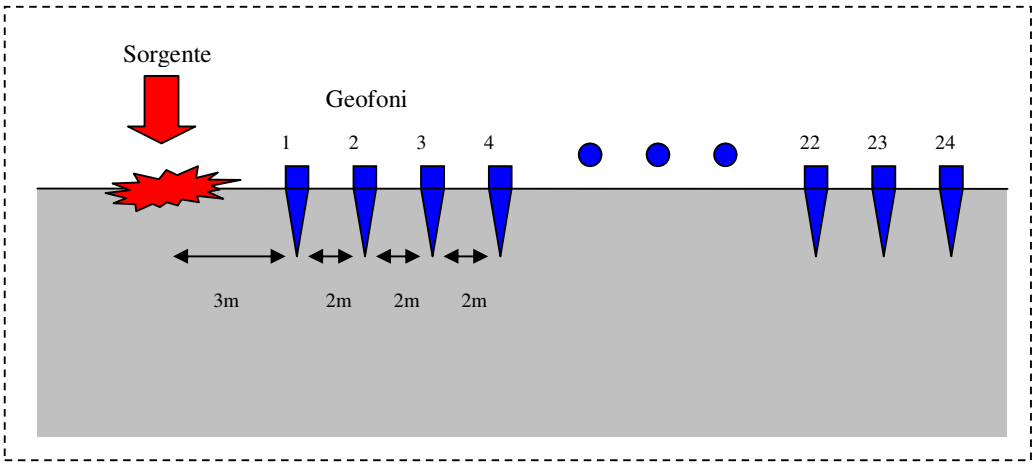
SWAN (Surface waves analysis)

Questo documento contiene istruzioni dettagliate per eseguire l'interpretazione, mediante **SWAN**, dei dati MASW-SASW allegati. I 2 esempi descritti sono stati studiati in modo da poter utilizzare molti degli strumenti messi a disposizione dal programma.
Assieme a questo documento si trovano alcuni file con estensione *sg2*, inseriti in 2 diverse cartelle:

- La cartella *Sample1* contiene i file *File1.sg2*, *File2.sg2*, *File3.sg2*, *File4.sg2* e *File5.sg2*. I dati contenuti in questi file necessitano di una preliminare fase di elaborazione per poterne correggere alcuni difetti; in questo modo sarà possibile utilizzare alcuni degli strumenti di pre-processing di **SWAN**.
- La cartella *Sample2* contiene soltanto il file *FileTot.sg2*. Questo file è stato ottenuto dalla elaborazione, mediante **SWAN**, dei 5 file presenti nella cartella *Sample1*. Utilizzando questo file per creare un progetto con **SWAN** si evita la fase di pre-processing e sarà possibile così eseguire direttamente la fase di interpretazione.

I dati sono relativi ad acquisizione MASW-SASW, e sono stati salvati in formato *SEG-2*. Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando un array composto da 24 geofoni, posizionati con distanza intergeofonica di 2 metri. La sorgente è collocata ad una distanza di 3 metri dal primo geofono, esternamente all'array.



Il tempo di campionamento è di 1 millisecondo (ovvero la frequenza di campionamento è 1000Hz o 1KHz), e la durata dell'acquisizione è di 2 secondi.
Sono state eseguite 5 energizzazioni, con la stessa configurazione, ciascuna salvata su un differente file.

I file sono stati volutamente alterati in modo da simulare alcuni delle eventuali problematiche che possono essere connesse alla fase di acquisizione:

- Nel file *File1.sg2* i geofoni 18 e 19 sono stati collegati con le polarità invertite.
- Nel file *File1.sg2* il geofoni 23 è difettoso od è stato collegato male.
- Nel file *File2.sg2* il tempo di pre-trigger è minore rispetto agli altri file.
- Il file *File3.sg2* ha i geofoni numerati in ordine inverso.
- Nel file *File4.sg2* sui geofoni da 9 a 14 è presente una componente continua sovrapposta al segnale utile.
- Nel file *File5.sg2* si è sovrapposto un forte evento di disturbo sul segnale utile.

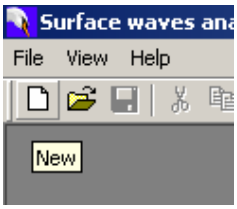
Fasi di elaborazione:

Per eseguire le interpretazioni dei dati con **SWAN** sarà necessario eseguire in successione le seguenti operazioni, che in seguito saranno dettagliatamente descritte:

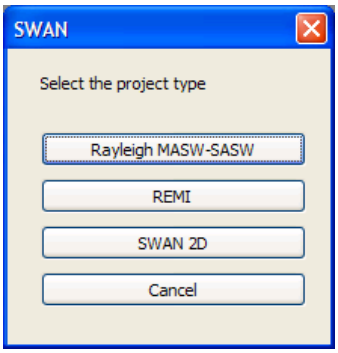
- Creazione di un progetto MASW-SASW.
- Collegamento dei file contenenti i dati da elaborare al progetto creato.
- Eventuale fase di pre-processing per manipolare i dati stessi in modo da migliorare la qualità della successiva interpretazione.
- Passaggio del sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Estrazione della curva di dispersione sperimentale mediante interpretazione dello spettro FK.
- Inversione, ovvero generazione di un modello sintetico a cui sia associata una curva di dispersione teorica ben sovrapposta a quella sperimentale.

Creare un nuovo progetto MASW-SASW:

- Una volta istallato **SWAN** aprirlo utilizzando l'icona sul desktop o tramite il collegamento presente sul menù di avvio di Windows.
- Specificare che si desidera creare un nuovo progetto mediante il comando *Menù*>*File*>*New*, o tramite il pulsante sulla barra degli strumenti.

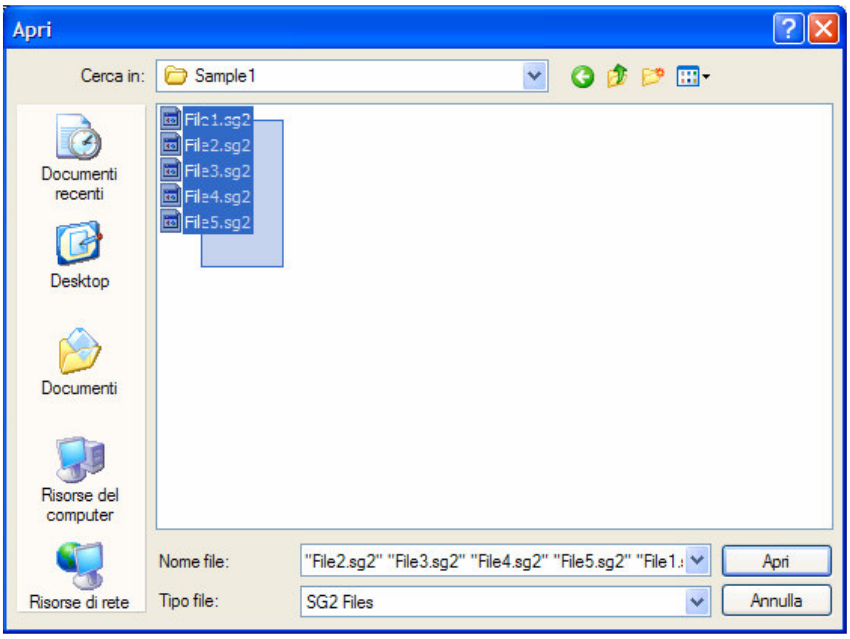


- Selezionare il giusto tipo di progetto, cioè premere il pulsante relativo al progetto MASW-SASW.

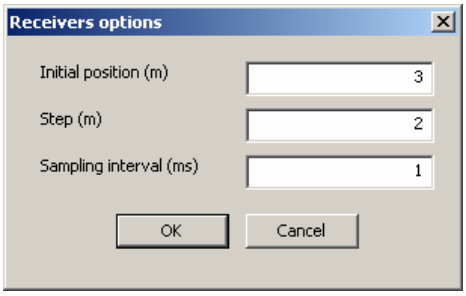


Collegamento dei file al progetto:
Segue la descrizione delle differenti procedure per i 2 distinti progetti
Progetto legato ai dati contenuti nella cartella *Sample1*

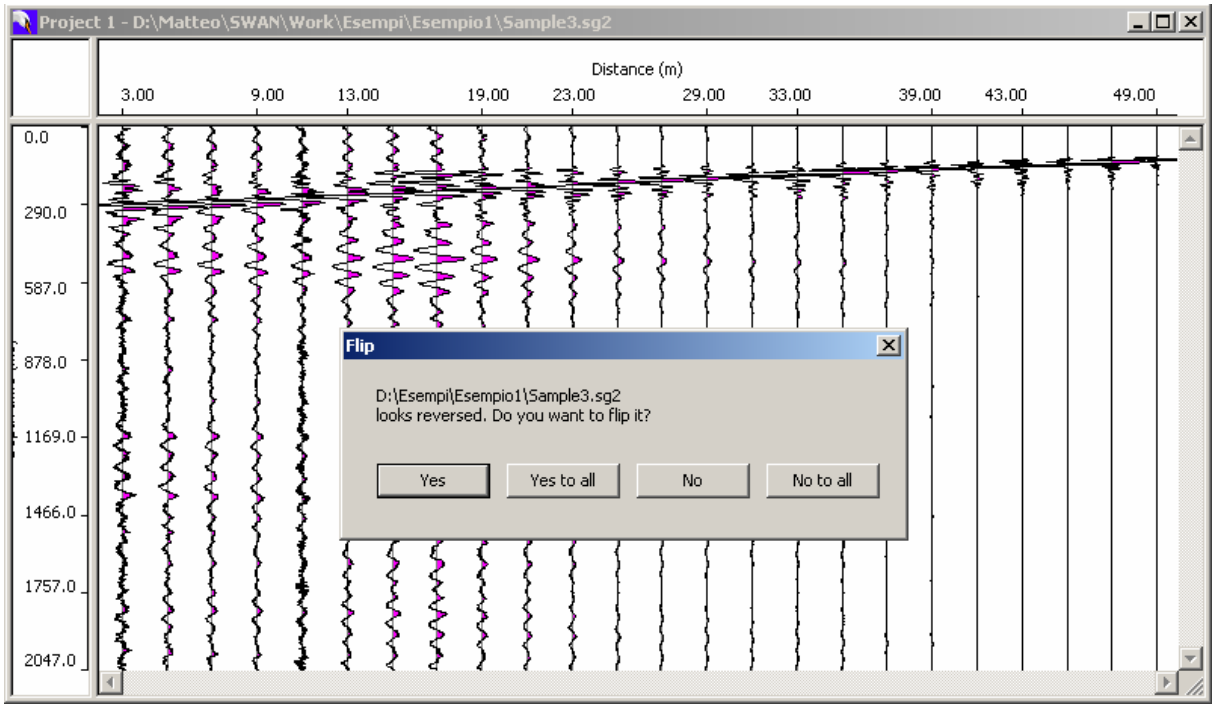
- Una volta selezionato il tipo di progetto, **SWAN** apre una finestra di dialogo attraverso la quale (una volta raggiunta la cartella *Sample1*) si deve selezionarle i file *File1.sg2* ..*File5.sg2*. La selezione va attuata mediante la classica multiselezione, ovvero basta disegnare un rettangolo con il mouse in modo che sia sovrapposto ai nomi dei vari file. E' anche possibile selezionarli uno ad uno tenendo premuto il tasto *CTRL* mente si preme il pulsante del mouse in corrispondenza dei nomi dei vari file.



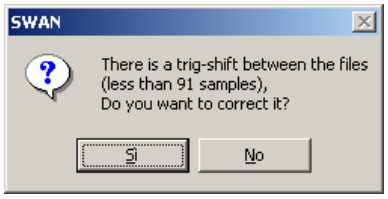
- Si apre una finestra in cui si chiede di inserire il valore di alcune grandezze, in accordo alla fase di acquisizione. L'*initial position* è la distanza tra il primo geofono e la sorgente, quindi vale 3 metri, lo *step* è la distanza intergeofonica, quindi vale 2 metri, mentre il *sampling interval* è il tempo di campionamento, che vale 1 millisecondo. Premere il pulsante *OK* per completare l'importazione dei dati.



- **SWAN** rileva che il file *File3.sg2* è stato acquisito con i canali ordinati inversamente, premere il pulsante *Yes* presente sulla finestra visualizzata per specificare che si desidera che **SWAN** corregga tale problema.

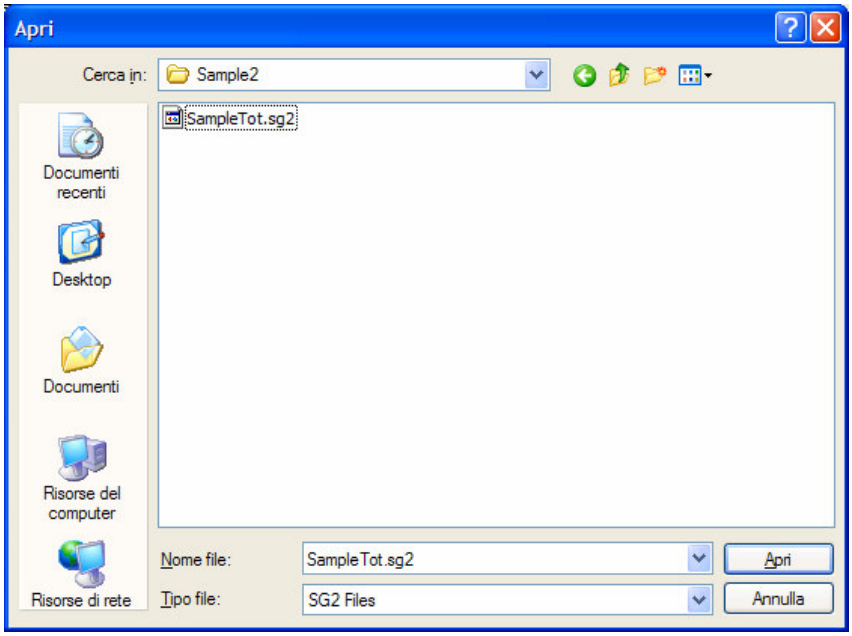


- **SWAN** riconosce, osservando i dati, che il segnale nel file *File2.sg2* non è ben sincronizzato con gli altri dati, essendo lo scostamento piuttosto consistente (quasi un decimo di secondo) è bene correggere tale problema, quindi premere il pulsante *Yes* presente sulla finestra visualizzata.

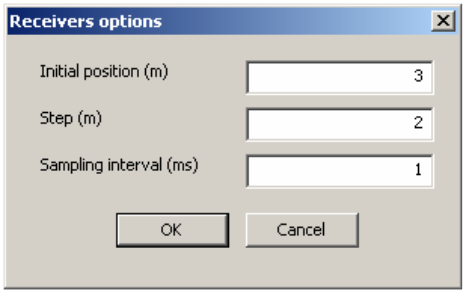


Progetto legato ai dati contenuti nella cartella *Sample2*

- Una volta selezionato il tipo di progetto, **SWAN** apre una finestra di dialogo attraverso la quale (una volta raggiunta la cartella *Sample2*) si deve selezionarle il file *FileTot.sg2*.



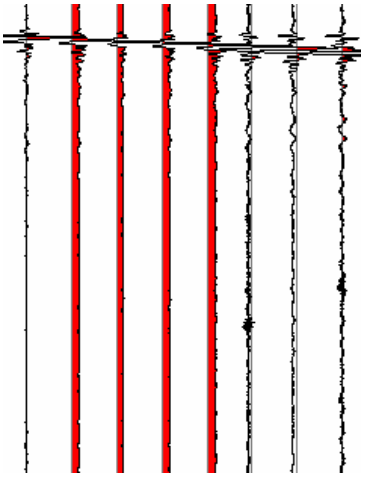
- Si apre una finestra in cui si chiede di inserire il valore di alcune grandezze, in accordo alla fase di acquisizione. L'*initial position* è la distanza tra il primo geofono e la sorgente, quindi vale 3 metri, lo *step* è la distanza intergeofonica, quindi vale 2 metri, mentre il *sampling interval* è il tempo di campionamento, che vale 1 millisecondo. Premere il pulsante *OK* per completare l'importazione dei dati.

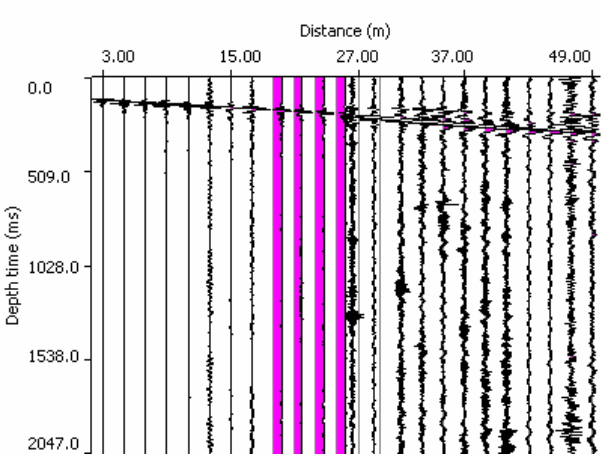


Indipendentemente da quale dei 2 progetti si sia creato, **SWAN** apre varie finestre: una figura per mostrare il sismogramma di ognuno dei file collegati, una figura che mostra il sismogramma medio, e viene inoltre aperta una finestra contenente del testo che descriverà le principali azioni eseguite.

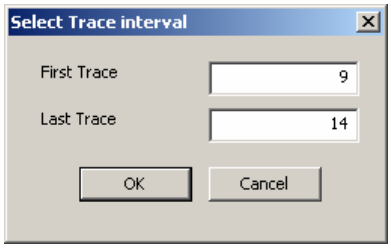
Pre-Processing:
Le seguenti operazioni sono da eseguirsi solo con il progetto creato con i dati contenuti nella cartella *Sample1*.

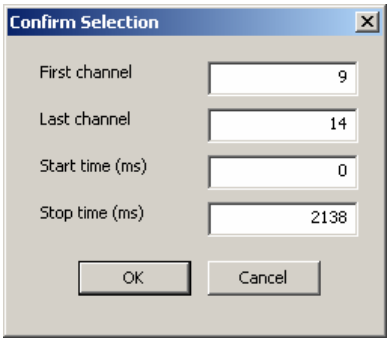
- Osservando il sismogramma medio si può notare che alcune canali mostrano un segnale a media non perfettamente nulla, questo porterebbe un disturbo all'atto dell'analisi spettrale che dovrà essere eseguita.



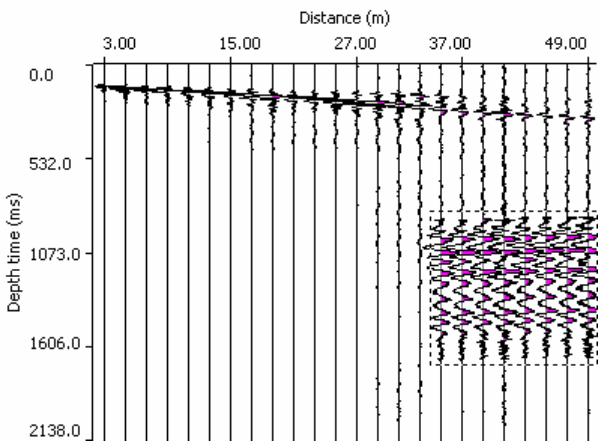


Questo problema è da associarsi al file *File4.sg2*. Procedere rendendo attiva la finestra relativa a tale file e andare a selezionare i canali difettosi (ovvero dal geofono 9 al geofono 14) attraverso il comando *Menù>Edit>Select Traces*. Selezionare *Menù>PreProcessing>DC Remove*, per specificare il tipo di operazione che si desidera effettuare, e premere il tasto *OK* nella finestra che viene visualizzare per confermare l'area selezionata.

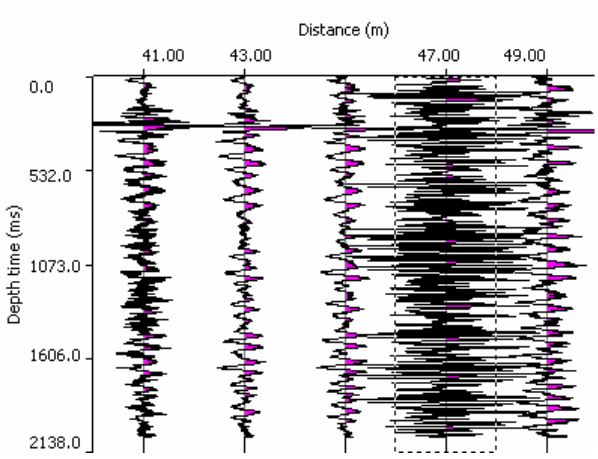


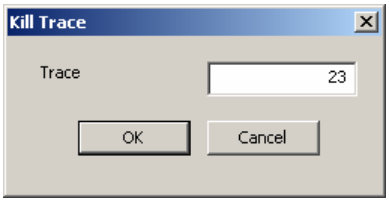


- Attivare la figura relativa al file *File5.sg2* per osservare che in corrispondenza degli ultimi geofoni si è sovrapposto un disturbo. Per eliminarlo selezionare la porzione del sismogramma tra il canale 17 e il 34, e tra gli 800 e i 1700 ms. Per far questo disegnare un rettangolo con il mouse tenendo premuto il tasto destro. Per cancellare tale area premere il tasto *Canc* della tastiera, oppure selezionare il comando *Menù>Edit>Delete*.

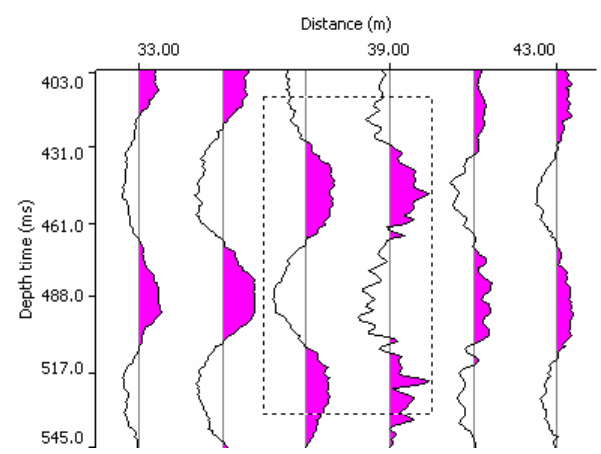


- Osservando il file *File1.sg2* si può vedere che il geofono 23 non ha registrato segnale utile, conviene quindi eliminarlo piuttosto che lasciare che tale rumore infastidisca le successive analisi. Per procedere attivare la finestra relativa a tale file e selezionare il comando *Menù>Pre Processng>Kill Trace*, quindi, attraverso la finestra che **SWAN** apre, specificare che si tratta del geofono 23 e premere il pulante *OK*.

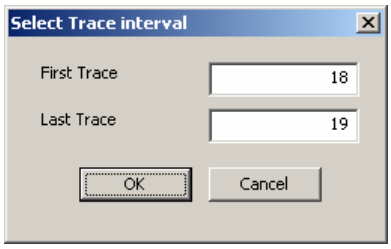


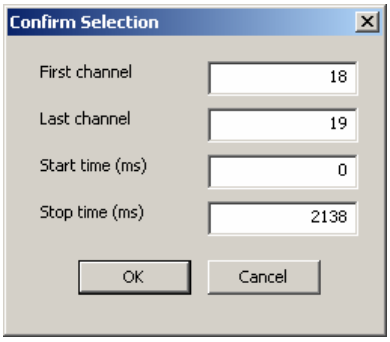


- Adesso per ingrandire una porzione del sismogramma disegnare un rettangolo con l'uso del mouse tenendo premuto il tasto destro quindi selezionare *Menù>View>Zoom Area* oppure premere il pulsante sulla barra degli strumenti su cui è disegnata una lente d'ingrandimento. Per tornare a visualizzare l'intero sismogramma selezionare *Menù>View>Zoom Out* oppure doppio click con il tasto destro del mouse sulla figura.
- Una zona interessante da osservare è nella figura relativa al file *File1.sg2*, tra il geofono 16 e 21 e tra i 400 ed i 600 ms (mostrata in figura). Ingrandendo questa porzione del sismogramma risulta più facile notare che i geofoni 18 e 19 sono stati probabilmente collegati, allo strumento di acquisizione, con i connettori invertiti.

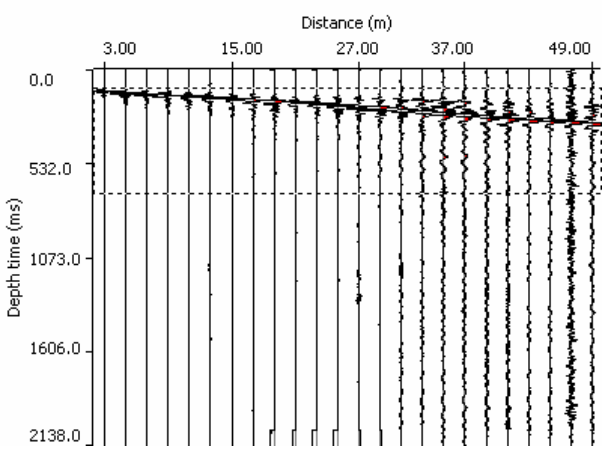


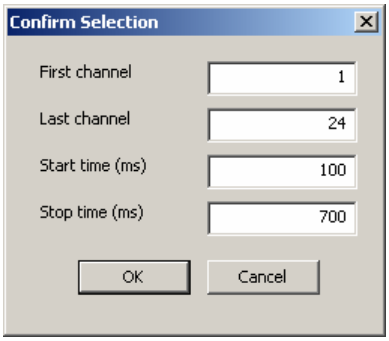
- Per correggere il problema appena indicato attivare la finestra relativa al file *File1.sg2*, selezionare il comando *Menù>Edit>Select Traces* e specificare come primo geofono 18 e come ultimo il 19. Fatto questo selezionare il comando *Menù>Pre-Processing>Polarity*, e premere il pulsante *OK* quando viene chiesto di confermare l'area su cui si vuole eseguire l'elaborazione.





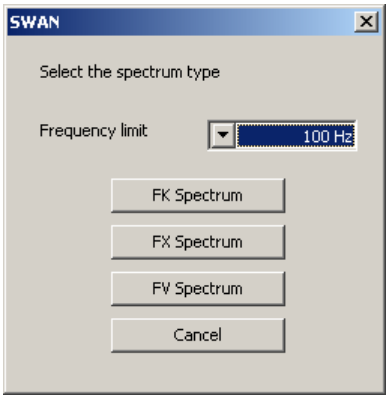
- Infine, per limitare l'analisi spettrale alla sola porzione del sismogramma contenente segnale utile, si può ridurre l'estensione del sismogramma stesso. Attivare la finestra relativa al sismogramma medio e selezionare l'area tra i 100 e i 700 millisecondi, interessando tutti i geofoni (come mostrato in figura), quindi selezionare il comando *Menù>Pre-Processing>Resize*, e premere il pulsante *OK* sulla finestra che viene visualizzata.



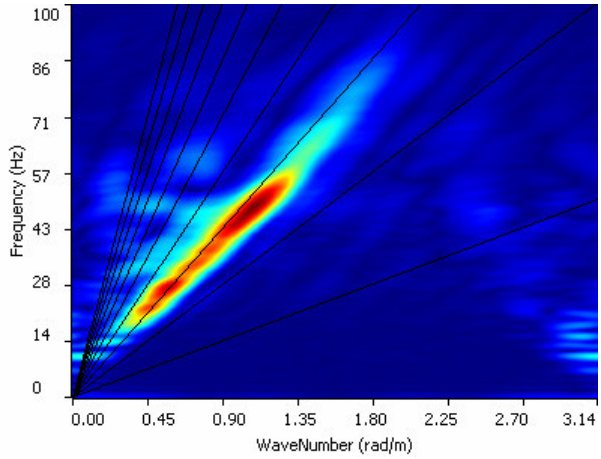


Spettro FK:
Una volta che il sismogramma medio è stato correttamente generato lo si deve elaborare, mediante la trasformata di Fourier, nel domino FK. Prima di eseguire questa operazione è bene fare attenzione alla banda che si andrà ad osservare:

- Attivare la finestra con il sismogramma medio, in questo modo **SWAN** abilita il comando *Menù>Processing>Spectrum* (e con esso il relativo pulsante sulla barra degli strumenti). Selezionando tale comando viene visualizzata una finestra di dialogo, dove può essere specificato il valore della frequenza limite utilizzata per delimitare lo spettro. Come spesso accade gran parte dell'informazione è contenuta al di sotto dei 100Hz, quindi selezionare tale valore.

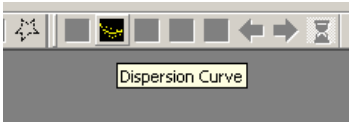


- Premere il pulsante *FK Spectrum* per processo di calcolo. Dopo alcuni secondi di elaborazione **SWAN** mostrerà lo spettro FK, analogo a quello nella figura sottostante.

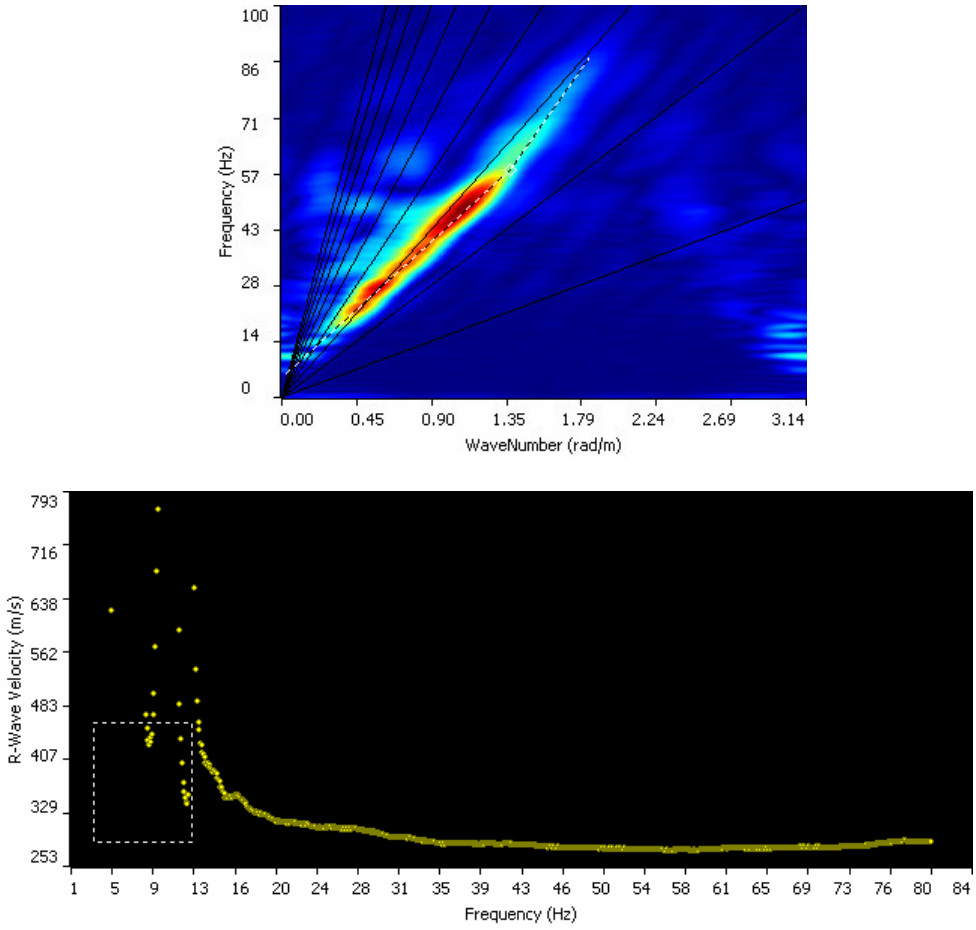


Estrazione della curva di dispersione sperimentale:
La teoria MASW-SASW insegna che la curva di dispersione deve essere cercata sui massimi dello spettro FK. Mediante **SWAN** questo può essere fatto automaticamente o manualmente.
Ma prima di procedere è necessario fare alcune semplici considerazioni:
I geofoni utilizzati nella fase di acquisizione hanno frequenza di taglio 4,5Hz, di conseguenza non sarà possibile cercare di trattare frequenze inferiori. Il valore della frequenza massima su cui può essere utile cercare la curva di dispersione può essere 80Hz, infatti tipicamente non interesserà trattare frequenze maggiori, essendo legate alla caratterizzazione dello strato estremamente superficiale del terreno.
Osservando lo spettro infine si vede che gran parte dell'energia (vedi zona colorata in giallo e in rosso) è limitata tra i 200 e gli 400m/s (vedi linee nere oblique uscenti dall'origine del dominio FK, che sono disegnate con una cadenza di 100m/s). Sarà questa la zona in cui dovrà essere cercata la curva di dispersione.

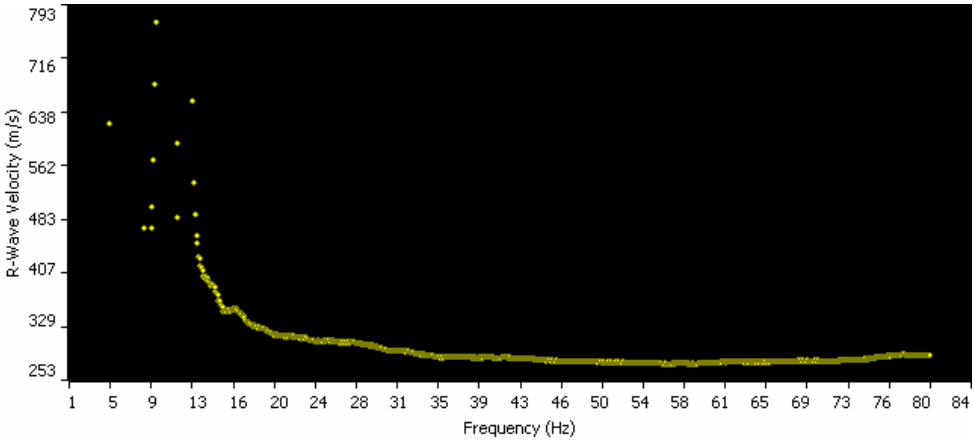
- Attivando la finestra relativa allo spettro FK, **SWAN** abilita il comando *Menù>Processing>Dispersion Curve* e il relativo pulsante sulla barra degli strumenti.



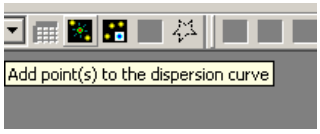
- Si deve quindi suggerire la posizione approssimativa della curva di dispersione sperimentale al programma, questo viene fatto disegnando sullo spettro una linea, specificandola per punti. Per fare questo bastano 2 o 3 semplici click sull'immagine dello spettro in modo da ottenere un risultato analogo a quello mostrato in figura. Premere nuovamente il pulsante sulla barra degli strumenti (che dovrebbe essere visualizzato ancora incassato) oppure premere il tasto *Invio* per far estrarre a **SWAN** la curva di dispersione sperimentale. Un'immagine analoga a quella mostrata in figura sarà visualizzata dal programma.

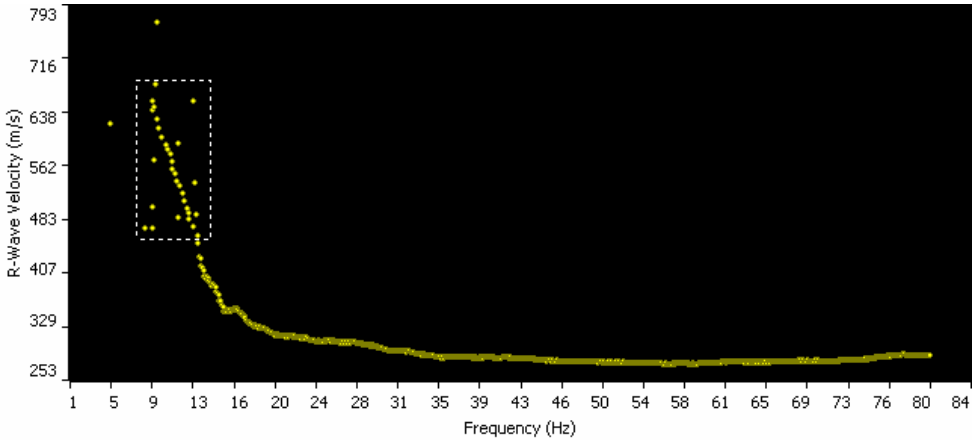


- L'insieme dei punti, che descrivono la curva di dispersione sperimentale, trovati automaticamente, ha bisogno di una veloce fase di pulizia per migliorare l'interpretazione. Disegnare un rettangolo come mostrato nella figura precedente, in modo da selezionare i punti non in linea con la curva di dispersione, quindi premere il tasto *Canc* della tastiera per eliminarli.



- Per rendere la curva più facilmente interpolabile è possibile addensare i punti al di sotto dei 15Hz. Attivare la figura relativa alla curva di dispersione sperimentale (nel dominio frequanza-velocità), **SWAN** abilita il comando *Menù*>*Edit*>*Add Points* e il relativo pulsante sulla barra degli strumenti. Selezionarlo e, con alcune click con pulsante sinistro del mouse, aggiungere alcuni punti alla curva di dispersione sperimentale. Quando terminato disattivare il comando del menù.





Inversione:

In questa fase si dovrà trovare un modello sintetico della stratigrafia del terreno tale da essere associabile ad una curva di dispersione teorica che sia una buona approssimazione della curva di dispersione sperimentale.

Inizialmente **SWAN** presenterà un modello di partenza molto semplice, tale modello dovrà essere alterato in modo da migliorare la sovrapposizione delle curve. Il modello sintetico potrà essere alterato mediante inversioni automatiche, o mediante semplici operazioni manuali.

SWAN permette di cambiare, per ogni strato, i valori della velocità delle onde S e dello spessore dello strato stesso, mediante una semplice interazione con il puntatore del mouse. Attivare la figura relativa alla stratigrafia, premere il pulante sinistro del mouse quando il puntatore è in prossimità di uno dei punti intermedi dei segmenti che disegnano la stratigrafia

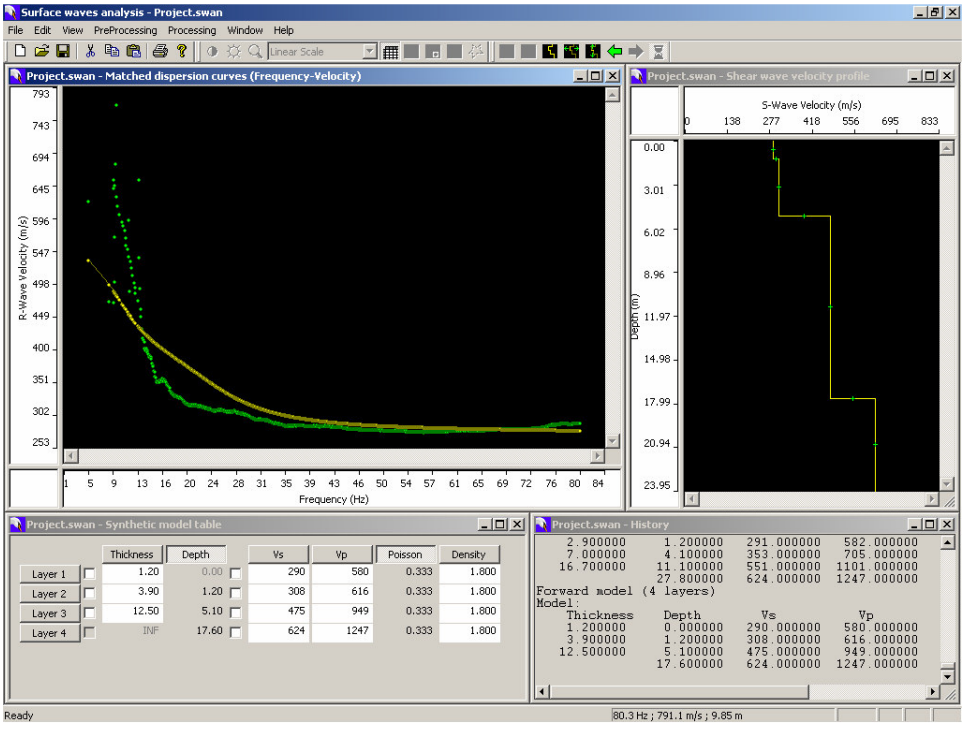
(evidenziati da un apposito simbolo grafico), quindi trascinare la linea e rilasciare il pulsante del mouse per aggiornare il modello.

SWAN permette di trascinare la curva di dispersione teorica per cercare una migliore sovrapposizione con la curva di dispersione sperimentale. Attivare la figura che mostra le due curve di dispersione, premere il pulsante sinistro del mouse quando il puntatore è in prossimità della curva sperimentale, quindi trascinarla muovendo il mouse, infine rilasciare il pulsante per aggiornare il modello.

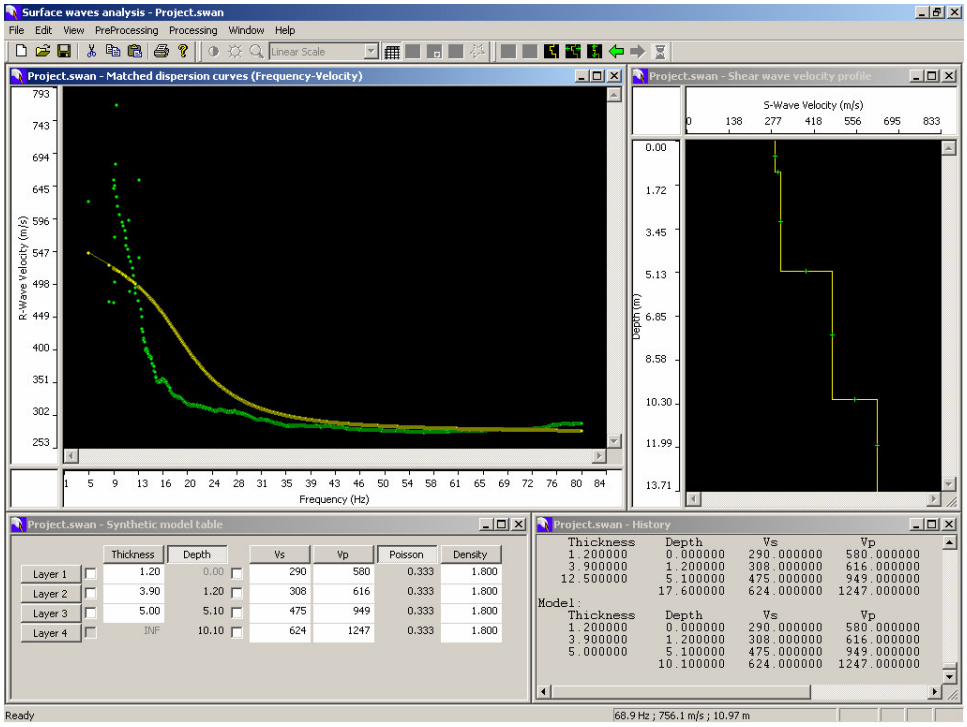
Quindi:

- Iniziare la fase di inversione attraverso il comando *Menù>Processing>Forward Model>4 Layers* o il relativo pulsante sulla barra degli strumenti, che sono abilitati da **SWAN** se si attiva la finestra relativa alla curva di dispersione sperimentale. Verrà visualizzata una figura analoga a quella sottostante

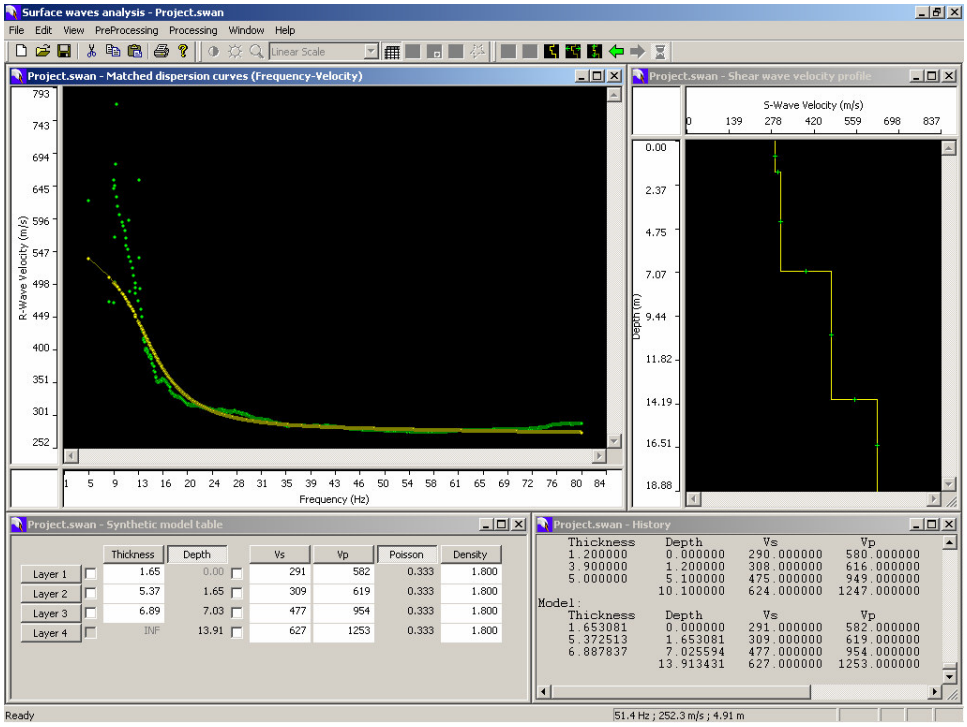




- Sfruttando l'interattività della figura che mostra la stratigrafia, ridurre a 5 metri lo spessore del terzo strato (utilizzando la procedura precedentemente descritta) portando la profondità di inizio del quarto strato dai 17 metri ai 10 metri.



- Sfruttando l'interattività della figura che mostra le due curve di dispersione (mediante la procedura precedentemente descritta) applicare una traslazione alla curva di dispersione teorica. Migliorare la sovrapposizione tra le curve cercando di portarsi in una condizione simile a quella mostrata in figura.

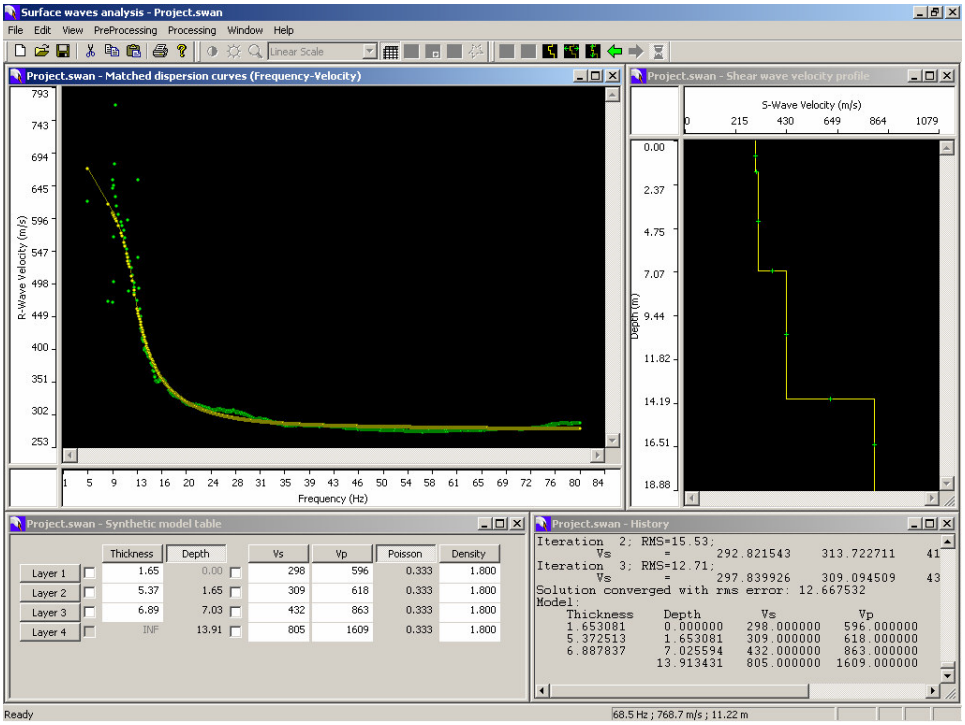


- Aumentare ulteriormente la sovrapposizione tra le due curve mediante l'esecuzione di una inversione automatica applicata alle velocità degli strati del modello sintetico tramite il

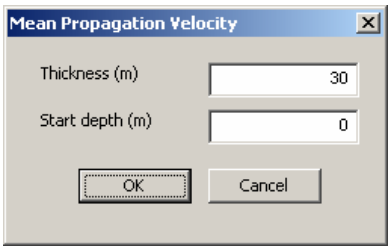
comando *Menù>Processing>Velocity Inversion* di **SWAN** o il relativo pulsante sulla barra degli strumenti.

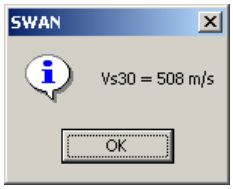






- Ritenendo l'interpretazione conclusa, mediante il comando *Menù>Processing>Mean Propagation Velocity* (abilitato se la finestra relativa alla stratigrafia è attiva), estrarre il valore del parametro *Vs30* (indice utile per la classificazione del sito secondo le attuali leggi in materia di progettazione antisismica). Inserire i valori come mostrato in figura: lo spessore di terreno è di 30 metri (*Thickness*), mentre il piano delle fondazioni è posto a 0 metri di profondità cioè è in superficie (*Start depth*). Premere il pulsante OK sulla finestra che **SWAN** visualizza per conoscere il valore del parametro *Vs30*.





GeoStudi Astier srl

ing. Matteo Russo