



ISTITUTO NAZIONALE

DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE

# **CARATTERIZZAZIONE DI UNA ZONA DI FAGLIA NELL'AREA DEL BACINO DEL SULCIS: SISMICA A RIFLESSIONE**

## **ELABORAZIONE**

**Piano triennale di Realizzazione 2014-2016**

**Linea 2"Caratterizzazione del bacino del Sulcis per il confinamento della CO<sub>2</sub>"**

**Michela Giustiniani**

**Flavio Accaino**

**Umberta Tinivella**

**Relazione 2016/67 SEZ. GEO 7 GIANT**

Borgo Grotta Gigante, 42/C  
34010 Sgonico (Trieste)

Tel. +39 040 21401  
Fax +39 040 327307

Cod. Fisc. e Partita IVA: 00055590327  
CEE IT 00055590327

E-mail: [mailbox@ogs.trieste.it](mailto:mailbox@ogs.trieste.it)  
<http://www.ogs.trieste.it>

## **INDICE**

### **1. INTRODUZIONE**

### **2. DATI SISMICI**

### **3. ELABORAZIONE DATI SISMICI**

#### **3.1 INVERSIONE TOMOGRAFICA DEI PRIMI ARRIVI**

#### **3.2 ELABORAZIONE DELLE LINEE HR\_1, HR\_2 E HR\_3**

### **4. CONVERSIONE TEMPO-PROFONDITA'**

### **5. CONFRONTO PRELIMINARE TRA DATI SISMICI E DATI ELETTROMAGNETICI**

### **6. DISCUSSIONE DEI RISULTATI**

## **TAVOLE**

**TAVOLA 1: SEZIONE STACK DELLA LINEA HR\_1**

**TAVOLA 2: SEZIONE STACK DELLA LINEA HR\_2**

**TAVOLA 3: SEZIONE STACK DELLA LINEA HR\_3**

**TAVOLA 4: SEZIONE MIGRATA DELLA LINEA HR\_1**

**TAVOLA 5: SEZIONE MIGRATA DELLA LINEA HR\_2**

**TAVOLA 6: SEZIONE MIGRATA DELLA LINEA HR\_3**

**TAVOLA 7: SEZIONE IN PROFONDITÀ DELLA LINEA HR\_1**

**TAVOLA 8: SEZIONE PROFONDITÀ DELLA LINEA HR\_2**

**TAVOLA 9: SEZIONE PROFONDITÀ DELLA LINEA HR\_3**

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione descrive le attività relative all'elaborazione dei dati sismici ad alta risoluzione (primi 300 m di profondità) acquisiti da OGS immediatamente a nord dell'abitato di Matzaccara, paese ubicato nell'area centro-occidentale del Permesso di Ricerca Monte Ulmus. Il rilievo sismico comprende tre profili sismici paralleli della lunghezza di circa 1 km ciascuno, orientati NO-SE, e tra loro distanti poche centinaia di metri, come mostrato in Figura 1.

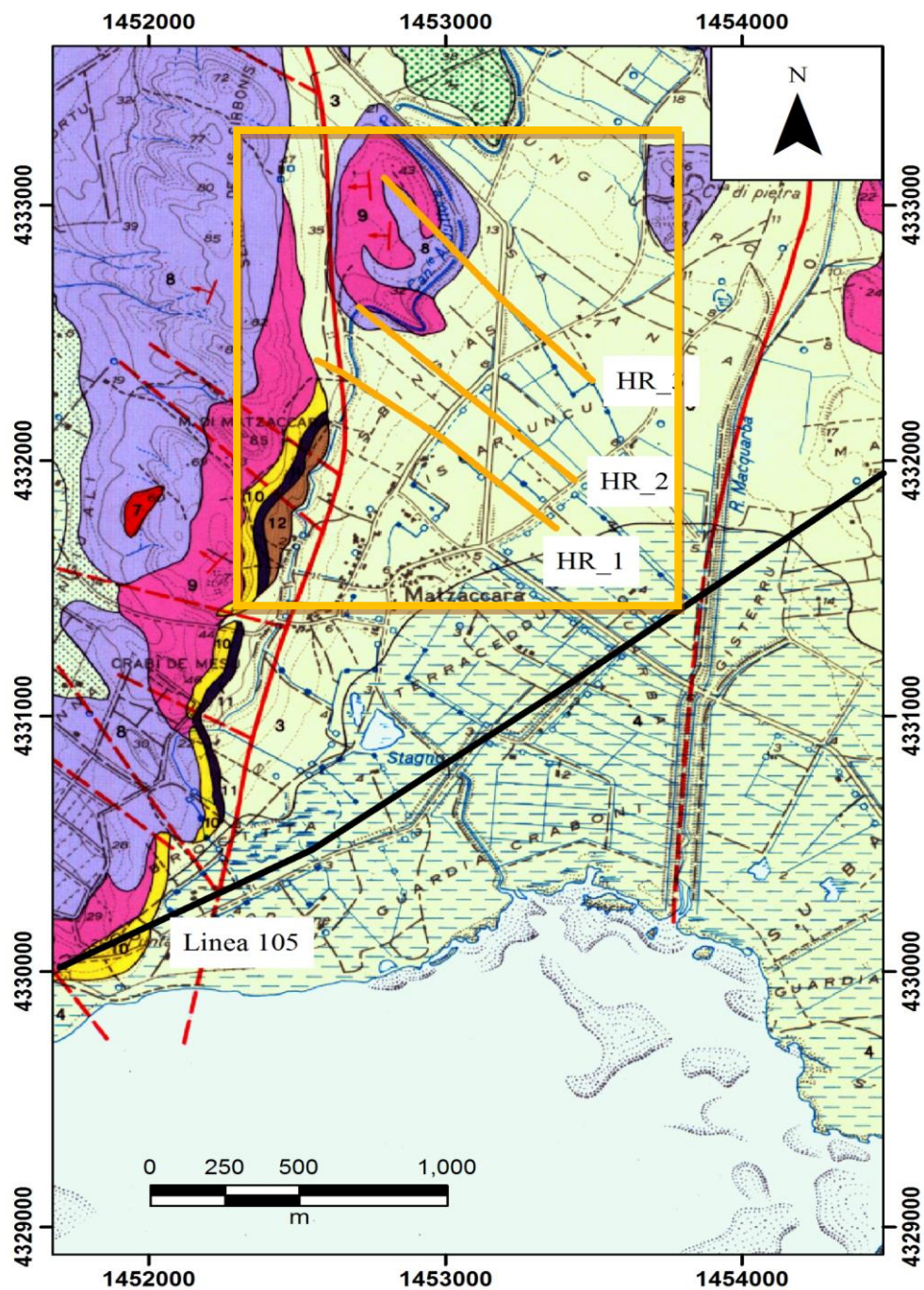
L'obiettivo dell'acquisizione è quello di verificare la presenza/prosecuzione della faglia diretta sepolta (denominata Faglia di Matzaccara) osservata sul profilo sismico regionale 105 Carbosulcis acquisito nel 2008 e recentemente reinterpretato (Civile et al., 2015). L'ubicazione della linea 105 Carbosulcis è riportata in Figura 1.

Le tre linee sono denominate, partendo da quella ubicata in prossimità dell'abitato di Matzaccara, rispettivamente HR\_1, HR\_2 e HR\_3. Per tutte le linee la numerazione dei CDPs è crescente da NO a SE (Fig. 2).

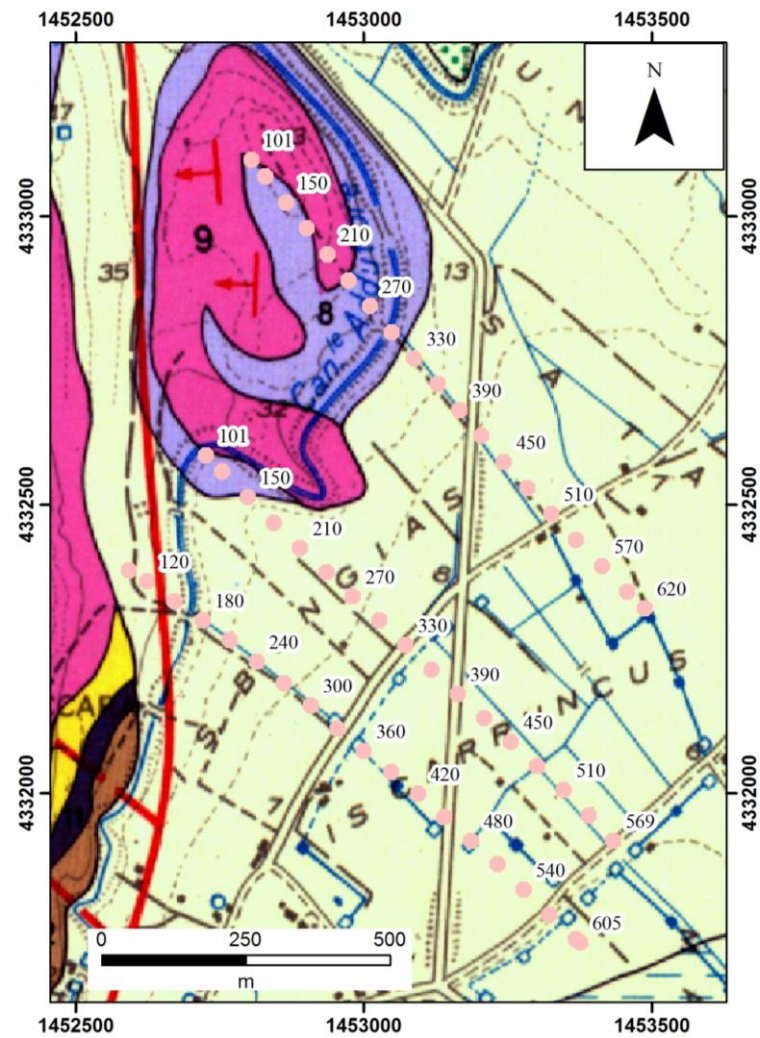
L'acquisizione dei dati sismici è descritta in dettaglio nel report “Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismica a riflessione – Acquisizione”. In Tabella 1 si riportano, comunque, i principali parametri di acquisizione.

**Tabella 1** - Principali parametri di acquisizione delle linee sismiche ad alta risoluzione

No. Canali attivi	256 ( HR_1)/244 ( HR_2)/260 ( HR_3)
Intervallo dei ricevitori	4 m
Configurazione	Da off-end a split asimmetrico
Geofoni	Geofono singolo (10 Hz)
Intervallo di scoppio	8 m
Offset minimo	1 m
Offset massimo	1036 m
Sorgente	Minivib
Lunghezza di registrazione	2 s
Intervallo di campionamento	0.5 ms



**Figura 1** - Ubicazione delle linee sismiche (riquadro aranciano) acquisite in Giugno-Luglio 2016. Si riporta l'ubicazione della Linea 105 Carbosulcis (in nero) acquisita nella campagna del 2008 (Proiezione: Gauss Boaga, Fuso Ovest (6° - 12° E); Datum: Roma40).



**Figura 2** - Ubicazione delle linee sismiche acquisite e relativi CDP campionati ogni 30. (Proiezione: Gauss Boaga, Fuso Ovest ( $6^{\circ}$  -  $12^{\circ}$  E); Datum: Roma40).



## 2. DATI SISMICI

L'analisi dei dati sismici ha evidenziato che il rapporto segnale/rumore è variabile lungo tutti i profili, in quanto è fortemente dipendente dalla risposta locale del terreno. In particolare, per quanto riguarda il profilo HR\_3, la qualità del dato, a causa dalla forte variazione topografica nella parte iniziale, e' significativamente variabile lungo la linea come si può vedere in Figura 3.

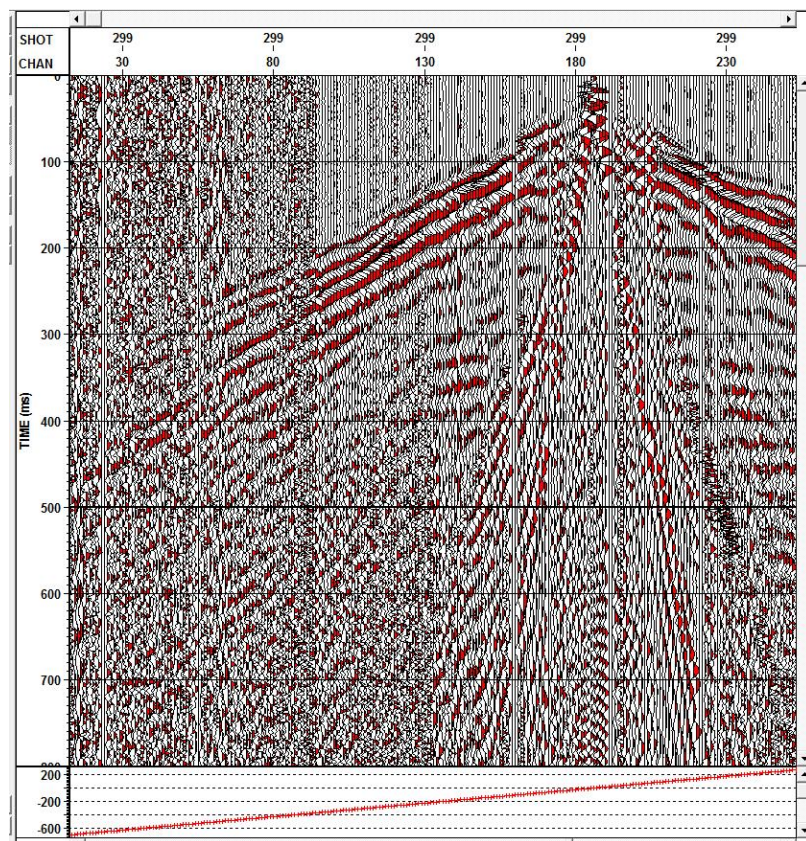


*Figura 3 - Porzione iniziale del profilo HR\_3, che mostra una forte variazione topografica.*

L'inizio della linea HR\_3, infatti, è situato nella parte sommitale di una piccola collina. Questa variazione topografica comporta una defocalizzazione dell'energia, che causa zone d'ombra in prossimità della piccola collina. Tale defocalizzazione comporta una perdita di segnale non recuperabile in fase di elaborazione del segnale. Le discontinuità litologiche al di sotto della superficie non possono essere quindi evidenziati con la stessa qualità del dato presente nella parte sud-orientale della linea. Lo scoppio mostrato in Figura 4 dimostra l'effetto della defocalizzazione. In particolare, il segnale riconoscibile a circa 350 ms è continuo ed evidente a partire dal canale 130, cioè alla fine della collina. La perdita di energia può essere anche associata alla presenza di uno strato superficiale a bassa velocità che determina l'assorbimento del segnale. In Figura 4 si

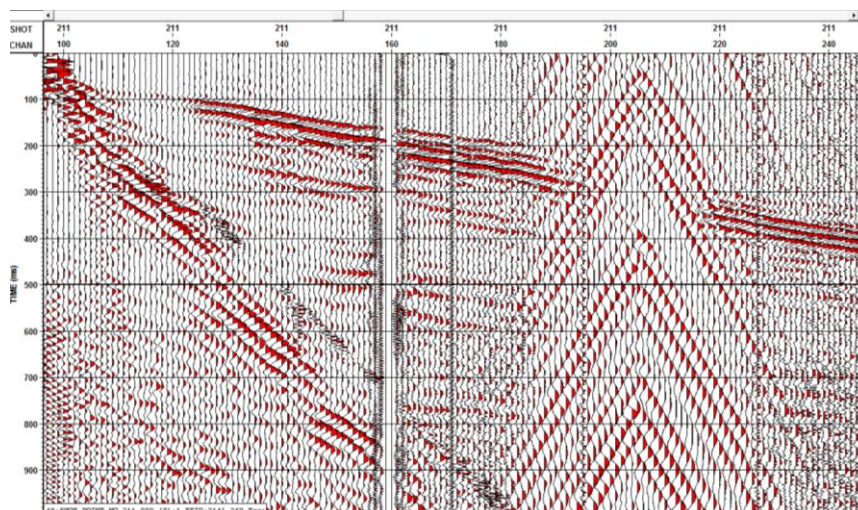
puo' anche notare la presenza di *ground roll*, un rumore coerente, che è un'onda superficiale ad alta ampiezza. Tale segnale è presente anche nei dati delle linee HR\_1 e HR\_2.

Le tre linee attraversano la statale per Matzaccarra che ha causato la presenza di rumore legato al passaggio di veicoli, come si vede in Figura 5. L'editing delle tracce e il successivo *stack* degli *shot* doppi nella stessa posizione, come si descriverà nel successivo paragrafo, è stato importante per mitigare questo effetto.



**Figura 4** – Esempio di scoppio lungo la linea HR\_3.





*Figura 5 – Esempio di scoppio con rumore ambientale.*

### 3. ELABORAZIONE DATI SISMICI

L'elaborazione delle tre linee sismiche ad alta risoluzione è stata focalizzata all'aumento del rapporto segnale/rumore principalmente tramite l'attenuazione dei rumori coerenti e incoerenti. Per ogni linea elaborata sono stati eseguiti molti test al fine di individuare le tecniche di processing avanzate più idonee per estrarre maggiori informazioni dal dato sismico e ottimizzare la scelta dei parametri da applicare. Una delle tecniche applicate è stata l'inversione tomografica dei primi arrivi utilizzata per ottenere informazioni riguardo alla parte superficiale del sottosuolo e per calcolare le correzioni statiche in modo più accurato.

L'elaborazione dei dati sismici è stata eseguita utilizzando diversi codici. L'inversione tomografica è stata effettuata utilizzando CAT3D, un software sviluppato da OGS, mentre l'elaborazione dei dati sismici è stata realizzata tramite l'utilizzo del software ECHOS2011.3, un pacchetto commerciale sviluppato dalla Paradigm® e *Seismic Unix* (SU), un software gratuito sviluppato dalla “*Colorado School of Mines*”.

Per ogni scoppio, sono state effettuate due vibrate; quindi, prima di procedere alla fase di elaborazione, i record acquisiti nella stessa posizione sono stati sommati al fine di aumentare il rapporto segnale/rumore. Precedentemente, è stato effettuato un editing, cioè l'eliminazione di tracce o parte di esse particolarmente rumorose, a causa, ad esempio, del passaggio di veicoli, al fine di attenuare il rumore e, quindi, aumentare il rapporto segnale/rumore delle sezioni finali.



### 3.1 INVERSIONE TOMOGRAFICA DEI PRIMI ARRIVI

Un punto critico nell'elaborazione dei dati sismici a terra è il calcolo delle correzioni statiche che permettono di posizionare scoppi e ricevitori dal piano campagna a un datum di riferimento, eliminando così gli sfasamenti temporali causati dalla topografia e/o dalle variazioni di velocità della porzione superficiale del terreno. Questo livello superficiale solitamente è caratterizzato da forti variazioni laterali sia in spessore sia in caratteristiche elastiche, tra cui la velocità sismica. L'obiettivo dell'applicazione delle correzioni statiche, quindi, è quello di ottenere dati sismici in cui scoppi e ricevitori sono ubicati su un datum orizzontale scelto dall'operatore.

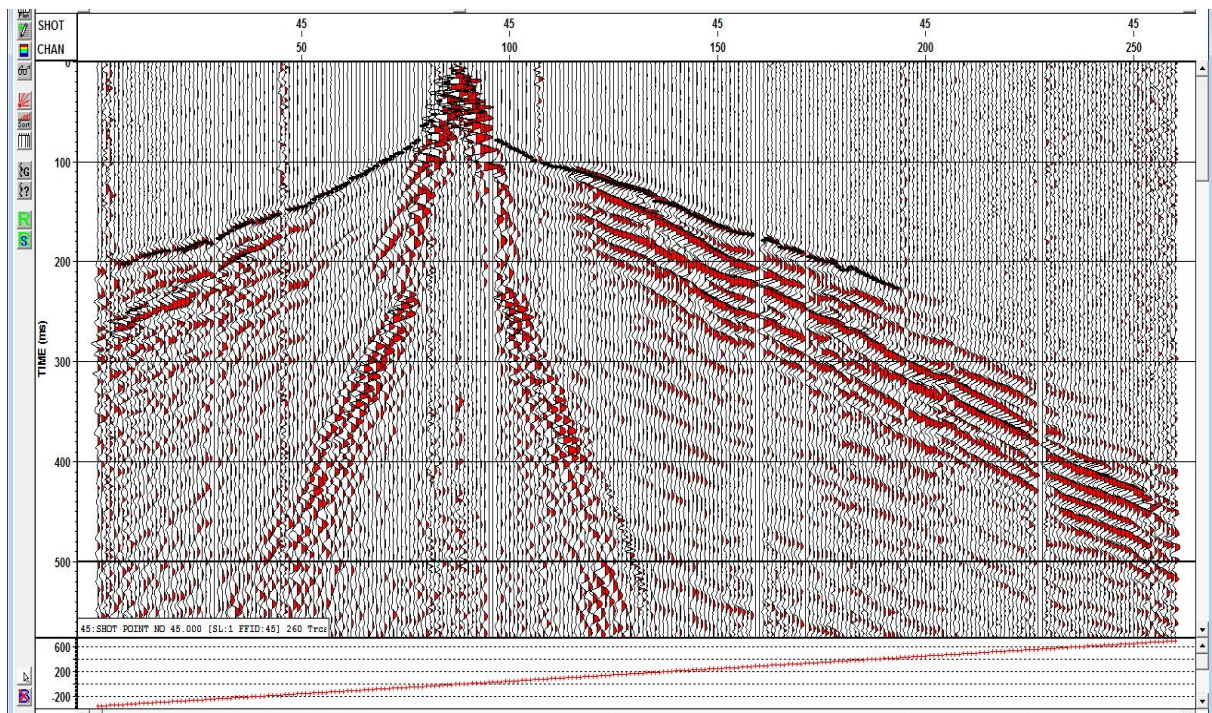
Al fine di stimare le correzioni statiche in modo più accurato, è stato utilizzato il campo di velocità della parte superficiale, ottenuto dall'inversione tomografica dei tempi dei primi arrivi.

Il dato di input dell'inversione tomografica è il picking manuale dei primi arrivi, cioè delle onde dirette e rifratte per tutti i ricevitori di ogni scoppio delle tre linee sismiche. In Figura 6, si riporta un esempio di scoppio della linea HR\_3 con il picking effettuato sui dati non elaborati al fine di non modificare la forma d'onda del primo arrivo. E' fondamentale, infatti, selezionare esattamente il tempo di arrivo dell'onda diretta e/o rifratta al fine di non introdurre errori nel calcolo della velocità. Una eventuale elaborazione prima del picking può introdurre un errore significativo, pari anche a qualche campione. Partendo da un modello di velocità iniziale, si è effettuata l'inversione tomografica minimizzando la differenza tra i tempi dei primi arrivi misurati nei dati (estratti tramite il picking) e quelli calcolati attraverso un *raytracing*, cioè il tracciamento dei raggi in base al modello di velocità. Il *raytracing* è stato calcolato utilizzando onde *diving*, che seguono un percorso del raggio curvilineo simile ad un arco di cerchio, a causa di un gradiente di velocità degli strati sotto la superficie. Il gradiente è supposto essere sempre positivo in profondità. Prima dell'inversione, è stato effettuato un controllo della qualità del picking, eliminando i valori anomali, che possono essere causati da rumori ambientali e/o strumentali o da errori dell'operatore in fase di picking.

Al termine dell'inversione sono state calcolate le differenze (i residui) tra il tempo misurato dei primi arrivi nei dati e quello calcolato attraverso il *raytracing* ed è stato stimato l'errore quadratico medio (RMS). Quest'ultimo indica la discrepanza quadratica media fra i valori dei dati misurati e i valori dei dati calcolati e rappresenta un indice di bontà del modello di velocità finale: valori RMS bassi indicano che il modello di velocità ottenuta dall'inversione è affidabile. In Figura 7 si riporta

la curva che rappresenta il residuo tra tempo calcolato e quello misurato per tutti gli scoppi della linea HR\_1 utilizzati nell'inversione. Come si vede, la maggioranza degli scoppi mostra un errore RMS prossimo a zero con una distribuzione di tipo gaussiano, cioè casuale e simmetrica, confermando la bontà dell'inversione. L'errore RMS per questa linea è pari a 0.0040.

La medesima verifica è stata eseguita per le linee HR\_2 e HR\_3 e per entrambe si è stimato un errore RMS rispettivamente pari a 0.0038 e 0.0028 (Figs. 8 e 9), confermando l'affidabilità dei campi di velocità ottenuti dall'inversione tomografica.



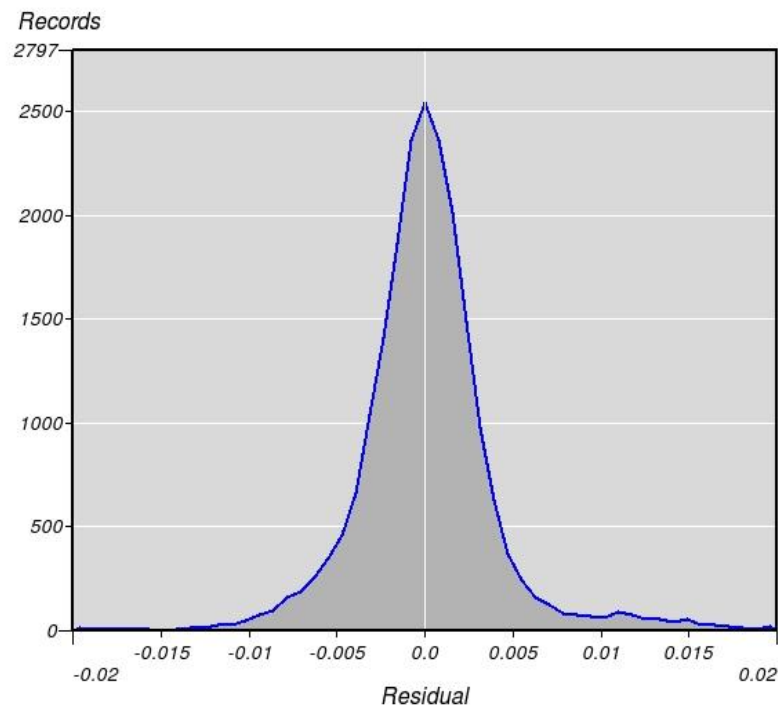
**Figura 6** - Esempio di picking dei primi arrivi effettuato lungo la HR\_3.

I campi di velocità delle tre linee sono riportanti rispettivamente in Figure 10, 11 e 12.

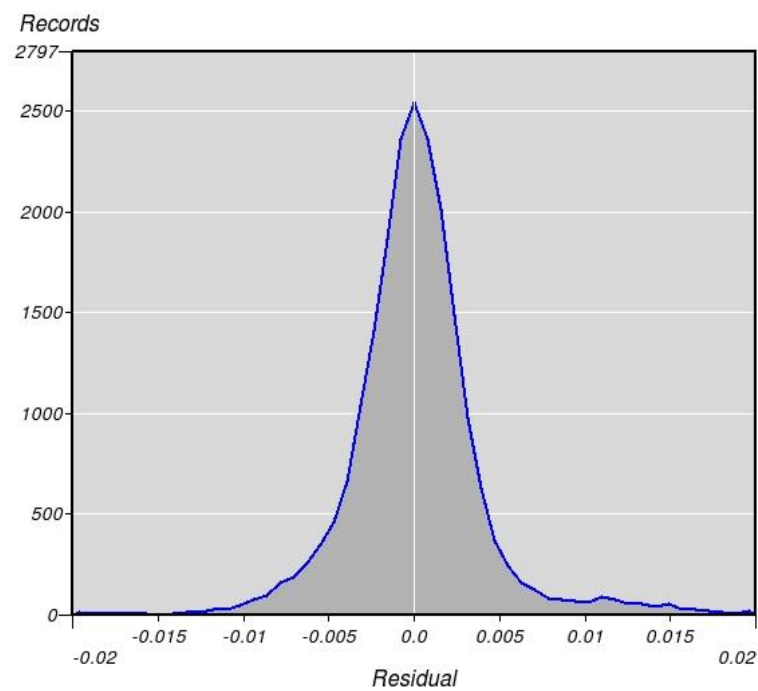
Il campo di velocità della linea HR\_1 mostra una zona ad alta velocità tra i CDP 101 e 300 che raggiunge velocità di circa 4200 m/s nella parte più profonda. Spostandosi verso sud-est (in prossimità del CDP 350) si ha una netta variazione delle velocità che passa da circa 3200 m/s a 2500 m/s.

Il campo di velocità della linea HR\_2 mostra un andamento simile a quello della linea HR\_3. Tra i CDP 101 al 350, è presente una netta variazione di velocità ad una profondità di circa 40 m.s.l.m. a

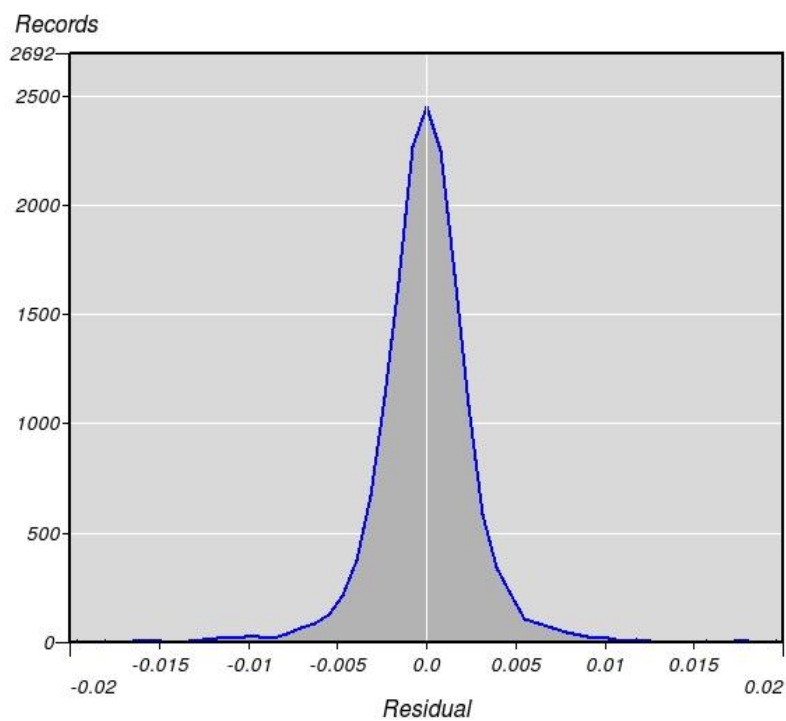
NO (CDP 101) e che, spostandosi verso SE, risale fino a raggiungere una profondità di circa 10 m s.l.m. In prossimità del CDP 350 si ha una diminuzione di velocità da circa 2900 m/s a circa 2200 m/s; tale variazione potrebbe essere associata alla presenza di un elemento tettonico. Tra i CDP 450 e 600 è possibile individuare una zona caratterizzata da un'alta velocità sismica (fino a circa 3800 m/s). La porzione superficiale del profilo HR\_2 è caratterizzata da zona a bassa velocità con spessore variabile lungo la linea. In quest'area, la velocità varia tra 600 m/s a 2200 m/s.



**Figura 7** - Residuo tra tempo misurato e quello calcolato in funzione del numero di scoppi utilizzati nell'inversione per la linea HR\_1.



**Figura 8** - Residuo tra tempo misurato e quello calcolato in funzione del numero di scoppi utilizzati nell'inversione per la linea HR\_2.

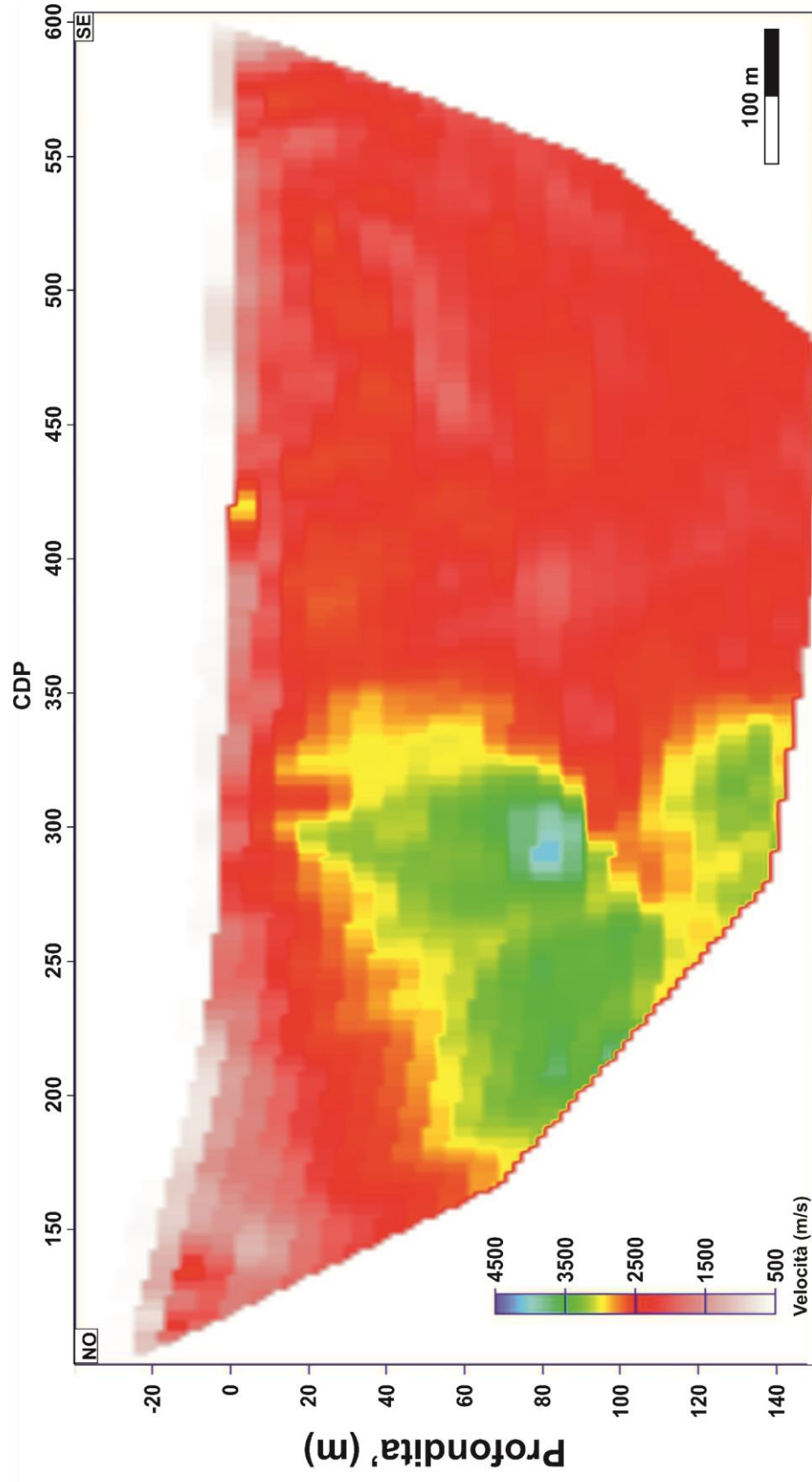


**Figura 9** - Residuo tra tempo misurato e quello calcolato in funzione del numero di scoppi utilizzati nell'inversione tomografica per la linea HR\_3

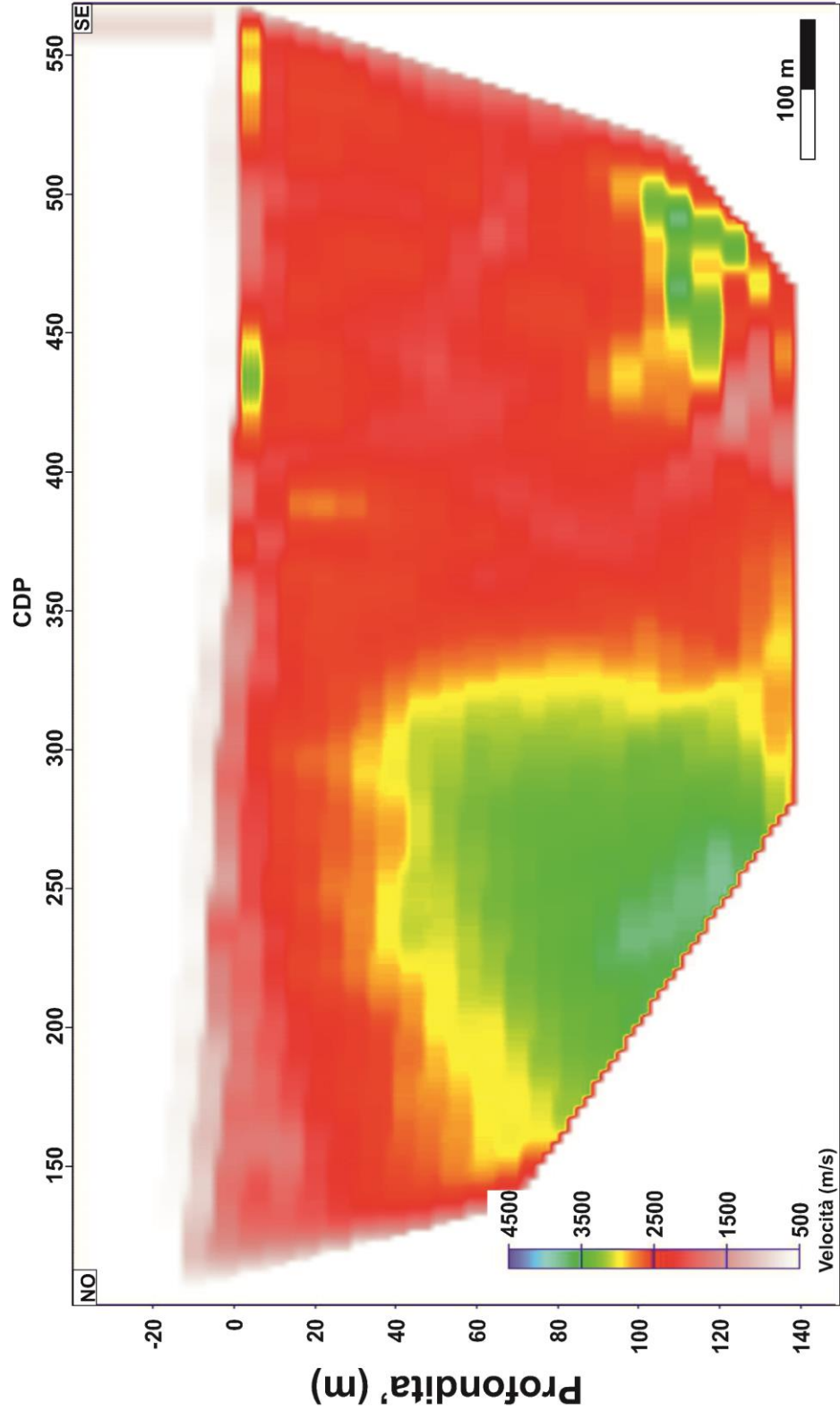


Il campo della velocità della linea sismica HR\_3 mostra due zone ad alta velocità (3500-4500 m/s) nella porzione nord-occidentale e in quella sud-orientale (Fig. 12). Nella parte centrale della linea la velocità è di circa 2500 m/s e, quindi, circa il 20% in meno rispetto alle zone ad alta velocità. Nella parte più superficiale (cioè nei primi 20 m), si nota una netta diminuzione delle velocità che raggiungono valori fino a circa 600 m/s.

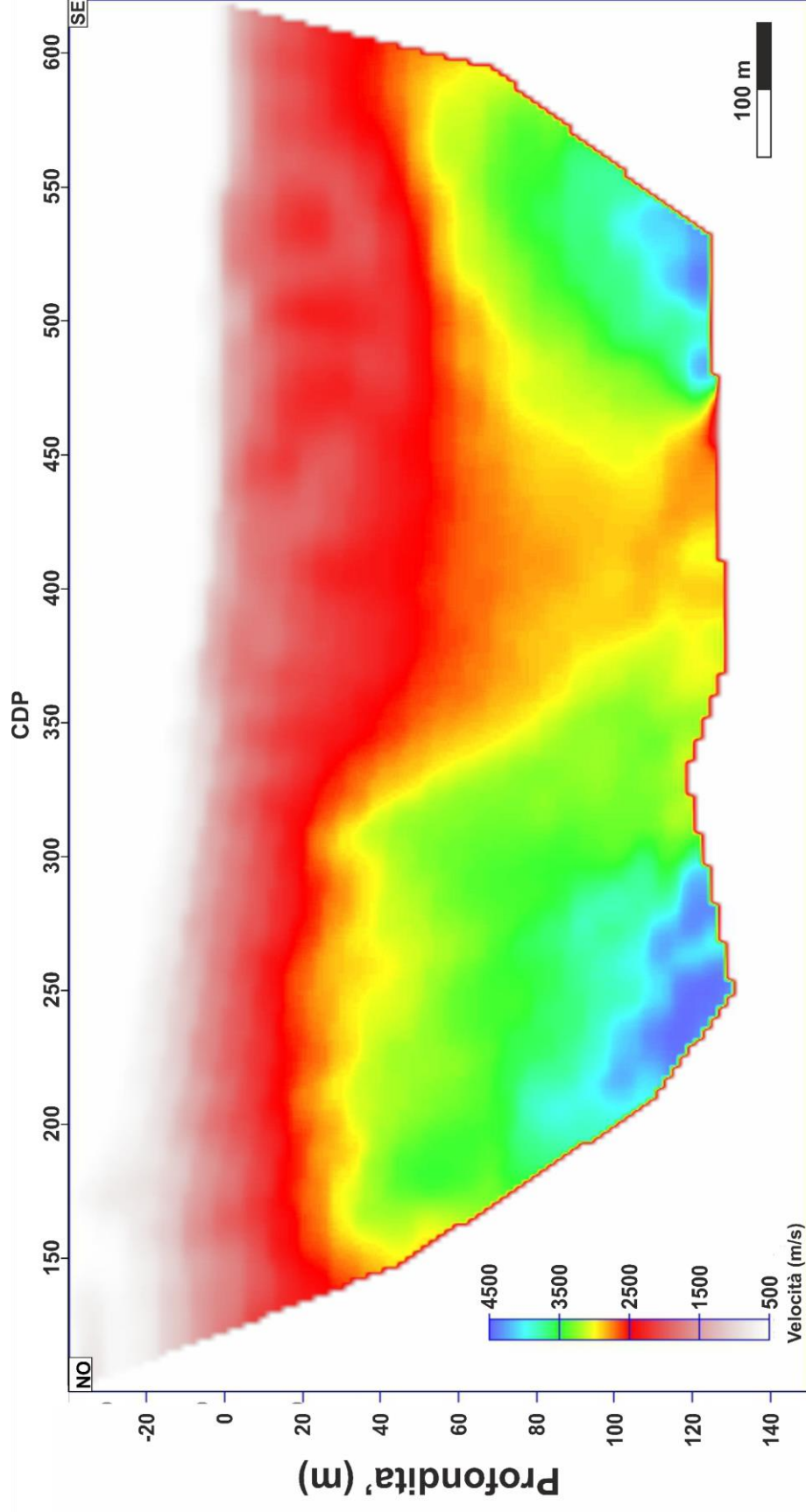
Dal confronto dei tre campi di velocità emerge che nella porzione sud-orientale della linea HR\_1 non è presente la zona ad alta velocità riconoscibile nelle altre due linee. Questo potrebbe essere legato ad una maggiore difficoltà di effettuare il picking dei primi arrivi a grandi offset a causa di maggiore rumore nel segnale, limitando così la profondità d'indagine o ad una profondità di questo orizzonte maggiore rispetto a quella d'indagine.



**Figura 10** - Campo di velocità tomografica della linea sismica HR 1



**Figura 11** - Campo di velocità tomografica della linea sismica HR 2



**Figura 12** - Campo di velocità tomografica della linea sismica HR\_3



### 3.2 ELABORAZIONE DELLE LINEE HR\_1, HR\_2 E HR\_3

In questa sezione verranno descritte le principali fasi della elaborazione delle linee HR\_1, HR\_2 e HR\_3.

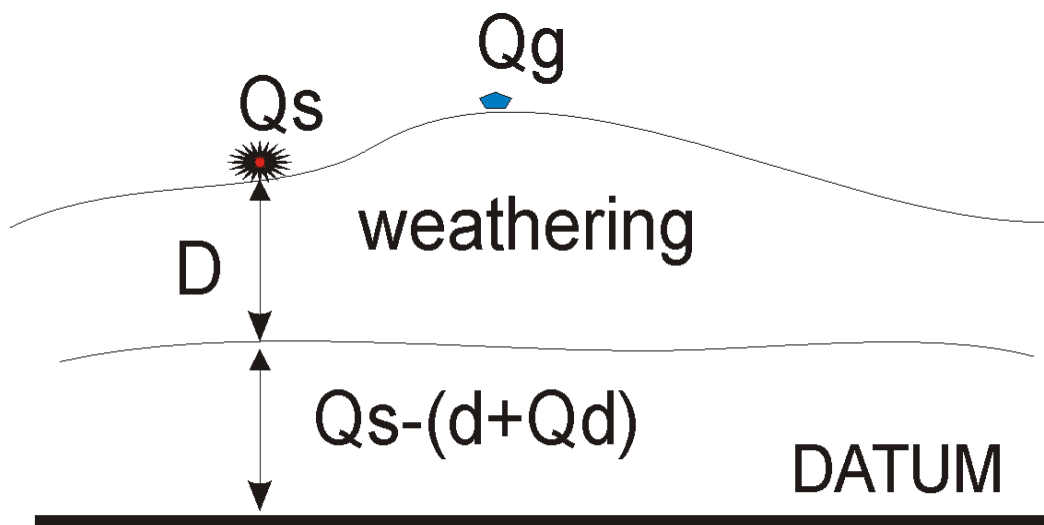
Il primo step dell'elaborazione consiste nell'applicazione del recupero delle ampiezze delle onde sismiche per compensare la perdita di energia dovuta alla loro propagazione nel sottosuolo. La propagazione delle onde nel sottosuolo, infatti, è soggetta principalmente ai seguenti effetti che modificano le onde sismiche:

- attenuazione dell'energia dell'onda proporzionalmente all'inverso del quadrato della distanza percorsa dall'onda a causa della distribuzione sferica dell'energia dell'onda. Ne consegue, che allontanandosi dalla sorgente l'energia per unità di superficie diminuisce;
- attenuazione nel contenuto in frequenza dovuto alla non perfetta elasticità del mezzo e alle eterogeneità del sottosuolo. Infatti, il terreno si può considerare un filtro di frequenza passa-basso.

É stato successivamente applicato un bilanciamento d'ampiezze *surface-consistent* per rendere uniforme la risposta dei geofoni che potrebbe essere variabile sia a causa del diverso accoppiamento con il terreno di ciascun geofono sia il diverso apporto d'energia di ogni singolo scoppio.

Il campo di velocità calcolato tramite l'inversione tomografica dei primi arrivi è stato utilizzato per calcolare le correzioni statiche. Come già descritto nel precedente paragrafo, il calcolo e l'applicazione delle correzioni statiche è importante per eliminare gli sfasamenti temporali causati dalla topografia e/o dalle variazioni di velocità della porzione superficiale del terreno. Questa fase dell'elaborazione permette di posizionare scoppi e ricevitori dal piano campagna a un datum di riferimento scelto dall'operatore, come mostrato nella schematizzazione di Figura 13. Questo significa che lo zero dei dati sismici corrisponde al datum scelto, che in questo caso è pari 25 m sotto il livello mare. Si è scelto tale datum per essere completamente al di sotto dello strato a bassa velocità (*weathering*). Come si può vedere in Figura 13, la scelta del datum sotto il piano campagna determina uno *shift* verso l'alto dei tempi. Per evitare la perdita di informazioni, è stato applicato uno *shift* nei dati pari a 200 ms prima dell'applicazione delle statiche.

Per compensare l'assorbimento selettivo che il terreno opera nei confronti del contenuto in frequenza dell'onda sismica, modificando quindi la sua forma, si è applicata la deconvoluzione. Questo algoritmo ha lo scopo principale di aumentare la risoluzione verticale, incrementando il contenuto in alte frequenze del segnale sismico. È stata applicata una deconvoluzione predittiva scegliendo la lunghezza dell'operatore e l'intervallo di predizione tramite l'analisi della funzione di auto-correlazione. È stata scelta una lunghezza dell'operatore pari a 80 ms per tutte e tre le linee, mentre l'intervallo di predizione è stato scelto pari a 25 ms.

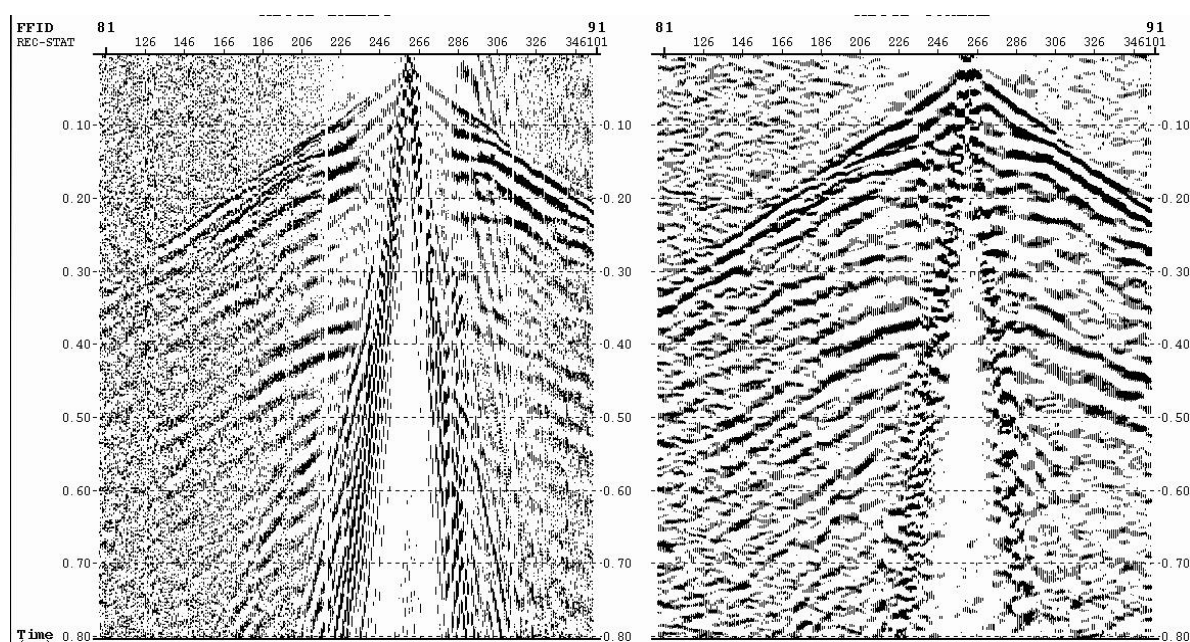


**Figura 13** – Calcolo statiche.  $Q_s$ : quota dello shot;  $Q_g$ : quota del geofono;  $d$ : spessore del weathering;  $Q_d$ : datum.

La sorgente sismica, oltre a produrre segnale utile, genera anche *ground roll* e onda d'aria, che sono considerati rumori coerenti e non casuali. Questi eventi sono solitamente attenuati in fase di elaborazione, in quanto possono essere discriminati sia per il loro contenuto in frequenza che per la loro velocità di propagazione, che è minore rispetto al segnale sismico utile per studiare il sottosuolo. In questa elaborazione, sono stati applicati filtri di pendenza, per attenuare specifici intervalli di pendenza, cioè eventi con definite velocità di propagazione dell'onda sismica. L'algoritmo adottato definisce un filtro nel dominio f-k (frequenze in funzione del numero d'onda). Vista la rumorosità dei dati, è stato applicato anche il "Trimmed Mean Dynamic Dip filter (TMDDF)" nel dominio degli *shot* per aumentare ulteriormente il rapporto segnale/rumore prima

dello *stack* dei dati. L'obiettivo di questa tecnica è quello di rimuovere le ampiezze anomale senza eliminare informazioni utili e aumentare la coerenza del segnale.

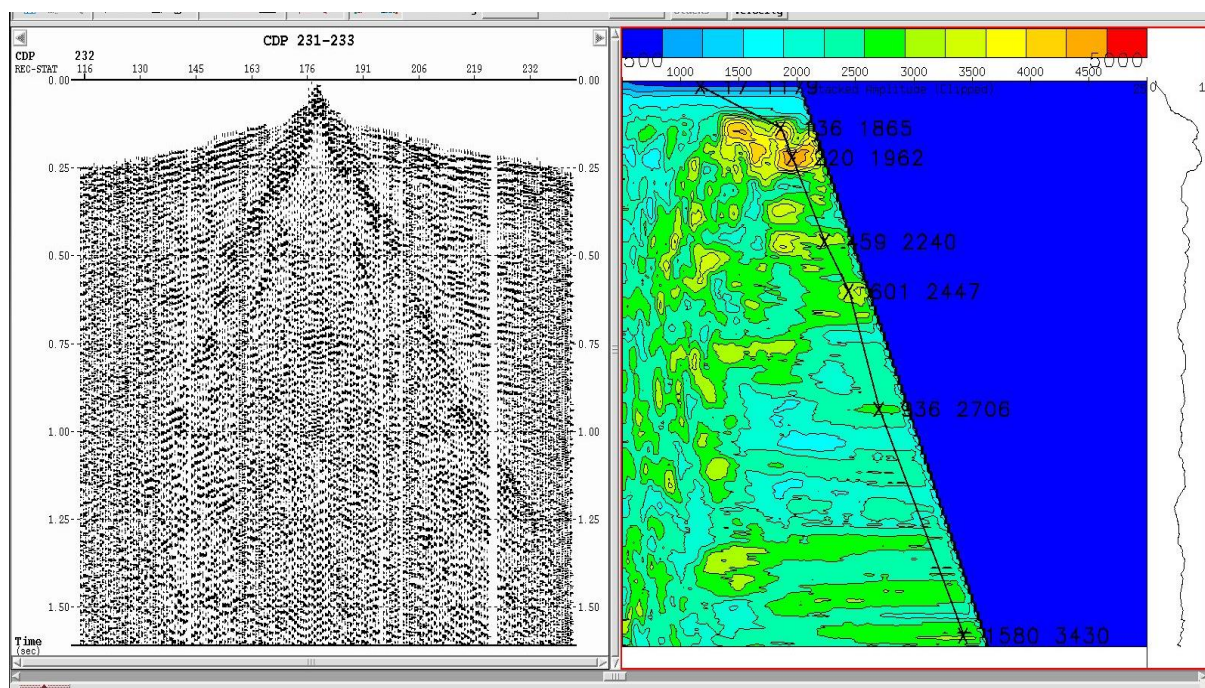
In Figura 14, si riporta un esempio di uno scoppio della linea HR\_1 prima e dopo l'elaborazione fin qui descritta. Come si vede nella figura, sono stati attenuati i rumori coerenti e non, aumentando significativamente il rapporto segnale/rumore.



**Figura 14** – Esempio di shot prima e dopo l'elaborazione scelto lungo la linea HR\_1

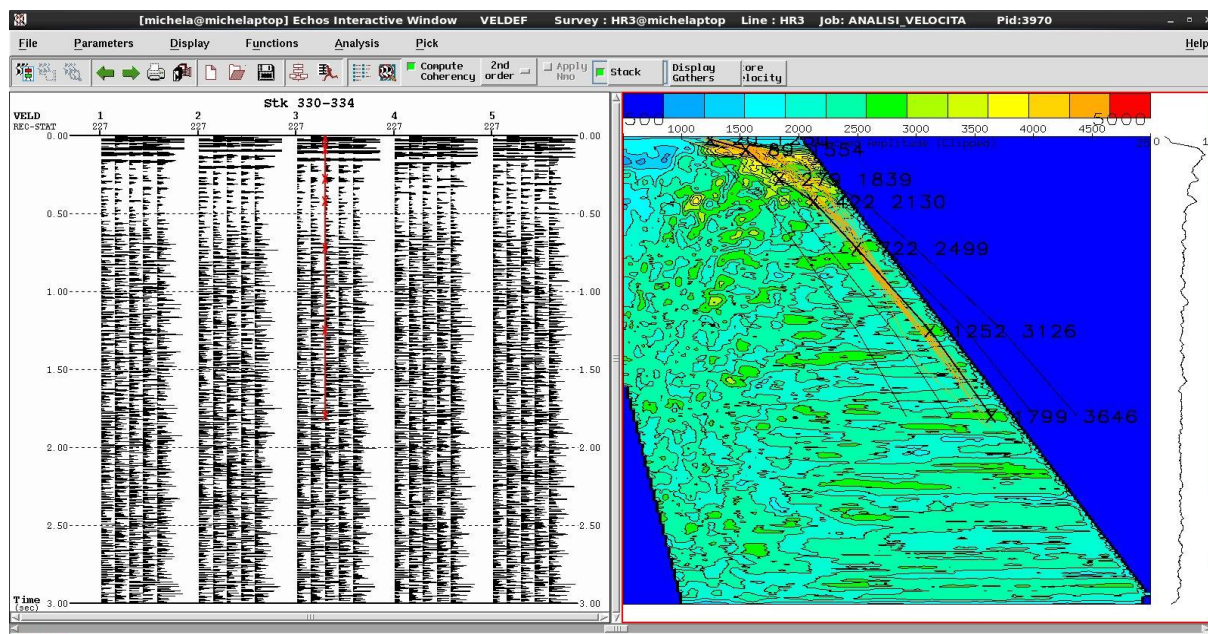
Successivamente all'elaborazione nel dominio degli scoppi, i dati sono stati ordinati in Common-Depth-Point o CDP; ciascun CDP contiene tutte le tracce che forniscono informazioni sugli stessi punti in profondità. A ciascun CDP viene applicata la correzione dinamica (o di Normal Move Out), che permette di compensare gli sfasamenti temporali che si hanno tra le tracce appartenenti allo stesso CDP a causa della variazione di distanza tra scoppio e ricevitore, allineando geometricamente gli eventi di tutte le tracce. Per applicare le correzioni dinamiche è necessario effettuare l'analisi di velocità di *stack* che costituisce, quindi, una delle operazioni fondamentali dell'elaborazione. L'analisi di velocità, infatti, permette di ottenere le velocità che permettono di sommare insieme tutte le tracce appartenenti allo stesso CDP al fine di ottenere le sezioni *stack*. Lo *stack* delle tracce permette di aumentare la coerenza dei segnali utili e attenuare il rumore casuale.

Per un'analisi di velocità accurata, è stato utilizzato un metodo iterativo, che permette la visualizzazione immediata dell'analisi di velocità effettuata. Nella Figura 15 si riporta un esempio di analisi di velocità, dove il pannello di sinistra rappresenta il CDP che si sta analizzando, mentre in quello di destra è riportata la coerenza massima o *semblance*. Le *semblance* (o coerenza massima) permettono di definire la velocità di *stack* ottimale in funzione del tempo. I massimi di coerenza, in pratica, corrispondono al migliore allineamento di una riflessione tra le tracce di un CDP per una definita velocità, come mostrato in Figura 15. Le velocità ottimali in corrispondenza dei massimi delle *semblance*, quindi, permettono di allineare geometricamente il meglio possibile gli eventi di tutte le tracce appartenenti allo stesso CDP prima di effettuare lo *stack*. In Figura 16, invece, si riporta un esempio di analisi di velocità effettuata, dove il pannello di sinistra rappresenta la sezione *stack* che risulterebbe con la velocità scelta, mentre quello di destra riporta la coerenza massima. Queste due visualizzazioni possono essere scelte dall'operatore durante l'analisi di velocità per ottimizzare l'analisi di velocità di *stack*, necessarie per il calcolo delle correzioni dinamiche.



**Figura 15** - Esempio di velocità iterativa effettuata lungo la linea HR\_3. Il pannello di sinistra rappresenta il CDP che si sta analizzando, mentre nel pannello di destra è visualizzata la coerenza massima.

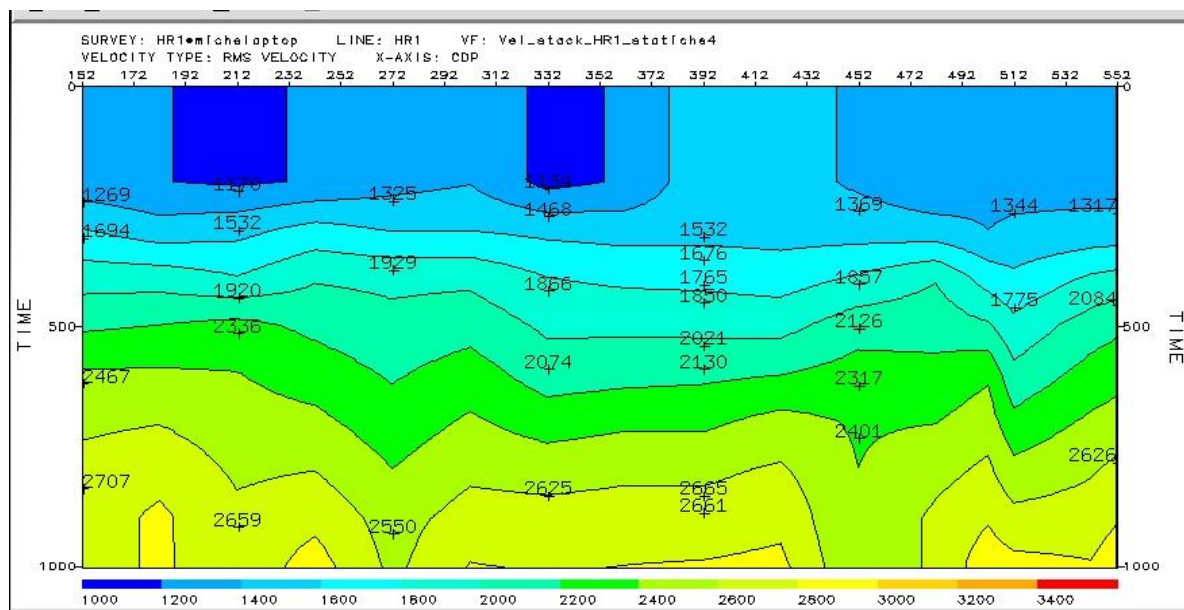




**Figura 16** - Esempio di velocità iterativa effettuata lungo la linea HR\_3. Il pannello di sinistra rappresenta la sezione stack, composta da 5 tracce, che si ottiene grazie alla velocità scelta. Nel pannello di destra è visualizzata la coerenza massima.

In Figura 17, si riportano un esempio della velocità di *stack* delle HR\_3, ottenute dall'analisi di velocità e utilizzate per le correzioni dinamiche. Come già detto, le velocità di *stack*, ottenute dall'analisi di velocità, hanno consentito di migliorare l'allineamento degli eventi riflessi all'interno di uno stesso CDP e, dopo lo *stack*, di rinforzare il segnale coerente.

Successivamente all'applicazione delle correzioni statiche residue, le tracce appartenenti a ciascun CDP sono state sommate per generare una singola traccia. Dopo lo *stack*, è stato applicato un filtro *Time-variant* o filtro variabile nel tempo. L'applicazione di questo filtro ha permesso di rimuovere le frequenze incompatibili con le profondità a cui si sono registrate, e quindi introdotte dalle analisi numeriche sul dato sismico.



**Figura 17** – Esempio di Velocità di stack della linea HR\_1, ottenuta dall'analisi di velocità. Il tempo è espresso in ms e la velocità in m/s.

Nelle Tavole 1, 2 e 3 sono riportate rispettivamente le sezioni *stack* delle linee HR\_1, HR\_2 e HR\_3.

Dopo aver sommato insieme tutte le tracce dei CDP e aver ottenuto lo *stack*, i dati sono stati migrati in tempo utilizzando l'algoritmo di Kirchhoff. La migrazione permette di ottenere un'immagine sismica paragonabile a una sezione geologica, in quanto sposta l'energia dei riflettori nella loro reale posizione e collassa le eventuali diffrazioni presenti. Questo processo, ovviamente, è fortemente condizionato dalla bontà del campo di velocità utilizzato. In questo caso, è stato utilizzato il campo di velocità ottenuto dall'analisi di velocità di *stack*, precedentemente smussato e ridotto. Il campo di velocità ottenuto dall'analisi tomografica, infatti, è troppo superficiale e non può essere utilizzato per effettuare le correzioni dinamiche.

Nelle Tavole 4, 6 e 7 sono riportate rispettivamente le sezioni migrate delle linee HR\_1, HR\_2 e HR\_3.

#### 4. CONVERSIONE TEMPO-PROFONDITA'

Nell'area in esame non sono disponibili misure dirette sulla velocità sismica delle formazioni presenti, quindi, è impossibile ottenere **un risultato affidabile in profondità**. È importante sottolineare, inoltre, che l'assenza di un pozzo profondo non permette di avere informazioni sulle litologie in profondità. Con i dati a disposizione, quindi, non è possibile vincolare le velocità al fine di convertire le sezioni sismiche in profondità in modo affidabile. Sulla base di queste incertezze, si è deciso di utilizzare un unico profilo di velocità per ciascuna linea sismica.

L'inversione tomografica ha permesso di evidenziare una zona a bassa velocità nella parte superficiale e di mappare, sempre con un errore legato sia alla qualità del dato che all'errore del picking, l'orizzonte 1 più superficiale presente in tutte le linee. Per ogni linea, quindi, si è scelta una velocità superficiale che permettesse di ottenere una profondità dell'orizzonte 1 in accordo con il dato ottenuto dall'inversione tomografica, l'unico vincolo affidabile disponibile. Al contrario, per l'orizzonte più profondo, non avendo nessuna informazione, si è scelta una velocità di 3500 m/s per tutte le linee. Questa informazione è stata estratta confrontando i risultati dell'inversione tomografica, dell'analisi di *stack* e dell'esperienza pregressa acquisita nel rilievo Carbosulcis (2008).

In particolare, per la linea HR\_1, è stata utilizzata una velocità pari a 800 m/s a 0 s TWT che aumenta a 3500 m/s a 0.200 s (al di sotto dell'orizzonte 1). Per quanto riguarda la linea HR\_2, è stata scelta una velocità pari a 900 m/s a 0 s TWT che aumenta a 3500 m/s a 0.200 s. La linea HR\_3, invece, è stata convertita in profondità utilizzando una velocità superficiale pari a 1200 m/s a 0 s TWT che passa a 3500 m/s a 0.200 s.

I risultati ottenuti sono riportati nelle Tavole 7, 8 e 9, che contengono rispettivamente la sezione in profondità della linea HR\_1, HR2 e HR\_3. In Figure 18-20, viene riportato il campo di velocità ottenuto dall'inversione tomografica sovrapposto alle sezioni sismiche convertite in profondità.

Da notare che l'errore nella conversione, già significativo nella parte superficiale, aumenta con la profondità e, quindi, l'andamento delle faglie individuate nelle sezioni in profondità ha un carattere statistico e non deterministico.

Se verrà effettuato una perforazione di un pozzo in prossimità delle linee sismiche, **si raccomanda** di effettuare un carotaggio in continuo al fine avere un controllo sulle successioni litologiche incontrate.

## **5. CONFRONTO PRELIMINARE TRA DATI SISMICI E DATI ELETTROMAGNETICI**

Il confronto tra diversi *dataset* geofisici è indispensabile per migliorare l'interpretazione e ridurre i margini di incertezza insiti in questi metodi. Tale incertezza, inoltre, è maggiore in assenza di dati diretti, come ad esempio la presenza di informazioni da pozzo.

Nell'area in esame sono stati acquisiti dati sismici, descritti in questa relazione, e dati elettromagnetici lungo i medesimi profili. E' stato effettuato, quindi, un confronto preliminare e qualitativo tra questi due *dataset* come già descritto nel report "Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Profili elettromagnetici". In particolare sono stati confrontati i campi di velocità sismica, ottenuti dall'inversione tomografica, e i profili VLF (*very low frequency*), metodo che permette di estrarre informazioni riguardo alla variazione di caratteristiche elettromagnetiche del sottosuolo.

Il confronto preliminare tra i due *dataset* ha evidenziato una buona correlazione tra le variazioni laterali di velocità sismica (variazioni di caratteristiche elastiche; Figg. 10-12 e Figg. 18-20) e di resistività. Tale discontinuità potrebbe essere legata alla presenza di un elemento tettonico.

## 6. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

L'elaborazione è stata effettuata con lo scopo di verificare la presenza/prosecuzione della faglia diretta sepolta (denominata da qui in poi Faglia di Matzaccara) osservata sul profilo sismico regionale 105 Carbosulcis acquisito nel 2008 e recentemente reinterpretato.

I campi di velocità delle tre linee ottenuti dall'inversione tomografica mostrano un andamento simile per quanto riguarda la parte più superficiale. In particolare, tutte e tre le linee sono caratterizzate da una variazione laterale da una zona ad alta velocità a una a zona a bassa velocità. Questa variazione laterale potrebbe essere spiegata con la presenza di un elemento tettonico.

La parte superficiale delle tre linee è caratterizzata da uno strato a bassa velocità (inferiore a 2000 m/s) che aumenta bruscamente (oltre 3000 m/s) in profondità. Tale aumento potrebbe essere associato a un cambio litologico. Questa variazione di velocità è riconoscibile lungo la linea HR\_2 e HR\_3, con un netto approfondimento nella parte centrale delle linee a causa del probabile elemento tettonico citato precedentemente. Il campo di velocità della linea HR\_1 mostra una zona ad alta velocità tra i CDP 101 e 300 che raggiunge velocità di circa 4200 m/s nella parte più profonda. Spostandosi verso sud-est (in prossimità del CDP 350) si ha una netta variazione laterale della velocità che passa da circa 3200 m/s a 2500 m/s. Lungo questa linea non è presente il brusco aumento di velocità nella parte profonda, come registrato per le altre due linee. Questo potrebbe essere legato ad una maggiore difficoltà di effettuare il picking dei primi arrivi a grandi offset a causa del basso rapporto segnale/rumore, limitando così la profondità d'indagine, o a causa dell'approfondimento di questo strato ad alta velocità lungo la HR\_1.

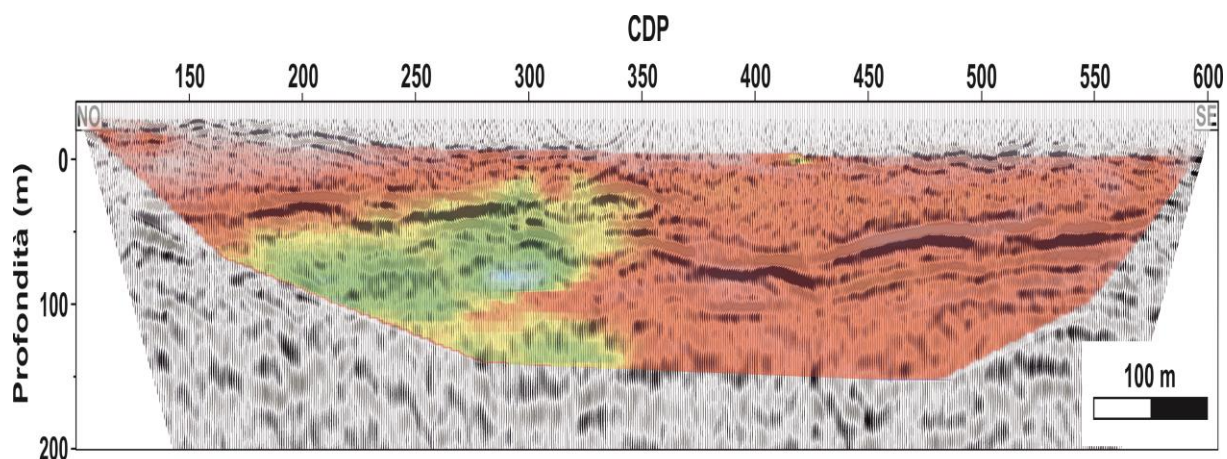
Le sezioni *stack* e, conseguentemente, le sezioni migrate mostrano la presenza di un riflettore a grande ampiezza intorno a 0 s TWT continuo lungo tutte le linee, denominato da qui orizzonte 1. Questo orizzonte mostra uno spostamento legato probabilmente alla presenza di un elemento tettonico, riconoscibile anche nelle sezioni di velocità come discusso precedentemente. Lungo la linea HR\_1, tale *shift* è riconoscibile intorno al CDP 350, mentre per la linea HR\_2 tale spostamento sembra più graduale e individuabile già dal CDP 310. La Linea HR\_3 mostra uno *shift* minore rispetto alle altre due linee.

Al di sotto dell'orizzonte 1, è presente uno strato "trasparente" in tutte le linee sismiche fino ad una profondità di circa 200 ms. In questa zona, quindi, non sono presenti contrasti di impedenza acustica significativi indicando l'assenza di variazioni litologiche significative. Al di sotto di

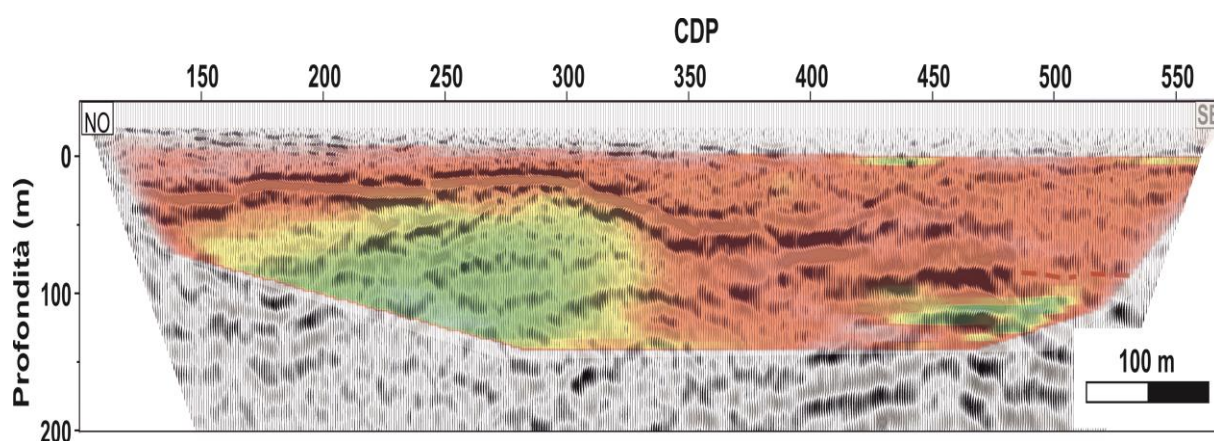


questa zona si ha un netto cambio delle caratteristiche del segnale, facilmente riconoscibile in tutte e tre le sezioni sismiche. Questa variazione è riconducibile ad una variazione litologica.

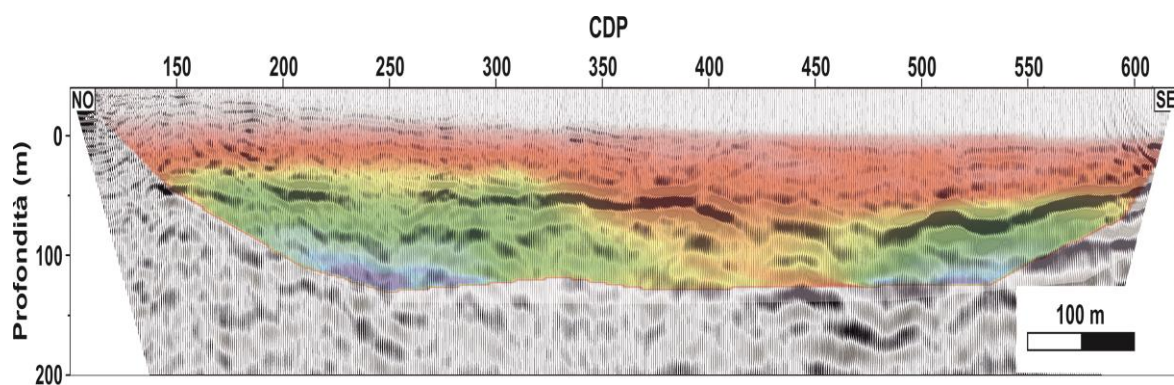
In conclusione, sono stati riconosciuti tre strati principali con caratteristiche diverse e ben riconoscibili tra di loro.



**Figura 18** – Sovrapposizione del campo di velocità tomografico con la sezione convertita in profondità per la linea HR\_1. Il tempo è espresso in ms e la velocità in m/s.



**Figura 19** – Sovrapposizione del campo di velocità tomografico con la sezione convertita in profondità per la linea HR\_2. Il tempo è espresso in ms e la velocità in m/s.



**Figura 20** – Sovrapposizione del campo di velocità tomografico con la sezione convertita in profondità per la linea HR\_3. Il tempo è espresso in ms e la velocità in m/s.