



# **GUIDA OPERATIVA SISMICA A RIFRAZIONE**

## Procedura Sismica a Rifrazione

- **Generalità**

La sismica a rifrazione è una metodologia diffusa e consolidata che permette la ricostruzione delle velocità sismiche e delle geometrie del sottosuolo. Per questo motivo è ampiamente utilizzata per finalità geotecniche (Signanini & Torrese, 2004), di microzonazione sismica (Rainone *et alii*, 2007), nell'ambito della ricerca idrica, degli studi ambientali e per la correzione statica delle indagini di sismica a riflessione.

### Normative e specifiche di riferimento

ASTM D 5777 - 95 - Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation

Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (**onde P** o "di compressione e dilatazione"), o trasversali (**onde SH** o "di taglio"), per determinare spessori e geometrie dei diversi sismostrati presenti nel sottosuolo.

Le prospezioni superficiali di sismica a rifrazione hanno un impatto ambientale nullo (tranne se si usa un esplosivo come sistema energizzante), sono economiche e riescono a coprire vaste aree.

L'indagine trova il suo miglior campo di applicazione con profondità di esplorazione di 40-50 metri e quando i risultati da ottenere sono di qualità e precisione discreta

La registrazione si realizza attraverso uno stendimento di geofoni disposti a intervalli regolari lungo il profilo che si intende indagare.

L'equidistanza tra i geofoni ed il loro numero dipendono dal dettaglio e dal target (profondità di indagine richiesta). La misura dei tempi di arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità degli orizzonti rifrattori presenti nel sottosuolo e, nel caso di misura anche delle onde secondarie o di taglio (S), di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche dei terreni e degli ammassi rocciosi investigati.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia e nel misurare il tempo impiegato

da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un sismografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

#### LIMITI DEL METODO:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

## STRUMENTAZIONE PER SISMICA A RIFRAZIONE

### A6000S, Sysmatrack , X610S

- **Modalità di acquisizione**

Più nel dettaglio per eseguire la prova è necessario avere almeno la seguente attrezzatura:

- sismografo minimo a 24 canali, con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtri analogici e digitali programmabili (filtri attivi tipo high pass, band pass e band reject), guadagno verticale del segnale (in ampiezza) e sensibilità tra 6 e 92 decibel, registrazione dei dati in digitale per elaborazioni successive con formato in uscita minimo a 16 bit;
- 24 ricevitori (12 ricevitori) :
  - per onde P geofoni verticali con frequenza propria variabile tra 8 e 40 Hz;
  - per onde S geofoni orizzontali con frequenza propria variabile da 8 - 14 Hz;
- sistema di energizzazione adeguato alla lunghezza dei tiri da realizzare; potrà essere costituito da:
  - martello strumentato lasciato cadere con violenza su una piastra metallica appoggiata al suolo;
  - cannoncino sismico;
  - energizzatori oleopneumatici e/o gravimetrici trainati e/o trasportati;
  - cariche di esplosivo.

La scelta del tipo di energizzazione dipende dalle caratteristiche del sito da indagare e dall'analisi costi benefici; più potente sarà e più vantaggi si avranno e come rapporto segnale/rumore e come qualità del segnale.

È necessario che il sistema utilizzato permetta dopo qualche stack (massimo 5) di determinare inconfutabilmente i primi arrivi su tutti i ricevitori dell'allineamento.

- **STARTER per Acquisizione:** il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un geofono starter nell'istante in cui il sistema energizzante (cannoncino, maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta determinando l'inizio della registrazione.

L'esecuzione di uno stendimento di sismica a rifrazione deve prevedere in prima analisi una valutazione del target da raggiungere e in base a questo regolare e scegliere la migliore configurazione geometrica della linea quali la lunghezza e il numero di scoppi (*shot*) da realizzare.

Generalmente per ogni stendimento la profondità massima raggiunta dalla prospezione sismica è funzione sia delle velocità sismiche dei singoli strati sia della lunghezza dei tiri sismici.

Indicativamente la spaziatura intergeofonica può variare tra 1/4 ed 1/5 della profondità del target che si intende raggiungere e si devono effettuare almeno tre energizzazioni (diretta, centrale e inversa).

La distanza tra punto di scoppio e geofoni fondamentale regola la profondità d'investigazione. Più questa distanza è grande e maggiore sarà la profondità che andrai ad investigare. Ovviamente se si decide di aumentare tanto tale distanza l'energia immessa (sorgente) deve essere maggiore.

Dopo aver fatto un sopralluogo speditivo sul sito al fine di inquadrare possibili problemi logistici per il corretto posizionamento dei geofoni, dei punti di battuta e della strumentazione necessaria all'analisi, si procede al montaggio della linea.

Particolare cura deve essere rivolta alla messa in posto dei ricevitori (coupling geofonico) e alle stazioni di scoppio.

Il numero degli scoppi per ogni linea sismica può variare da un minimo di 3 (battuta diretta, inversa e centrale) fino ad un massimo di 9, in base all'accuratezza con cui si vuole ricostruire la sezione finale, ai materiali che vengono investigati e alla lunghezza dello stendimento.

Gli scoppi esterni di solito si effettuano ad una distanza dal primo ricevitore pari almeno a quella intergeofonica; per verificare la reciprocità tra la battuta diretta ed inversa si possono prevedere altre due energizzazioni esterne a distanza maggiore pari ad esempio a 3-4 volte l'offset tra i ricevitori.

In linea generale per stendimenti minori di 100 metri buoni risultati si ottengono con 5-7 punti di battuta.

In fase di acquisizione delle onde P, se si è sul terreno naturale posizionare la piastra di battuta più aderente ed orizzontale possibile al terreno; in presenza di asfalto o cemento

si consiglia l'inserimento di un telo di gomma al fine di attenuare le alte frequenze così da registrare un segnale più "pulito".

Per stendimenti molto lunghi se si prevede l'utilizzo del cannoncino industriale o esplosivo, la carica viene fatta esplodere al fondo di un preforo appositamente eseguito a profondità dettata dallo scopo da raggiungere (in genere basta una profondità di 0.5-1 metro).

Per la generazione delle onde SH si utilizza normalmente un parallelepipedo in legno o polietilene di forma tale da poter essere colpita ad ambedue le estremità con una massa pesante; l'asse maggiore del sistema sorgente deve essere posto perpendicolarmente alla direzione dello stendimento.

E' fondamentale che il parallelepipedo venga gravato di un carico statico addizionale specie quando viene colpito così che il treno d'onde generatesi si disperda il meno possibile. Un buon accoppiamento si ottiene su terreni a granulometria fine; in caso di terreni grossolani o superfici accidentate si consiglia di inserire al di sotto della traversina uno strato di materiale fine come sabbia ad esempio.

Per la corretta determinazione delle onde di taglio, qualora non si disponesse di specifici sensori, sarà necessario realizzare per ogni punto di energizzazione anche la registrazione coniugata (rovesciata di 180° sul piano orizzontale rispetto alla direzione individuata dallo stendimento) in tal modo sarà possibile determinare correttamente l'arrivo dell'onda di taglio (dove si avrà inversione di fase) sul sismogramma.

Collegati i geofoni ai cavi e questi allo strumento si impostano i parametri sull'apparecchio che si utilizza e si può iniziare la fase di acquisizione.

### **STRUMENTAZIONE PER SISMICA A RIFRAZIONE : A6000S, Sysmatrack, X610-**

I parametri da definire sono legati principalmente alla lunghezza della registrazione (*record length*) e intervallo di campionamento (*sample rate*) e possono essere impostati attraverso la finestra di configurazione.

In tale finestra è possibile:

- impostare il numero di canali (geofoni) che si intende acquisire e successivamente salvare. Notare che il numero è riferito a canali consecutivi a partire dal primo ed è indipendente dalla selezione operata nella sezione di visualizzazione geofoni. Scegliere quali canali si desidera visualizzare a schermo (se viene spuntata la casella, il relativo

canale viene visualizzato).

- impostare il numero di campioni da acquisire. E' possibile selezionare il numero di pagine tenendo presente che ogni pagina grafica è costituita da 512 punti (un punto rappresenta un campione).
- selezionare la frequenza di campionamento, ovvero il numero di volte che il segnale proveniente dai geofoni viene campionato in un secondo. Poiché il numero di campioni memorizzabili è settabile, ma costante, è possibile scegliere tra una maggiore risoluzione temporale nella lettura del segnale (frequenza più alta) e un più lungo periodo di acquisizione del fenomeno (frequenza più bassa).

Si consiglia di utilizzare n°8 pagine per acquisire i singoli file di sismica a rifrazione.

- regolare la sensibilità del trigger, ovvero il valore di soglia superato il quale lo strumento parte con l'acquisizione. Spostando il cursore nelle diverse posizioni, è possibile leggere sotto, il corrispondente valore di soglia espresso in mV. Quanto più basso è questo valore, tanto più sensibile sarà lo strumento al segnale di trigger. Una sensibilità di 208 mV è adeguata.
- Pre-trigger: in genere può essere disattivato o al massimo impostato a 5-10 ms.

- **Frequenza di campionamento:** almeno 7500 campioni per secondo
- **Numero pagine:** 8 (4096 campioni)
- **Sensibilità del trigger:** 208 mV
- **Pre-trigger:** disattivato o 5-10 ms
- **Guadagno:** crescente dal geofono più vicino a quello più lontano dal punto di battuta

Nella finestra di dialogo guadagno è possibile creare dei gruppi di geofoni in maniera tale da poter cambiare l'amplificazione simultaneamente e della stessa entità a tutti i geofoni appartenenti al gruppo.

E' possibile, altresì, settare l'amplificazione per i singolo canale indipendentemente dal gruppo di appartenenza. Il tasto CONFIGURAZIONE consente di ritornare al precedente menù.

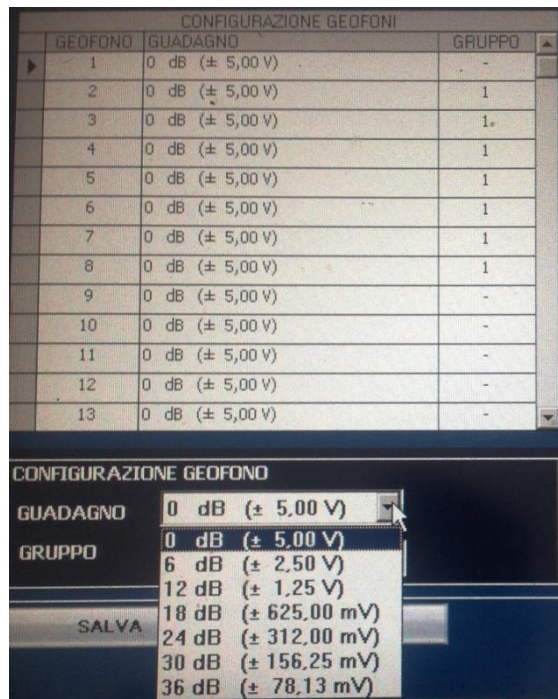
E' possibile configurare fino a 9 gruppi diversi contraddistinti con un numero progressivo. L'associazione di un particolare geofono ad un dato gruppo avviene semplicemente selezionando il canale nella tabella di sinistra e, tramite il menù a tendina in basso

etichettato con GRUPPO, scegliere il gruppo di appartenenza. Al termine di tale operazione, sulla destra viene visualizzata una tabella riassuntiva dei gruppi esistenti.

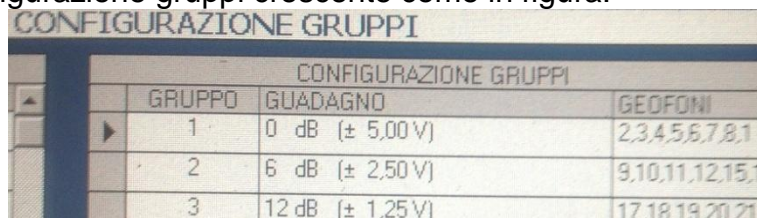
A questo punto è possibile assegnare un valore di amplificazione al gruppo intero oppure al singolo geofono con la seguente procedura:

- Selezionare il canale nella tabella di destra o il gruppo in quella di sinistra
- Scegliere l'amplificazione nel menù a tendina sottostante.

L'ultima manovra eseguita ha prevalenza sulle altre per cui se si modifica il guadagno di un particolare canale facente parte di un gruppo, è sufficiente selezionarlo ed assegnargli l'amplificazione voluta.



In genere per stendimenti non molto lunghi, per l'acquisizione della battuta diretta si consiglia una configurazione gruppi crescente come in figura.



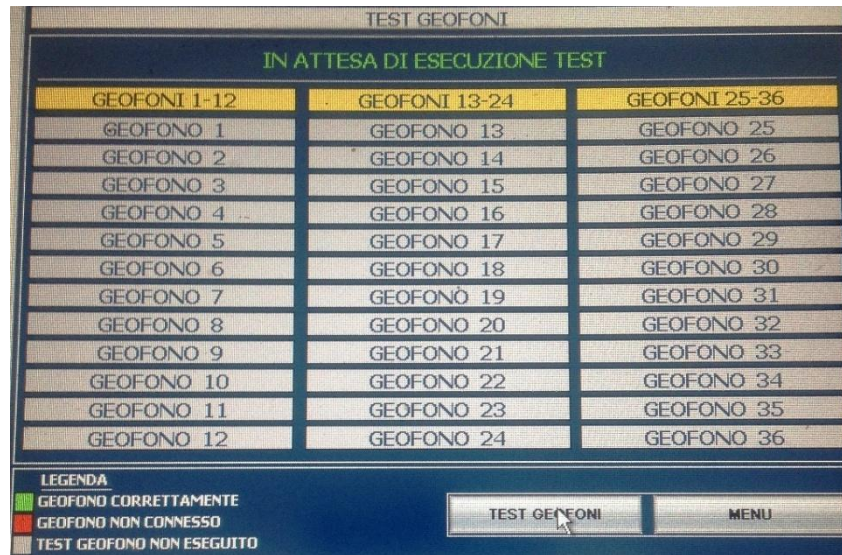
GRUPPO	GUADAGNO	GEOFONI
1	0 dB (± 5,00 V)	2,3,4,5,6,7,8,1
2	6 dB (± 2,50 V)	9,10,11,12,15,1
3	12 dB (± 1,25 V)	17,18,19,20,21

Una volta collegati gli stendimenti ed i geofoni, prima di eseguire la misura è consigliabile effettuare un preventivo controllo della funzionalità delle connessioni.

Tale controllo è implementato in automatico dall'apparecchio stesso semplicemente accedendo al menù TEST GEOFONI.



Al termine di tale test si ha evidenza dei geofoni funzionanti in verde e di quelli non funzionanti in rosso. Si consiglia di risolvere eventuali malfunzionamenti verificandone la connessione e la funzionalità.



In questo menù è possibile effettuare l'analisi del rumore di fondo rilevato dai geofoni in assenza di energizzazione. Nella finestra che verrà visualizzata sono presenti i canali selezionati nel menù di configurazione. Verranno eseguite acquisizioni consecutive senza l'attesa del segnale di trigger e quindi la visualizzazione non sarà fluida per via dell'attesa del riempimento della memoria di acquisizione.

E' possibile effettuare una misura premendo il tasto ACQUISIZIONE oppure tornare al menù principale con il tasto STOP.

Premendo il pulsante ACQUISIZIONE nel menù principale, la macchina si mette in attesa del segnale di trigger. Appena rilevato tale segnale, dopo alcuni secondi, compare la finestra che mostra i segnali catturati.

Le registrazioni delle onde SH, si effettueranno con metodo cross-over utilizzando la funzione inversione di polarità offerta dallo strumento, cioè facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra con polarità: in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

Ad integrazione dell'indagine sismica dovrà essere eseguito un rilievo topografico

comprendente la determinazione planoaltimetrica delle ubicazioni dei geofoni delle basi sismiche a rifrazione, riferendosi o a punti notevoli o ad elementi cartografici noti dell'area interessata ; può bastare anche esprimendolo in coordinate relative.

I moderni metodi di elaborazione del dato sismico, come il Generalized Reciprocal Method (GRM: Palmer - 1980), Delay time e Metodo dei Tempi Intercetti consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente "accidentati" e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

I file acquisiti potranno essere processati anche con modellazione del sottosuolo su base anisotropica e cioè in tecnica tomografica che dovrà fornire un'elaborazione con metodologie iterative di inversione come ad esempio R.T.C. (Ray Tracing Curvilineo) e algoritmi di ricostruzione tomografica (algoritmi ART - Algebraic Reconstruction Technique, SIRT - Simultaneous Iterative Reconstruction Technique o ILST - Iterative Least Square Technique).

La tomografia sismica limita i problemi dovuti agli strati ad inversione di velocità (orizzonte fantasma) o di spessore ridotto e migliora i risultati ottenibili con la tradizionale tecnica aumentando l'efficacia nella ricostruzione del sottosuolo; si presta bene in situazioni complesse come nella geometria di corpi di frana, individuare strutture sepolte.

Dal punto di vista esecutivo la prova si effettua analogamente alla prova tradizionale ma per garantire una maggiore copertura si dovranno prevedere più energizzazioni interne allo stendimento.

In linea generale il processo di inversione prevede la generazione di un modello semplificato iniziale successivamente si calcolano i tempi di arrivo delle onde nel modello e i tempi vengono confrontati con le misure effettivamente registrate. Il modello viene aggiornato in base agli errori e si ripete la procedura iterativamente fino a raggiungere una soglia di affidabilità.

**In campagna le modalità operative sono illustrate di seguito.**

Stendere la bindella metrica per la lunghezza prestabilita e infiggere i geofoni al passo che si è predisposto; questi dovranno risultare ben solidali con il terreno così da minimizzare riverberi e migliorare il rapporto segnale/rumore.

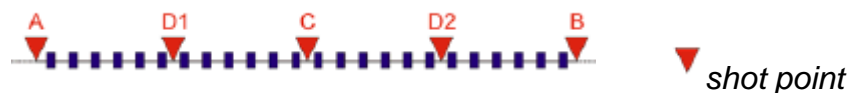
Se si devono acquisire sia onde P che onde SH si consiglia di infiggere entrambi i tipi ricevitori magari ponendoli per comodità sulla destra e sulla sinistra della bindella metrica. Una volta posizionati i geofoni, questi dovranno essere connessi ai cavi rispettando le dimensioni delle pinze che ne contraddistinguono la polarità ( grande con grande e piccolo con piccolo). E' bene non far toccare il terreno o altre superfici specie se bagnate con e connessioni metalliche.

Ogni cavo è contraddistinto da 12 prese. Il connettore del cavo sismico dovrà arrivare comodamente al sismografo a cui verrà collegato.

Per quanto riguarda la posizione dello strumento, questo deve essere posto al centro tra i cavi 1-12 e 13-24 così come in figura.

Si consiglia di preparare logisticamente i punti di scoppio prima di iniziare l'acquisizione specie per le battute interne e per la generazione delle onde SH poiché dovranno

Una configurazione molto diffusa per *array* non molto lunghi prevede 5 punti di scoppio di quali due esterni e tre interni. Adottando questa configurazione si consiglia di posizionare i tiri intermedi (D1 e D2 in figura) tra il 6° e il 7° ricevitore e tra il 18° e il 19°. La battuta centrale (C) si effettuerà tra il 12° e il 13° geofono mentre la diretta (A) e l'inversa (B) ad inizio e alla fine della linea.



Una volta connessi i ricevitori e i cavi allo strumento, portare il geofono *starter (trigger)* nel punto in cui si vuole eseguire la battuta e ovviamente connettere lo starter alla prolunga che verrà collegata allo strumento. Infiggere il *trigger* a circa 5-10 cm dal punto di energizzazione.

In presenza di terreno pavimentato, asfalto, cemento o nei casi in cui diventa difficoltoso infiggere i geofoni, si utilizzeranno i tripodi in alluminio che riescono a dare una buona sensibilità ai singoli ricevitori.

Completato il montaggio della linea si può accendere il sismografo e con pazienza si attende la fase di avvio automatico del *software* di acquisizione; si consiglia di mettere in allerta l'aiutante per prepararsi alla battuta.

Settato lo strumento come indicato nel paragrafo precedente e eseguito il test sui geofoni, si possono iniziare le operazioni di acquisizione.

Alla fine di ogni battuta si salverà un file .seg2 e pertanto alla fine dell'indagine si dovranno avere 5 file per le onde P e 5 per le onde SH.

Si inizia con la battuta diretta (A) e si osserva la restituzione del segnale sul sismogramma così da comprendere possibili accorgimenti nelle operazioni successive di acquisizione per migliorare la traccia acquisita.

Se il segnale di primo arrivo si vede chiaramente sul ricevitore più lontano (24°) si può procedere a registrare le altre battute.

In caso si vuole avere una migliore definizione della fase di primo arrivo, come descritto in precedenza, si può agire sulla finestra di comando guadagno aumentandolo; in genere si aumenta in maniera progressiva il guadagno verso i geofoni più lontani.

Nel caso in cui si riscontrano problemi di saturazione del segnale, specie sui canali prossimi alla sorgente il guadagno può essere diminuito. In terreni veloci anche impostando 0db si ottengono delle tracce leggibili.

In ogni caso qualora il segnale dovuto ad una singola energizzazione risulta "debole" e lo di difficile interpretazione, si può procedere ad eseguire un'iterazione facendo un'ulteriore battuta e sommando il contributo dato ai diversi canali. Qualora si vuole sommare sulle tracce un'ulteriore battuta si procede ad un'ulteriore iterazione di somma fino a quando si raggiunge un segnale in cui si può individuare chiaramente il primo arrivo dell'onda.

Quando si è certi di aver acquisito una buona traccia sismica per lo *shot* considerato, si procede nel salvataggio del file e ci si sposta sul tiro intermedio D1.

Ricollegare il trigger e procedere nell'energizzazione.

Effettuare gli accorgimenti di cui sopra prima di salvare il file.

Spostarsi nei punti di battuta C, D2 e B e registrare le rispettive tracce di campagna.

La linea sismica a rifrazione in onde P è così pronta per essere processata.

Analogamente alla fase di acquisizione delle onde P, si procede all'acquisizione delle onde SH .

I parametri di configurazione possono essere invariati anche se sarebbe opportuno aumentare il tempo di acquisizione impostando quindi un numero di pagine maggiore (ex n°10).

In alcuni *shots* che si ritengono significativi, specie dove si hanno delle tracce disturbate e quindi non è chiaro il primo arrivo, si può operare tramite inversione di polarità energizzando la sorgente SH sia con polarizzazione diretta (S+) sia inversa (S-) sui lati del parallelepipedo per poter valutare meglio il primo arrivo dell' onda di taglio depurandolo dall'eventuale influenza dell'arrivo di onde longitudinali più veloci; queste possono essere più o meno evidenti a seconda dell'efficienza della sorgente SH.

Per salvare il file con inversione di polarità si deve eseguire nel processo di iterazione l'opzione differenza sui canali da considerare.

Si vuole ricordare che durante la fase di acquisizione delle onde SH risulta fondamentale un buon accoppiamento parallelepipedo-terreno.

- **Elaborazione**

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima della sezione sismica risultante può ricondursi essenzialmente a due fasi principali:

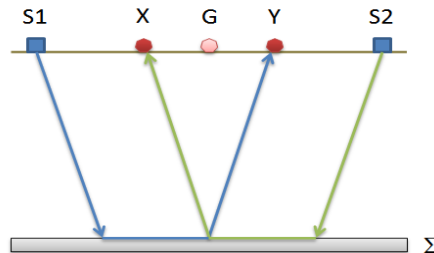
- la prima relativa all'individuazione del primo arrivo attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking con le opportune analisi e filtraggio del segnale;
- la seconda rappresentata dalla ricostruzione delle dromocrone e successiva relativa interpretazione per la ricostruzione del modello del sottosuolo (Delay-time, GRM, tempo intercetto).

Salvati quindi i diversi file in formato .Sg2 corrispondenti ognuno ad un punto di battuta, si procede quindi all'analisi importandoli nel *software* specifico *PSLab* dove andranno opportunamente elaborati ed interpretati.

Il software *PsLab* utilizza come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi

sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione.

Dalla ricostruzione delle dromocrone si determina, attraverso alcune equazioni, la funzione velocità e per mezzo della funzione tempo-profondità è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. Infine mediante una relazione è possibile determinare lo spessore del rifrattore così da poter ricostruire una sezione sismostratigrafica.

Uno dei principali vantaggi del metodo di elaborazione G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

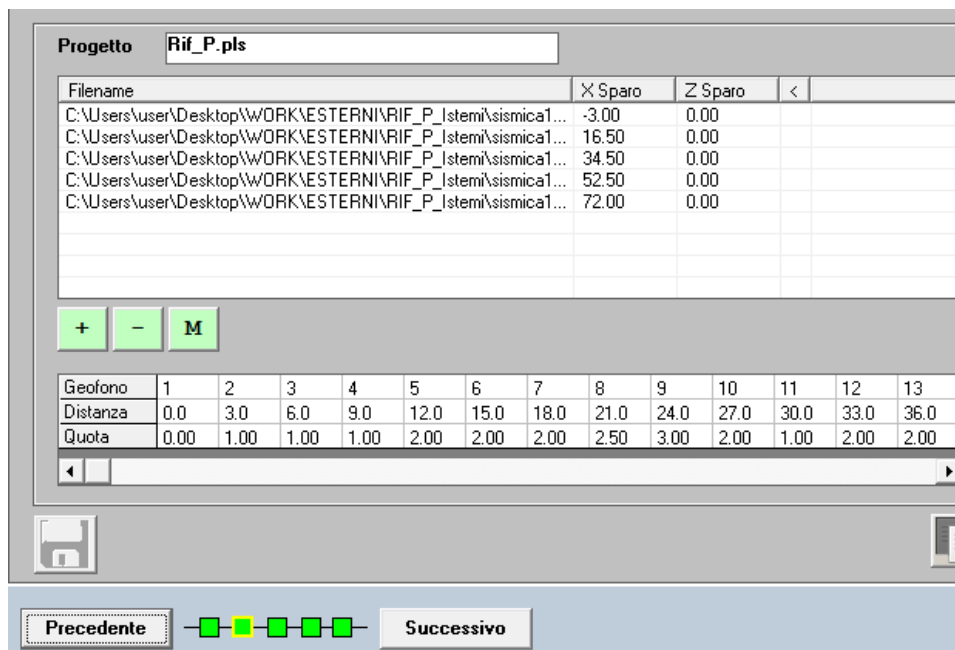
All'apertura del programma, selezionata l'analisi superficiale, si crea il progetto di lavoro con estensione **.pls** che potrà essere salvato in un percorso specifico.

Attraverso cinque step principali l'utente sarà guidato nella procedura di elaborazione che, a partire dai dati di campagna, permette di ottenere la sezione sismostratigrafica finale e ottenere un rapporto dettagliato, corredato di grafici e tabelle.

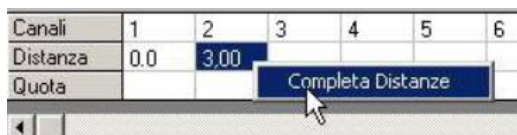


Si dovranno caricare i file di campagna cliccando sul tasto aggiungi (+). Al momento di importare il file dello sparo specifico, l'utente deve specificare la distanza e la quota così da settare l'esatta geometria dello stendimento che si è effettuato.

In figura un esempio in cui l'indagine sismica è stata effettuata con 5 punti di scoppio con un'offset di 3 metri.



Terminata la fase di inserimento dei files .Seg2 si dovrà salvare il progetto per passare allo step successivo nel quale si potranno visualizzare le diverse tracce acquisite e in cui verrà effettuato il picking dei primi arrivi.



Per inserire la distanza dei vari geofoni basta immettere nel geofono 2 la distanza che lo separa dal geofono 1 quindi premere il tasto destro del mouse e selezionare la voce Completa Distanze.

Sulla schermata "Ricerca primi arrivi" verranno elencati i file .Seg2 inseriti seguiti da un pallino che avrà colorazione rossa se per quel file non è stato eseguito il picking, oppure verde se l'operazione è stata portata a termine.

Gli *shot* intermedi saranno suddivisi in due finestre di sismogrammi separati così da permettere un miglior confronto con le diverse battute alla sinistra (SX) e alla destra (DX) del punto di scoppio.

Cliccando sul nome del file SEG2, si aprirà la finestra contenente i sismogrammi.

RICERCA PRIMI ARRIVI		
N.	File	
1	sismica1_0.sg2	●
2	sismica1_20.sg2 [SX]	●
3	sismica1_20.sg2 [DX]	●
4	sismica1_40.sg2 [SX]	●
5	sismica1_40.sg2 [DX]	●
6	sismica1_60.sg2 [SX]	●
7	sismica1_60.sg2 [DX]	●
8	sismica1_80.sg2	●

Precedente      Successivo

Una volta aperta la finestra con le tracce acquisite è possibile iniziare ad individuare i primi arrivi; per facilitare l'operazione si possono utilizzare alcuni tool tra cui rimozione offset , equalizza o ad esempio evidenziare la fase che si desidera (positiva,negativa,nessuna) e zoomare i singoli canali per rendere più chiara l'onda e eseguire meglio la scelta del picking.

La funzione zoom sul singolo canale si attiva posizionando il cursore sul sismogramma da analizzare, premendo il tasto destro del mouse e selezionando ATTIVA ZOOM. Per tornare alla visualizzazione totale selezionare la voce DISATTIVA ZOOM.





Il picking si effettua in maniera semplice posizionandosi con il cursore sul punto che si ritiene essere il primo arrivo dell'impulso sismico sul canale considerato e dando un doppio click con il mouse al quale viene associata una linea rossa. Questa segnalerà il tempo di primo arrivo.

Dopo aver effettuato il picking su tutti i files .Seg2 caricati, è possibile controllare i primi arrivi nella tabella riassuntiva:

TABELLA PRIMI ARRIVI									
	-3.00	16.50	34.50	52.50	72.00				
0.0 mt.	13.33	22.00	45.20	59.47	40.53				
3.0 mt.	18.67	18.80	41.20	58.40	39.20				
6.0 mt.	22.67	14.80	38.40	55.73	38.13				
9.0 mt.	26.67	8.00	34.00	53.60	36.93				
12.0 mt.	36.00	7.20	28.40	51.47	36.00				
15.0 mt.	39.33	2.80	26.00	48.80	35.47				
18.0 mt.	46.67	3.33	20.00	47.20	34.00				
21.0 mt.	53.33	8.53	13.60	44.80	32.40				
24.0 mt.	58.00	11.47	11.20	42.40	31.07				
27.0 mt.	61.33	13.73	7.60	39.47	30.40				
30.0 mt.	62.67	16.80	4.80	36.53	28.93				
33.0 mt.	64.67	20.00	1.20	31.47	27.33				
36.0 mt.	68.67	23.47	1.60	28.80	26.00				
39.0 mt.	70.00	26.13	6.93	25.60	24.93				
42.0 mt.	71.33	28.67	10.80	19.73	23.07				

Nell'intestazione orizzontale vengono riportate le distanze dei punti di scoppio in quella verticale le distanze dei geofoni. Quindi ogni colonna identifica una acquisizione e ogni riga un geofono.

I tempi riportati nella tabella possono essere modificati manualmente entrando in modalità Edit (cella gialla). E' bene ricordarsi di salvare sempre le modifiche dopo che si cambia il picking o i tempi in maniera manuale.

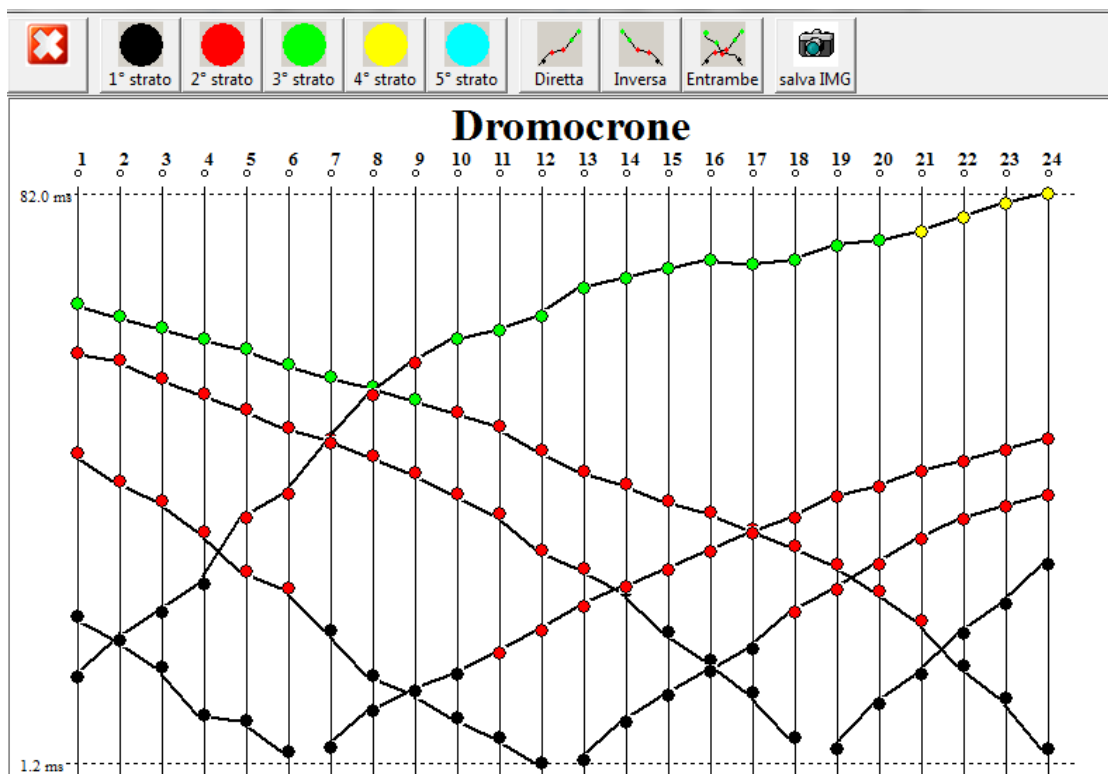
La fase finale del processing dei dati consiste nel definire le Dromocrone e calcolare quindi la sezione G.R.M. risultante.

L'utente dovrà stimare gli strati del sottosuolo analizzato; si consiglia quindi di avere alcuni riferimenti stratigrafici lungo la sezione che verrà riprodotta così da migliorare l'incertezza dovuta alla sola indagine sismica e quindi ai soli tempi di primo arrivo.

Un rapido confronto sulla bontà dei dati acquisiti può essere fatto tra i tempi corrispondenti alle diverse battute specie la diretta e l'inversa e ai rispettivi punti di "ginocchio" che si visualizzano nelle Dromocrone.

I cambi di pendenza delle curve tempi-distanze (dromocrone) chiamati "ginocchi" sono rappresentativi di una diversa risposta in tempi del segnale sismico ai singoli ricevitori e quindi sono indicativi di un possibile cambio di materiale investigato, in altre parole di un diverso strato sismostratigrafico.

Una conoscenza del sottosuolo e delle profondità dei contatti litostratigrafici lungo lo stendimento effettuato, aiuterà sicuramente l'utente nella scelta e attribuzione dei singoli strati e quindi dei principali rifrattori dai quali poi verrà generata la sezione sismica a rifrazione finale.



I differenti colori dei pallini che identificano i singoli ricevitori per i diversi punti di scoppio, corrispondono ai diversi strati che si sono assegnati; questi vengono attribuiti selezionando dalla barra in alto quello che si intende scegliere e andando poi a posizionarsi con il cursore sul punto corrispondente nel grafico delle dromocrone.

L'elaborazione con il software PsLab termina cliccando sul tasto calcola G.R.M. con il quale verrà visualizzata la sezione sismostratigrafica risultante in cui si evidenziano le profondità dei sismostrati e le velocità sismiche corrispondenti.

