



GUIDA OPERATIVA SISMICA MASW

Procedura Sismica di superficie tipo MASW

- **Generalità**

L'esplorazione geofisica con le Onde di superficie permette di ottenere con semplicità ed economicità le velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo.

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) permette la determinazione del profilo di velocità Vs30 superando alcuni dei limiti presenti nella tecnica a rifrazione come l'inversione di velocità.

Un limite alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentato dalla presenza di pendenze significative ($>20^\circ$) sia della topografia che delle diverse discontinuità elastiche. L'indagine non necessita di tempi lunghi in fase di acquisizione e da buoni risultati anche in presenza di rumore.

Le onde di *Rayleigh*, in un mezzo stratificato, sono dispersive propagandosi con diverse velocità di fase e velocità di gruppo; si registrano lungo lo stendimento di geofoni energizzando artificialmente e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

Sebbene il segnale generato da una sorgente puntiforme verticale genera anche onde P e SV, il contributo delle onde di *Rayleigh* risulta prevalere sia perché trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente sia perché subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle P ed S in quanto si propagano secondo fronti d'onda sferici.

L'analisi delle onde S mediante tecnica MASW viene eseguita mediante la trattazione spettrale del sismogramma, a seguito cioè di una trasformata di Fourier che restituisce lo spettro del segnale.

In questo dominio, detto dominio trasformato, risulta visibile il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P e onde d'aria.

Osservando lo spettro di frequenza è possibile evidenziare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della sua frequenza, come risultato del fenomeno della dispersione. Effettuato il *picking* sullo spettro $f-K$ o sulla curva di dispersione ottenuta dai dati di campagna, mediante dei processi di inversione, si ottiene il profilo di velocità con la profondità che permette di definire il parametro della Vs30.

Generalmente il metodo attivo consente di ottenere una velocità di fase (curva di dispersione appunto) nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100Hz.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- a) acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali ("ground roll")*
- b) costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);*
- c) inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.*

L'inversione della curva di dispersione viene successivamente realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione sperimentale come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura dei minimi quadrati.

- **Modalità di acquisizione**

L'attrezzatura di prova dovrà essere costituita almeno dai seguenti componenti:

- sismografo digitale a 12 canali (meglio 24), con possibilità di stack delle registrazioni, guadagno del segnale (in ampiezza) e dinamica del convertitore A/D minima a 16 bit;
- per prove relative alla caratterizzazione del sottosuolo, 12 (meglio 24) geofoni verticali (o accelerometri) a frequenza propria uguale o inferiore a 4.5 Hz;
- sistema di energizzazione da scegliersi in funzione della scala delle indagini che in genere è rappresentato da una mazza battente con eventuale piastra di ripartizione appoggiata al suolo; si possono usare anche energizzatori sismici impulsivi oleopneumatici e/o a gravità, sorgenti vibranti (vibrochina) o fucili sismici.
- bindella metrica per un preciso posizionamento dei ricevitori.

Gli obiettivi dell'acquisizione sono quelli di fornire dati relativi alla propagazione di onde superficiali in una banda di frequenza più ampia possibile poiché ciò consente di ottenere informazioni sulle proprietà degli strati profondi, che influenzano le componenti a bassa frequenza, e di descrivere con adeguata risoluzione gli strati più superficiali, che influenzano in maniera significativa soprattutto le componenti ad alta frequenza. Ciò implica la scelta di corretti parametri di acquisizione nello spazio e nel tempo.

La durata del segnale (lunghezza temporale) registrato deve essere sufficiente per consentire all'impulso emesso dalla sorgente (treno d'onda), di propagarsi da un estremo all'altro dell'array e per consentire la naturale attenuazione del segnale su tutti i ricevitori;

questo tipicamente richiede 1-2 secondi. Per stendimenti molto lunghi, i tempi possono ovviamente aumentare.

L'intervallo di campionamento deve garantire la stima delle armoniche di interesse in base alle regole del campionamento.

Essendo la parte interessante del segnale acquisito tipicamente contenuta sotto i 100 Hz è sconsigliato (ved. teorema *Nyquist*) abbassare la frequenza di campionamento sotto i 200 Hz. E' bene quindi usare un intervallo di campionamento tra 0,5 ms e 2 ms così da avere circa 1000 campioni per secondo.

Le acquisizioni devono essere eseguite con *array* lineari i cui geofoni sono rigorosamente collocati su una linea retta. I ricevitori devono essere posizionati in modo che la distanza che li separa da quelli adiacenti sia costante (distanza intergeofonica).

Data la necessità di analizzare con dettaglio le basse frequenze (anche < di 20 Hz), risulta consigliabile utilizzare geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Dato che l'analisi interpretativa tiene conto della naturale attenuazione del segnale a seguito della sua propagazione nel sottosuolo, quando si acquisisce una sismica superficiale tipo MASW, i geofoni devono essere impostati tutti con la stessa amplificazione (guadagno *db*).

L'energizzazione dovrebbe essere fatta usando strumenti in grado di generare un segnale relativamente pulito rispetto al rumore di fondo.

Per *array* non troppo lunghi una buona sorgente è l'economica mazza che batte su una piastra metallica; in ambiente urbano un utile accorgimento è quello di battere quando non si hanno fonti di rumore dovute ad esempio al passaggio di un'automobile vicino lo stendimento.

Per aumentare il rapporto segnale-rumore si possono eseguire anche diverse energizzazioni e sommare successivamente i segnali ottenuti in modo aritmetico.

La posizione della sorgente deve essere sempre esterna all'*array* e sempre in asse con esso.

Si collocherà prima del primo geofono ad una distanza tale da approssimare ai ricevitori una forma d'onda piana; la fase di elaborazione dati non restituisce valori molto corretti se la sorgente è troppo vicina ai primi geofoni e quindi la teoria della forma d'onda piana non è valida.

In genere con una distanza intergeofonica di 1 metro, energizzando a 3-4 metri dal primo geofono si ottengono buoni risultati. In ogni caso se per problemi logistici non è possibile posizionarsi a tale distanza si può energizzare anche ad una distanza dal primo ricevitore pari all'interasse dei ricevitori (1 m). La tecnica MASW ha il pregio di mitigare considerevolmente l'effetto delle onde P e S nel *near -field* (Roma,2001).

Per avere maggiori dati a disposizione e data la difficoltà di trovare in natura un sottosuolo ideale a strati piano paralleli, è bene ricorrere ad una seconda fase di acquisizione energizzando all'altro estremo dell'array.

In genere si consiglia di eseguire la prova MASW lungo due stendimenti ortogonali fra loro, per poter determinare un profilo 1D delle velocità Vs nelle due direzioni perpendicolari.

Lo stendimento in presenza di un pendio, dovrà essere disposto lungo una curva di livello piuttosto che lungo la direzione di massima pendenza.

Tipicamente gli strati superficiali hanno variazioni stratigrafiche più marcate e queste si analizzeranno attraverso le informazioni contenute nelle alte frequenze. Pertanto con la doppia posizione della sorgente si avranno variazioni nei primi metri (alte frequenze) ma simili a basse frequenze.

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 la qualità del segnale.

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. Se si utilizza una disposizione a 12 geofoni, quando gli spazi non consentono una lunghezza maggiore dell'*array* o per altri motivi, i ricevitori si

connettono ad un singolo cavo e pertanto lo strumento si posizionerà ad una estremità dello stendimento.



In verde sono rappresentati i cavi in purex con intervallo tra le prese configurabile in fase di realizzazione.
 In rosso i geofoni con la relativa numerazione da essi assunta in fase di acquisizione dei segnali.

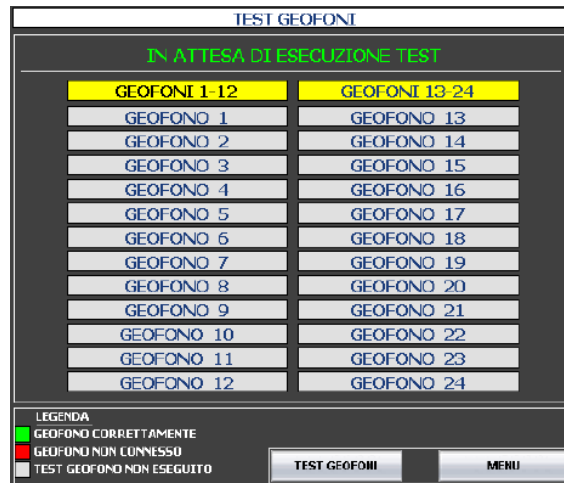
Una volta connessi i ricevitori e i cavi allo strumento, portare il geofono starter (trigger) nel punto in cui si vuole eseguire la battuta e ovviamente connettere lo starter alla prolunga che verrà collegata allo strumento. Infiggere il trigger a circa 5-10 cm dal punto di energizzazione.

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.

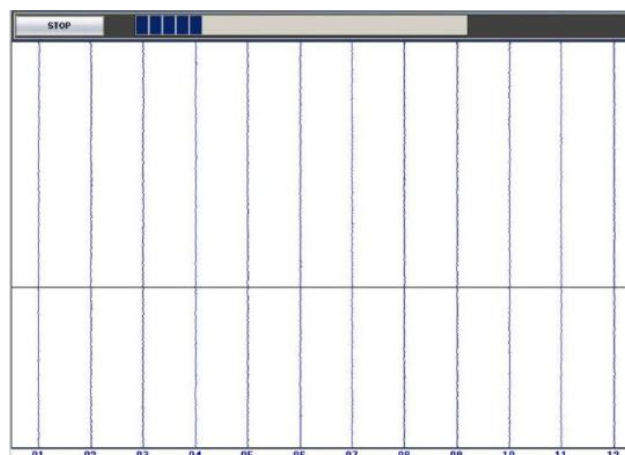
Completato il montaggio della linea si può accendere il sismografo e con pazienza si attende la fase di avvio automatico del *software* di acquisizione; si consiglia di mettere in allerta l'aiutante per prepararsi alla battuta con martello o a sparare se si sta usando il fucile sismico.

Prima di eseguire la misura, si verifica la corretta connessione dei geofoni. Tale controllo è implementato in automatico dall'apparecchio stesso semplicemente accedendo al menù TEST GEOFONI. Il risultato di tale operazione è la visualizzazione di una finestra simile a

quella riportata nella figura che segue. Al termine di tale test si ha evidenza dei geofoni funzionanti in verde e di quelli non funzionanti in rosso. Se qualche ricevitore non è ben connesso si procede a rimuoverlo e verificarne le funzionalità.



E' possibile effettuare l'analisi del rumore di fondo. Nella finestra che verrà visualizzata sono presenti i canali selezionati dal menù di configurazione (ex. 12 in figura). 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. L'operazione risulta opportuna in siti rumorosi come in contesti urbani in quanto consente all'operatore di scegliere il momento più adatto per energizzare.



A questo punto, settati i parametri di acquisizione nella scheda di configurazione dello strumento si è pronti nella registrazione del file .seg2 che sarà pronto per essere elaborato.

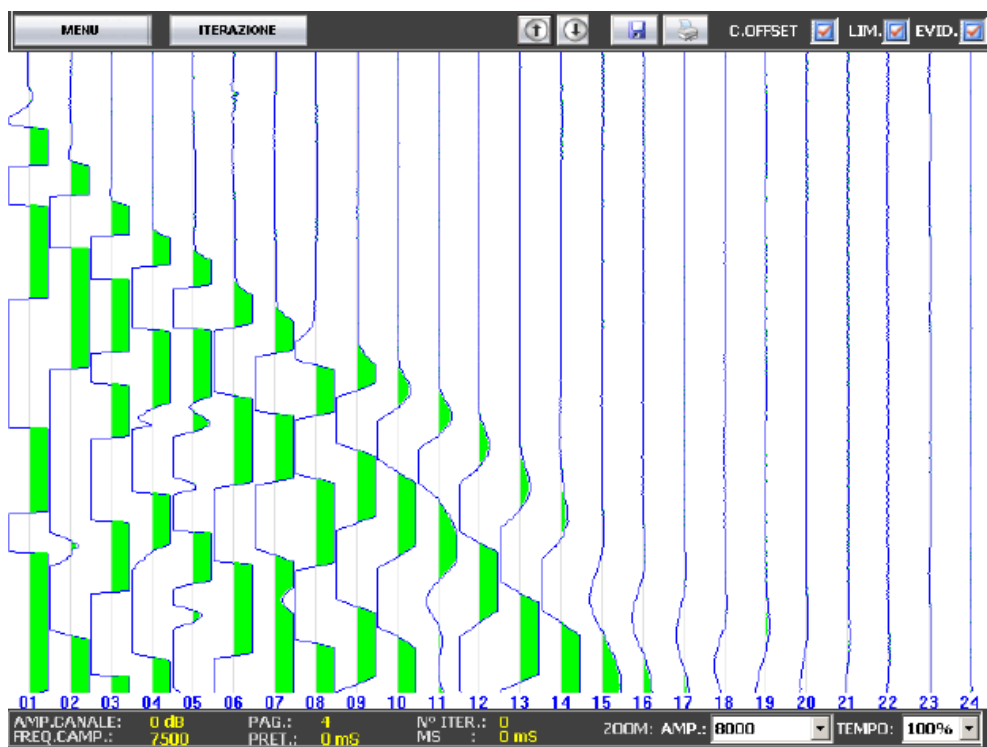
Dal momento in cui si preme il tasto acquisizione e si esegue la battuta, il sismografo registra comunque un file per ogni sparo. Scelti i canali da utilizzare (12-24) per indagini tipo MASW, la configurazione da adottare è la seguente:

- **Frequenza di campionamento:** 1000 campioni per secondo
- **Numero pagine:** 4 (durata 2 sec.)
- **Sensibilità del trigger:** 208 mV
- **Pre-trigger:** disattivato

Il guadagno da dare ai geofoni deve essere uguale e si consiglia di utilizzare 6 db o 12 db specie se lo stendimento non è molto lungo.

In terreni "veloci" anche impostando 0 db si ottengono buoni risultati; un guadagno elevato in alcuni casi può dare problemi di "saturazione" del segnale.

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.



Sulle forme d'onda ottenute si possono effettuare delle operazioni per visionare meglio il sismogramma agendo ad esempio sull'asse dei tempi o sulle ampiezze.

Il salvataggio dei dati avviene sullo strumento compilando il modulo di campo e la rispettiva directory in cui si vuole salvare, oppure su memoria USB esterna.

