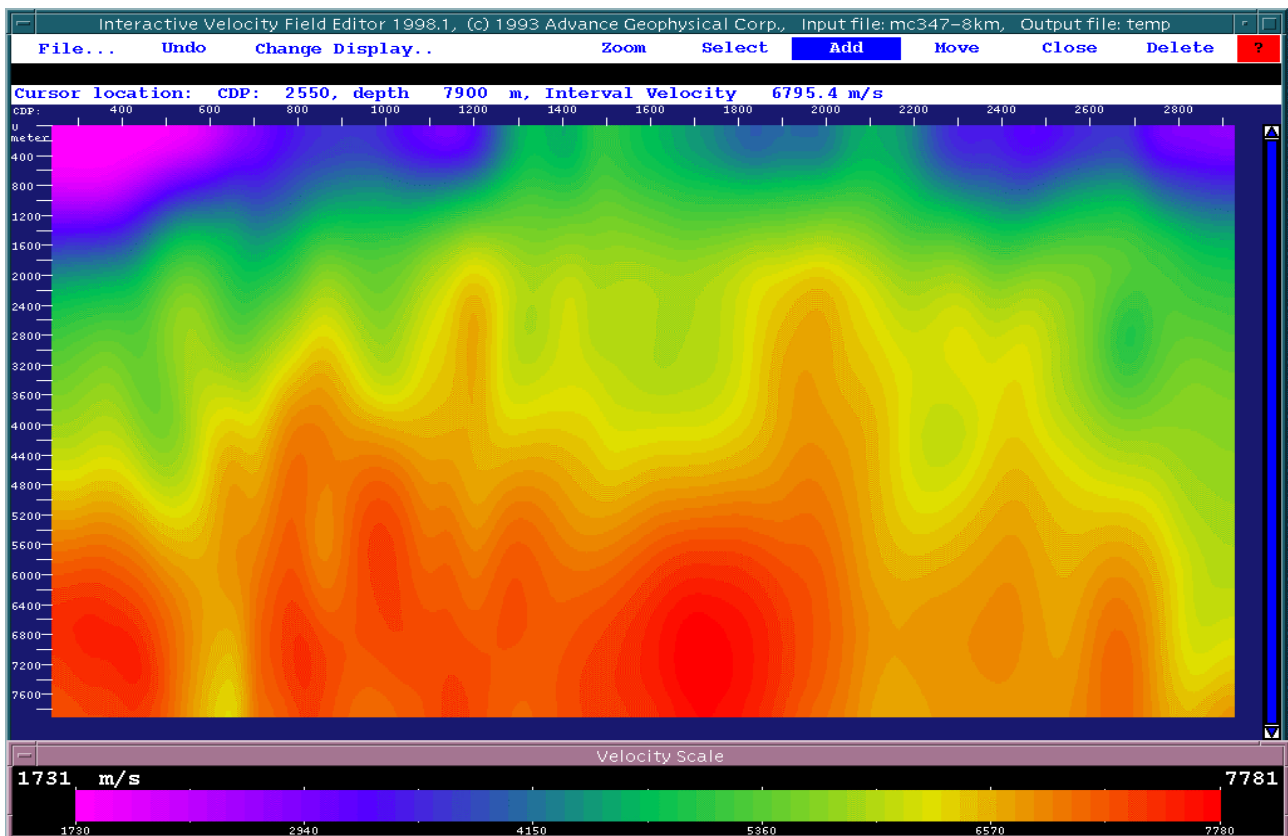


Figura 3. Campo di velocità intervallare delle onde P relativo alla linea MC 347-81-V fino a 8 km di profondità.

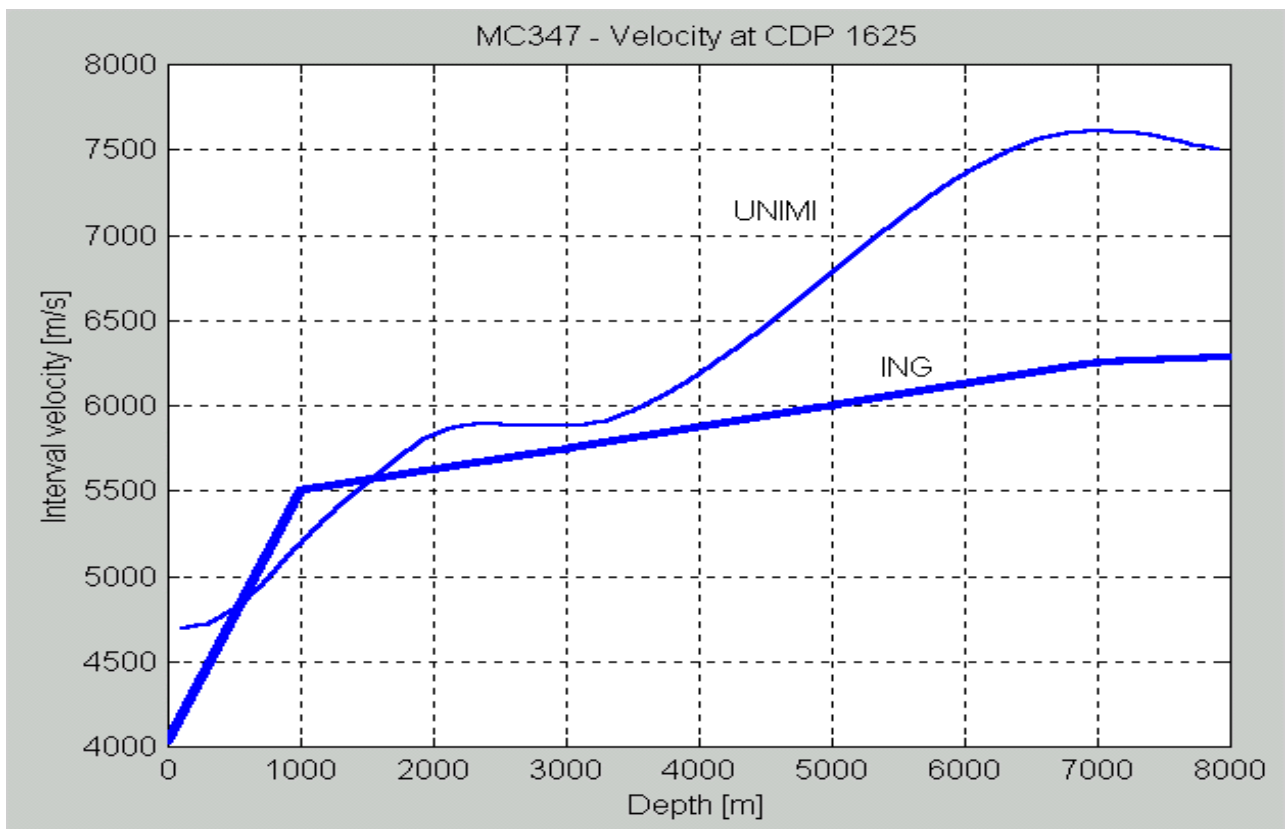


Figura 4. Andamento del campo di velocità P intervallare al CMP 1625 della linea MC 347-81-V ottenuto dalla rielaborazione (curva UNIMI) e da dati sismologici da altri partner del progetto (curva ING).

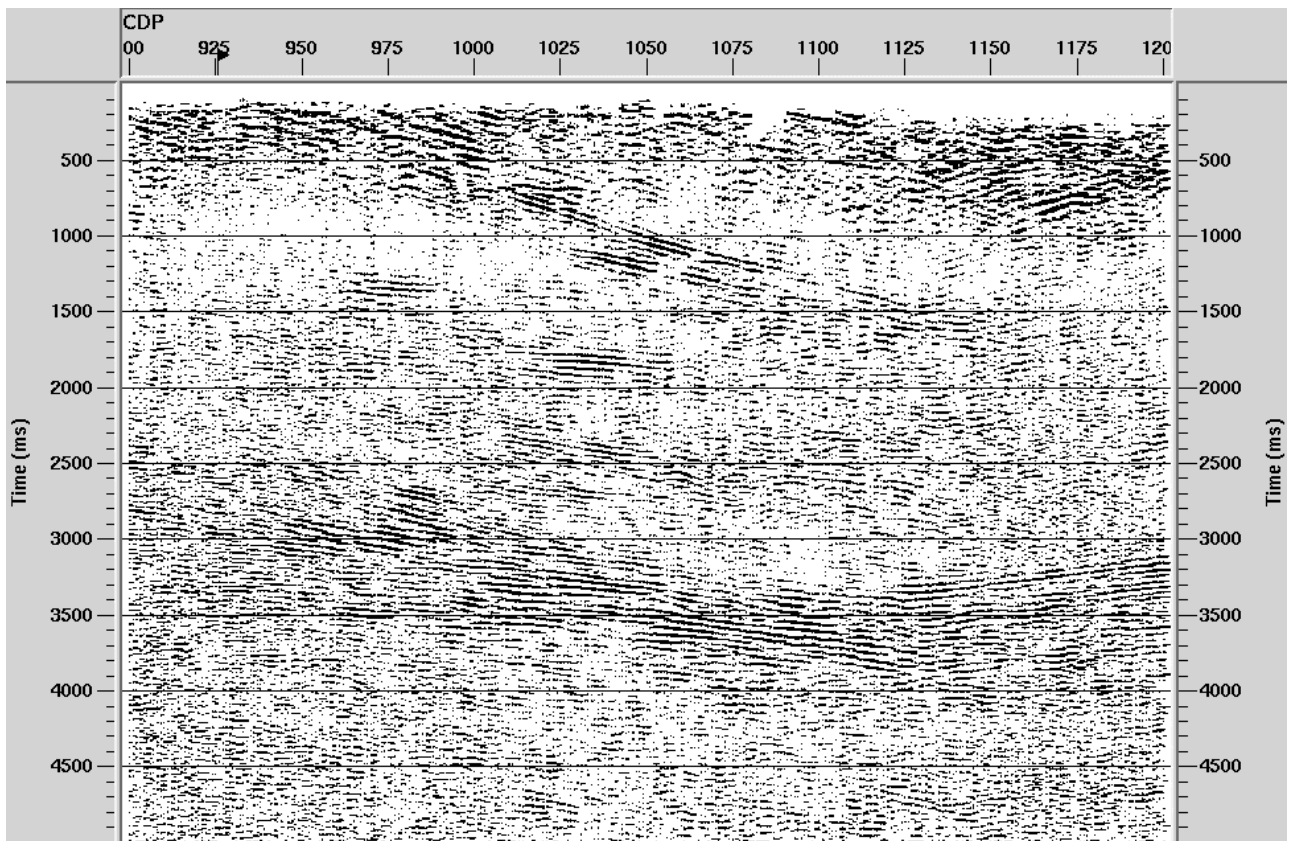


Figura 5a). Segmento della linea MC 347-81-V dopo il reprocessing effettuato.

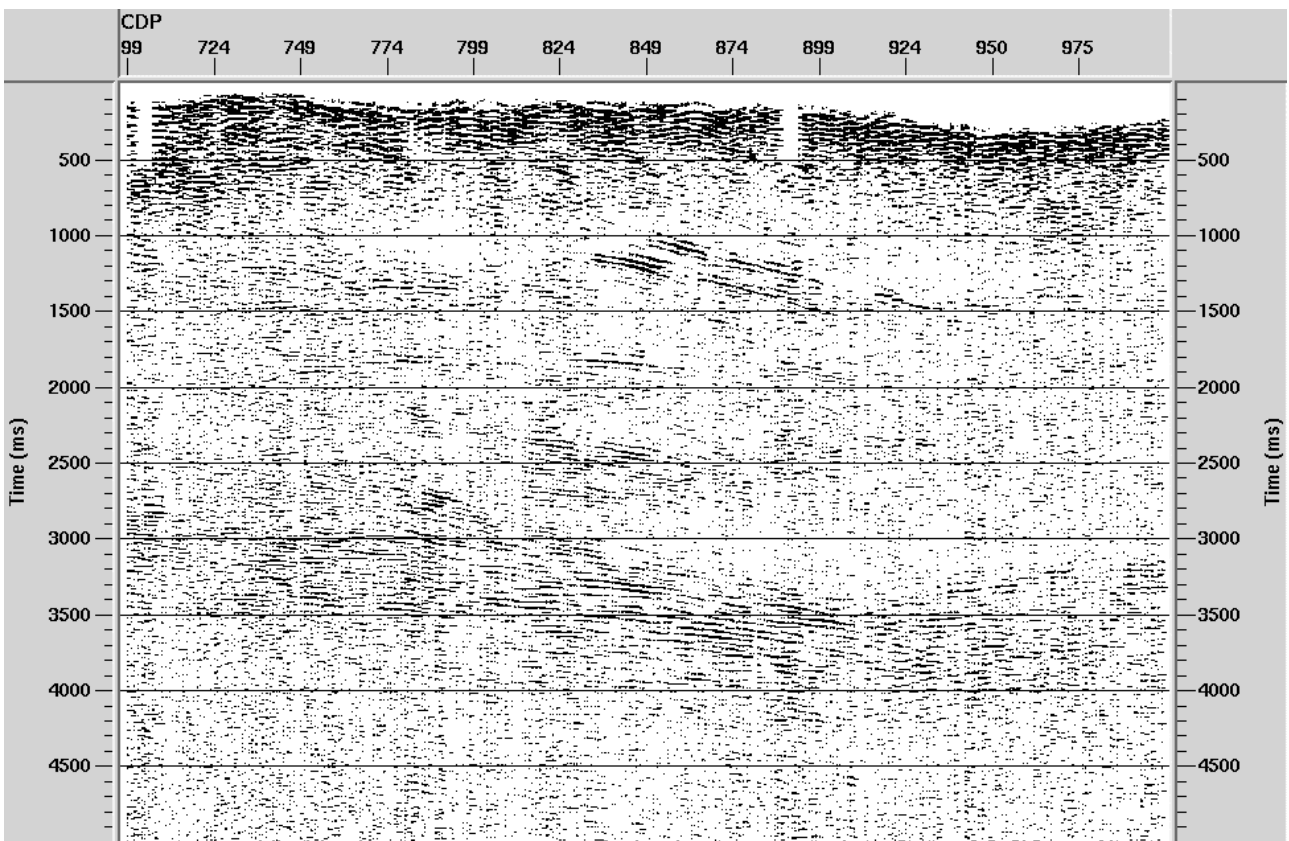


Figura 5b). Stessa porzione di figura 5a dopo il processing del 1982.

- PRODOTTI DELLA RICERCA/RESEARCH PRODUCTS
- Task1
 - Sezioni stack NVR finali in tempi per la linea PG-308-83-V. Due versioni (superficiale e profonda).
 - Sezione stack NVR preliminare in tempi per la linea MC-347-81-V.
 - Campo di velocità 2D per le onde P per entrambe le linee.
 - Una presentazione scientifica ad un congresso nazionale (GNGTS 2000)

ELENCO PUBBLICAZIONI/PUBLICATIONS LIST (includendo lavori in stampa e sottomessi)

Fradelizio G.L., Stucchi e., Grandi A., Zanzi L., Mazzotti A. (2000): Esperienze di incremento del rapporto S/N su dati sismici a riflessione. Convegno Nazionale di Geofisica della Terra Solida, 7-9 Novembre, Roma.