

VS30.IT

MANUALE UTENTE
SMARTTOMO

2025.0

VERSIONE 9

Sommario

Sommario	1
Introduzione	3
<i>Inversione tomografica</i>	3
<i>Tomografia dell'attenuazione sismica e del fattore Q</i>	5
<i>Generalized Reciprocal Method (GRM) in smartTomo</i>	7
Geometria ottimale della stesa sismica	8
Disposizione per l'elaborazione a rifrazione	9
Utilizzo di smartTomo	10
<i>Primo avvio del programma</i>	10
Riquadro – Attivazione della licenza	10
<i>Impostazioni del software</i>	11
<i>Creazione ed elaborazione di un nuovo progetto</i>	14
Riquadro - Personalizzazione della geometria della stesa	15
Riquadro - Utilizzo dei file CSV delle energizzazioni.....	16
Riquadro - Guida rapida per l'esclusione di un canale dall'inversione tomografica	16
Riquadro - Guida alla elaborazione tomografica di linee concatenate	18
Riquadro - Cella e numero di nodi	21
Georeferenziazione della stesa sismica	22
Filtraggio e pulizia del segnale	22
Autopicking	23
Visualizzazione e modifica dei tempi di primo arrivo	24
Abilitazione della tomografia dell'attenuazione sismica e campionamento dei dati di attenuazione	25
Riquadro - Garbage in, garbage out warning	25
Esecuzione della tomografia	27
Riquadro – Tipi di smoothing	29
Riquadro – Consigli sui parametri della tomografia.....	30
Elaborazione della sismica a rifrazione con il metodo reciproco (GRM)	30
RMSE – Root Mean Square Error ed errore massimo	35
<i>Apertura e modifica di un progetto esistente</i>	40
Modifica della geometria dello stendimento.....	40
Modifica della posizione delle energizzazioni	40
<i>Importazione di tempi di arrivo (travel times) da altri software</i>	41
<i>Opzioni di visualizzazione</i>	45

Prodotti dell'inversione tomografica	45
Gradiente verticale, gradiente verticale pesato, laplaciano	46
Gradiente verticale.	47
Gradiente verticale normalizzato	47
Laplaciano	48
Densità di informazione	48
Gestione della palette di colori	49
Riquadro – Considerazioni sulle tavolozze di colori	50
Visualizzazione isolinee	51
Titolo del progetto	52
Visualizza linee della griglia	53
<i>Esportazione dei risultati</i>	54
Esportazione della griglia di velocità	54
Esportazione profilo verticale medio di velocità	54
Esportazione di immagini (png).	54
Esportazione in un documento (PDF/ODT)	56
Esportazione in file KML.....	56
Interfaccia grafica	57
<i>Menu</i>	57
<i>Barra degli strumenti</i>	58
<i>Finestre di dialogo</i>	60
<i>Finestra principale</i>	67
Indice delle figure	70

INTRODUZIONE

L'indagine sismica a rifrazione è un'indagine indiretta che utilizza i contrasti di velocità delle onde sismiche. La velocità delle onde sismiche dipende dalla densità e dalla rigidità del materiale attraversato ovvero da proprietà riconducibili alle caratteristiche litologiche del substrato indagato. La propagazione delle onde in profondità rispetta la legge di Snell dando origine a fenomeni di rifrazione e riflessione.

Lo svolgimento della prova consiste nel generare un'onda sismica (energizzazione) e registrarne l'arrivo a dei geofoni disposti in linea ad intervalli noti. L'interpretazione delle misure registrate si basa sull'analisi del tempo impiegato dall'onda generata a raggiungere ciascun geofono. Per ricostruire la variazione laterale di velocità delle onde sismiche nel sottosuolo, riducendo l'ambiguità della soluzione, è necessario effettuare più energizzazioni in diverse posizioni.

Le misure effettuate con la tecnica a rifrazione possono essere elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità.

Inversione tomografica

La tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure effettuate sul terreno e le misure "virtuali" registrate sul modello sintetico attraverso una procedura iterativa che alterna le due seguenti fasi:

- Nella fase "diretta" vengono calcolati sul modello sintetico i tempi di arrivo dell'impulso sismico (smartTomo è basato sul lavoro di Moser, T. J. "Shortest path calculation of seismic rays." Geophysics 56.1 (1991): 59-67). Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un valore di velocità iniziale. Sui lati della cella sono presenti più nodi (il numero è scelto dall'utente) che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anch'essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con i nodi delle celle adiacenti.

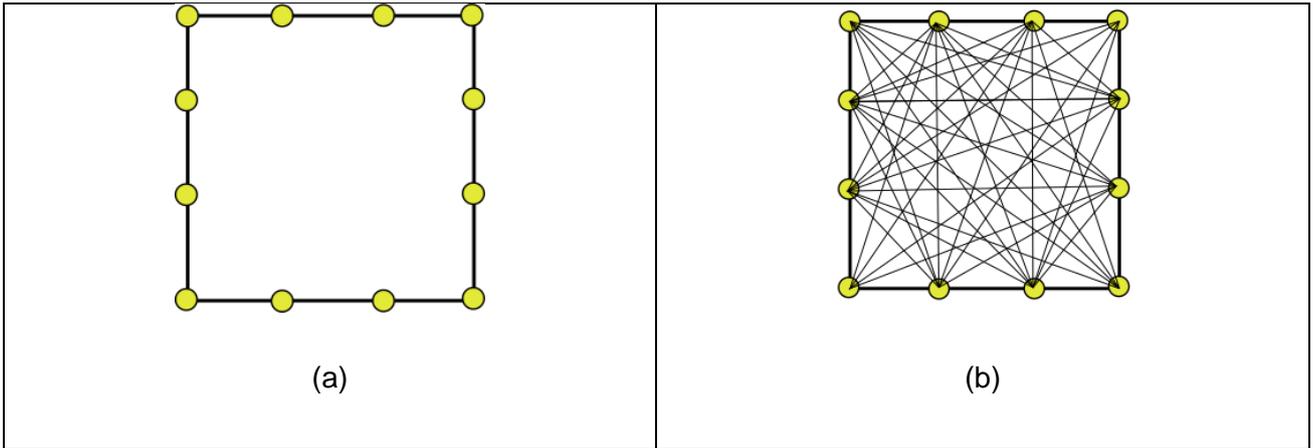


Figura 1 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella. Aumentando il numero di nodi aumenta il dettaglio e la precisione nel percorso dei raggi sismici ma aumenta anche l'uso di memoria.

Il percorso delle onde rifratte corrisponde al percorso lungo i raggi sismici che impiega il minor tempo a percorrere il tragitto tra la sorgente ed il ricevitore.

- Nella fase “inversa” i tempi sintetici calcolati nel passo “diretto” vengono confrontati con i tempi misurati; le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle “Simultaneous Iterative Reconstruction Technique”). Nell’applicazione di questo metodo la velocità viene sostituita dal suo inverso, la lentezza S . Quindi considerando un generico raggio sismico j tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media può essere espressa come:

$$S_j = \frac{t_{0j}}{l_j}$$

dove t_{0j} rappresenta il tempo misurato tra la sorgente ed il ricevitore e l_j rappresenta la lunghezza del raggio sismico j -esimo. Pertanto, conoscendo i tempi di percorso misurato t_m e t_c per il raggio j -esimo si può calcolare il residuo del tempo di percorso:

$$\Delta t_j = t_{mj} - t_{cj}$$

Il residuo dei tempi di percorso può essere proiettato su ciascuna cella k su cui può essere calcolato anche il fattore di correzione della lentezza:

$$\Delta S_k = \frac{\sum \Delta t_{ik}}{\sum \Delta l_{ik}}$$

L’indice i indica ciascun raggio sismico incidente sulla cella k -esima. Il fattore di correzione della lentezza verrà utilizzato per aggiornare il modello di velocità alla fine di ogni iterazione del ciclo di risoluzione.

Questa procedura consente di ottenere un modello, con variazioni di velocità continue e non necessariamente vincolato alla presenza di rifrattori.

Tomografia dell'attenuazione sismica e del fattore Q

La propagazione del segnale sismico nel terreno comporta diverse forme di dissipazione di energia (geometrica, assorbimento). La perdita geometrica è dovuta alla diffusione dell'impulso nello spazio, che si espande lungo un fronte sferico nel caso di onde di volume prodotte da una sorgente puntiforme. In questo modo, l'energia diminuisce in modo proporzionale alla distanza dalla sorgente (o dalla stazione di riferimento). La perdita per assorbimento dipende dai materiali attraversati ed è correlata alla capacità del mezzo di trasmettere l'onda elastica. Questa componente dell'attenuazione è la più rilevante perché è legata alle proprietà del materiale indagato.

Il decadimento dell'ampiezza del segnale è stato osservato essere esponenziale e pertanto possiamo scrivere che:

$$A = A_0 e^{-\eta x}$$

dove A è l'ampiezza del segnale misurato alla distanza x dalla stazione di riferimento in cui si misura l'ampiezza A_0 e infine il parametro η è il coefficiente di assorbimento.

L'attenuazione del segnale può essere anche espressa in funzione del tempo, ovvero:

$A = A_0 e^{-ht} \cos(2\pi vt)$ dove h è il fattore di smorzamento. Il fattore di attenuazione δ può essere espresso in termini di ampiezza come $\delta = \log\left(\frac{A}{A_{unciclodopo}}\right)$ ma può anche essere espressa in funzione del fattore di smorzamento h: $\delta = hT = 2\pi h/\omega$ dove T è il periodo.

Il Quality factor Q è definito come $Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} = 2\pi \frac{E}{\text{energiapersaperciclo}}$; poiché l'energia è proporzionale con il quadrato dell'ampiezza possiamo scrivere che $E = E_0 e^{-2ht}$ ovvero come $\Delta E/E = 2h\Delta t$, impostando $\Delta t = T$ ovvero uguale ad un periodo si può riscrivere come:

$$\frac{\Delta E}{E} = 2hT = 2\delta \quad \text{e di conseguenza} \quad Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} = 2\pi \frac{f}{\text{Attenuation} \cdot v}$$

In smartTomo l'ampiezza del segnale rifratto viene calcolata campionando una porzione di segnale intorno al primo arrivo e misurando l'ampiezza massima nel dominio frequenza/ampiezza. La frequenza corrispondente all'ampiezza massima viene utilizzata per il calcolo del fattore Q. Il fattore di attenuazione logaritmico δ diventa, nel calcolo del profilo tomografico dell'attenuazione, il valore obiettivo. Nel processo vengono mantenuti i raggi sismici calcolati nell'elaborazione della tomografia di velocità e aggiornati i valori di attenuazione per raggiungere il fit del valore di δ misurati sui sismogrammi applicando un algoritmo di tipo SIRT.

La tomografia dell'attenuazione e quella del fattore Q sono inversamente correlate tra loro al netto della costante π e della velocità di propagazione delle onde nel mezzo. A valori bassi di Q corrispondono le attenuazioni maggiori ma anche generalmente velocità più basse.

La seguente tabella riporta valori indicativi dei parametri di attenuazione e del fattore Q per alcune litologie.

Tipo di roccia	Q-Factor	$\delta = \eta * \lambda$ (dB)
Rocce sedimentarie	20-200	0,16 - 0,02
Arenaria	70-130	0,04 - 0,02
Argillite	20-70	0,16 - 0,05
Calcere	50-200	0,06 - 0,02
Gesso	135	0,02
Dolomia	190	0,02
Rocce sedimentarie sature di gas	5-50	0,63 - 0,06
Rocce metamorfiche	200-400	0,02-0,01
Rocce magmatiche	75-300	0,04-0,01
Primi 3 metri dei sedimenti costieri del Golfo Persico (Tullos and Reid 1969)	0,24	13

Riferimenti

Sheriff, Robert E., and Lloyd P. Geldart. *Exploration seismology*. Cambridge university press, 1995.

Generalized Reciprocal Method (GRM) in smartTomo

SmartTomo dalla versione 2020.0 permette di elaborare il sondaggio anche con il metodo GRM (Palmer 1980). (<https://library.seg.org/doi/book/10.1190/1.9781560802426>).

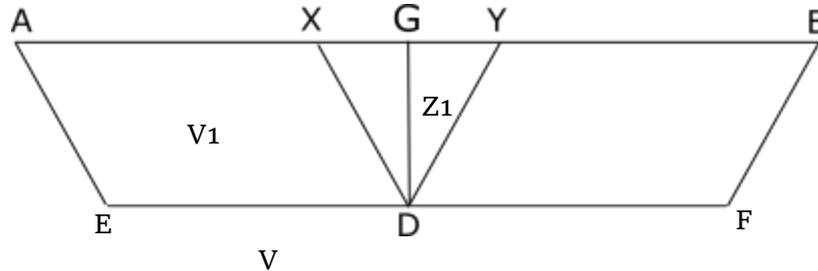


Figura 2 Schema geometrico del metodo Generalized reciprocal method (GRM). A e B rappresentano punti di battuta, G,X,Y geofoni. D la proiezione del geofono G sul rifrattore. $V_1 < V_2$

Per eseguire l'elaborazione con il metodo GRM è appunto necessario che siano presenti due punti di energizzazione reciproci in cui è visibile il rifrattore. Per ogni geofono G vengono calcolati i tempi di percorso T_{AEDY} , T_{BFDX} e T_{AEDFB} (il tempo reciproco).

Per calcolare la velocità del rifrattore viene definita la funzione T_v :

$$t_v = T_{AEDY} - T_{BFDX} + T_{AEDFB}$$

calcolata per ogni geofono. Il valore assunto dalla derivata rispetto a x di t_v rappresenta la velocità del rifrattore.

La profondità del rifrattore viene calcolata in due passaggi, prima si calcola la funzione t_g che rappresenta un profilo in cui la profondità è ancora espressa in forma di tempo di percorso ed in seguito t_g viene trasformata in un valore di profondità attraverso l'applicazione di un parametro proporzionale alle velocità degli strati.

$$t_g = \frac{1}{2}(T_{AEDY} + T_{BFDX} - T_{AEDFB} - XY/V_n)$$

E, per il primo rifrattore:

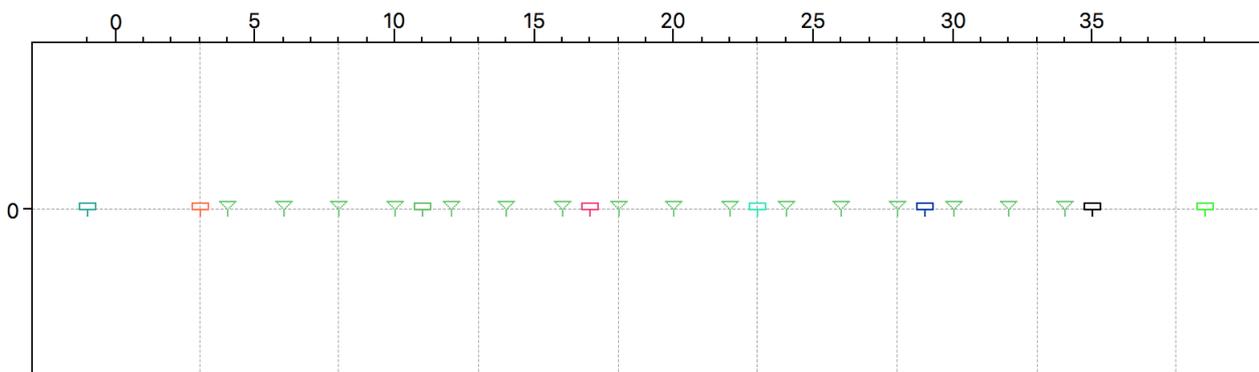
$$Z_1 = T_{G1} \frac{V_2 V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}$$

Per i rifrattori oltre al primo, la profondità viene calcolata eliminando dalla funzione TG i contributi relativi agli strati sovrastanti.

SmartTomo è studiato per considerare al massimo due rifrattori.

GEOMETRIA OTTIMALE DELLA STESA SISMICA

La risoluzione numerica della tomografia è affrontata in modo iterativo cercando la soluzione che riduce la differenza tra i tempi misurati e quelli calcolati. Il numero di tempi di percorrenza sorgente-ricevitore misurati disponibili, e di conseguenza il numero di raggi sismici, sono, in numero, molto inferiori al numero delle incognite del sistema da risolvere. Per avere dati disponibili a sufficienza è necessario pianificare l'indagine sismica con un numero di energizzazioni elevato (indicativamente una energizzazione ogni tre geofoni). Nella figura seguente viene presentato uno schema di esempio di una linea di acquisizione.



Le energizzazioni non è necessario che siano simmetriche. Nello schema proposto si è scelto di posizionare le energizzazioni all'interno della linea ogni tre geofoni tranne che nel primo intervallo nel quale sono stati saltati quattro ricevitori. In questo esempio, le energizzazioni sono state eseguite a metà tra due ricevitori ma possono essere eseguite anche in corrispondenza dei ricevitori stessi.

Si consiglia di eseguire almeno una energizzazione per parte all'esterno della linea di ricevitori ad una distanza pari a metà della distanza intergeofonica. Questa configurazione è indispensabile per l'interpretazione con il metodo GRM.

La profondità massima di indagine varia in base alle condizioni geologiche del sito, mediamente si può considerare che l'indagine raggiunga una profondità di circa $1/3$ della lunghezza dello stendimento. Se si ha un obiettivo specifico da raggiungere con l'indagine, è consigliabile collocare la linea sismica affinché il bersaglio sia posizionato nella zona centrale dello stendimento, ad una profondità non superiore a $1/4$ della lunghezza della stesa.

Differenti stese sismiche possono essere concatenate ed elaborate insieme. Questo metodo permette di ottenere stese più lunghe con una alta densità di geofoni e, nel caso si usino punti di energizzazione comuni tra le diverse stese, si raggiungeranno profondità maggiori di quelle raggiunte con un singolo stendimento di acquisizione.

Disposizione per l'elaborazione a rifrazione

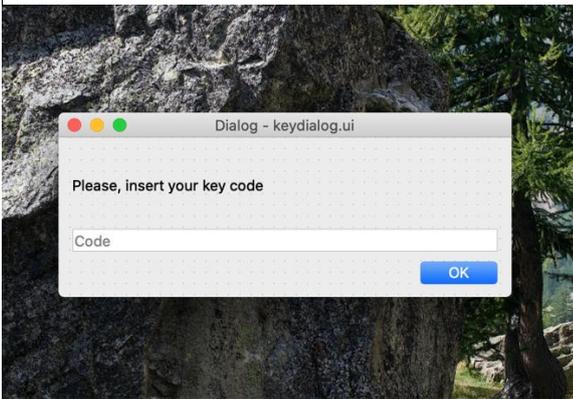
Per eseguire l'elaborazione a rifrazione è necessario che ci siano delle energizzazioni a entrambe le estremità della linea di geofoni. Una disposizione classica è costituita da due energizzazioni esterne a ciascuna estremità della stesa posizionate a differenti distanze, ad esempio, a mezza e 4-5 distanze intergeofoniche. Oltre alle quattro energizzazioni esterne è consigliabile eseguirne almeno una al centro della linea. Anche uno schema con più energizzazioni, come potrebbe essere usato in un'indagine tomografica, è idoneo per l'elaborazione con il reciproco.

Quando si sceglie dove posizionare le energizzazioni si dovrebbe cercare di prevedere come i differenti livelli verranno rappresentati dalle dromocrone: ciascuno strato indagato deve essere individuato sia dalle energizzazioni dirette che quelle di ritorno. È meglio effettuare alcune energizzazioni in più piuttosto che scoprire successivamente che i dati raccolti non sono sufficienti alla definizione dei sismo-strati.

UTILIZZO DI SMARTTOMO

Primo avvio del programma

RIQUADRO – ATTIVAZIONE DELLA LICENZA



All'avvio del software o all'inserimento di una nuova chiave di protezione verrà richiesto il codice di attivazione relativo alla chiave di attivazione che viene inviato via mail insieme al link di download.

È necessario tenere inserita la chiave USB durante l'uso del software.

Al primo avvio del software verrà aperta la finestra di impostazione della lingua dell'interfaccia utente. Confermare la scelta con il pulsante Ok.

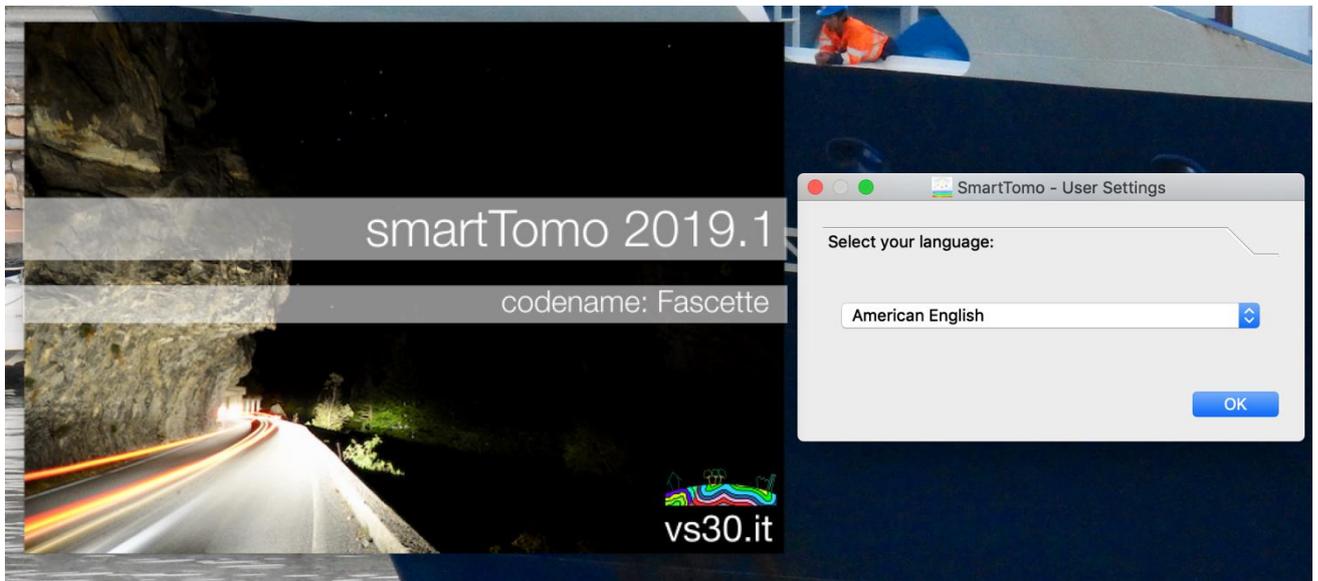
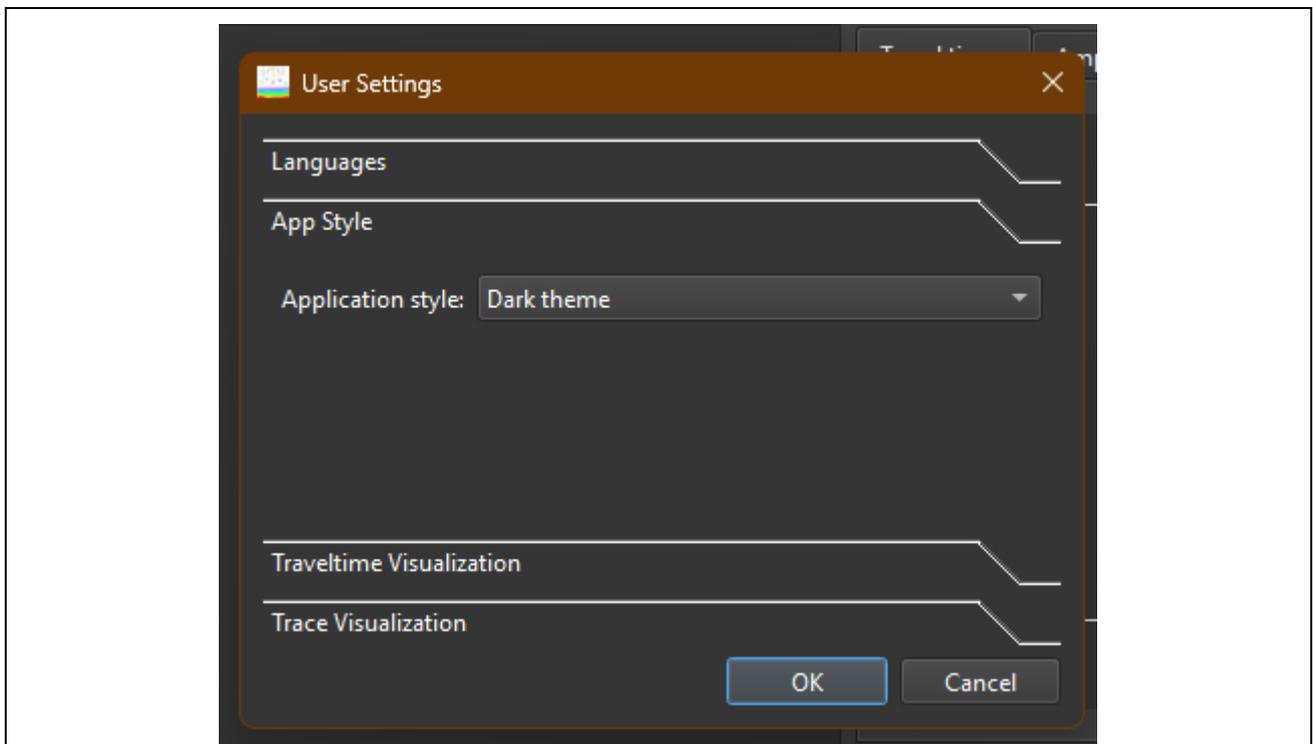


Figura 3 Splashscreen con la finestra di dialogo di scelta della lingua

È possibile cambiare la lingua successivamente attraverso la finestra di dialogo impostazioni.

Impostazioni del software.



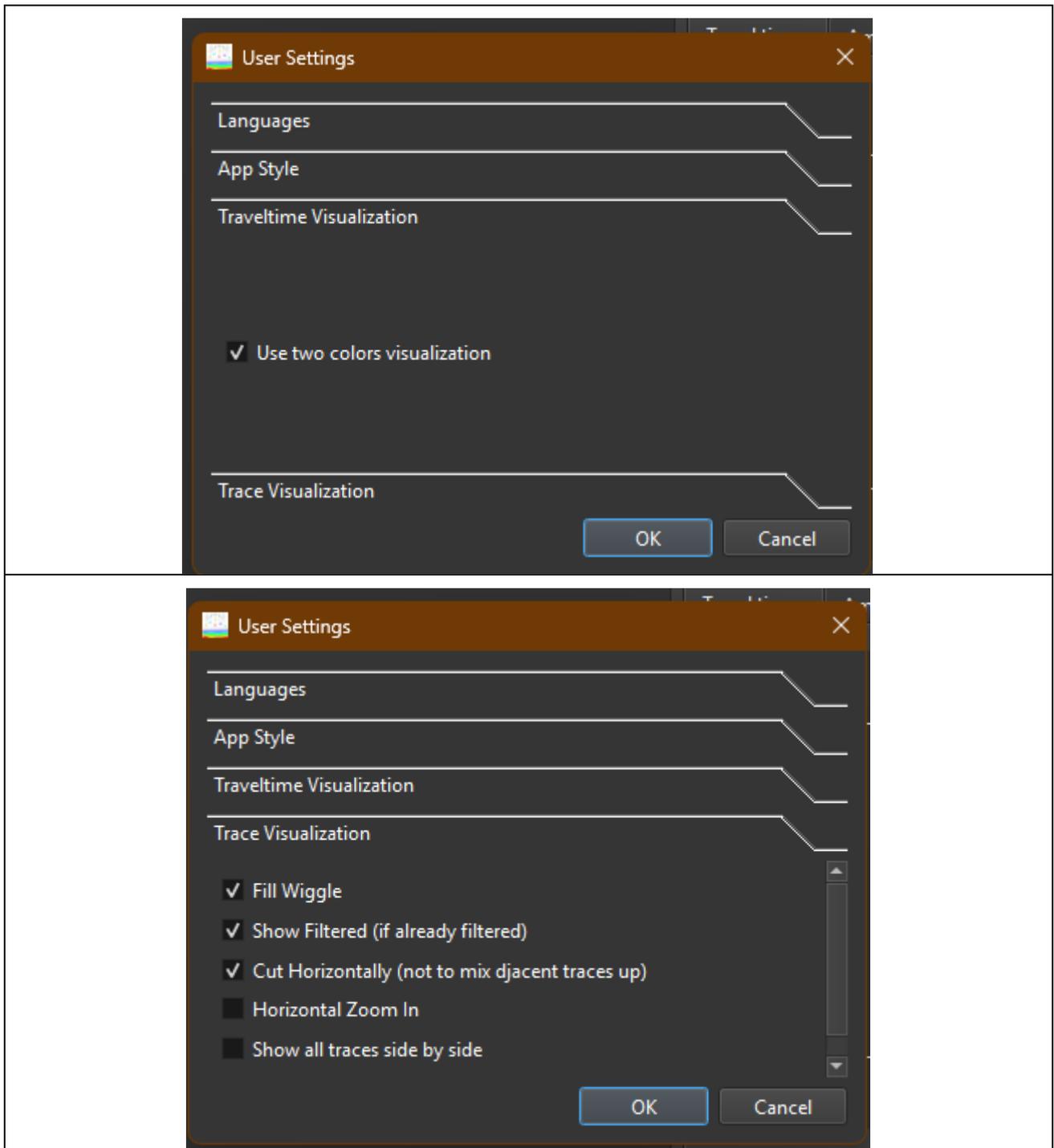


Figura 4 Finestra di dialogo per l'impostazione delle preferenze;

Dal menu File/Impostazioni è possibile impostare la lingua del software oppure impostare alcuni parametri di visualizzazione delle tracce. È possibile:

- abilitare/disabilitare il riempimento della semionda;
- abilitare/disabilitare se visualizzare le tracce filtrate, quando disponibili, in automatico;
- abilitare/disabilitare la sovrapposizione tra tracce adiacenti a grandi livelli di zoom;
- abilitare/disabilitare lo zoom orizzontale della finestra di visualizzazione delle tracce;

- abilitare/disabilitare la visualizzazione di tutte le tracce affiancate;

È inoltre possibile impostare la modalità chiara o scura del software in modo manuale o automatica in modo che si adatti allo stile del sistema operativo.

Creazione ed elaborazione di un nuovo progetto

Per iniziare un nuovo progetto si clicca sul menu File/Nuovo. Viene aperta la finestra di dialogo per la selezione dei file contenenti le tracce sismiche (formato SEG2 ed in via sperimentale SEGY).

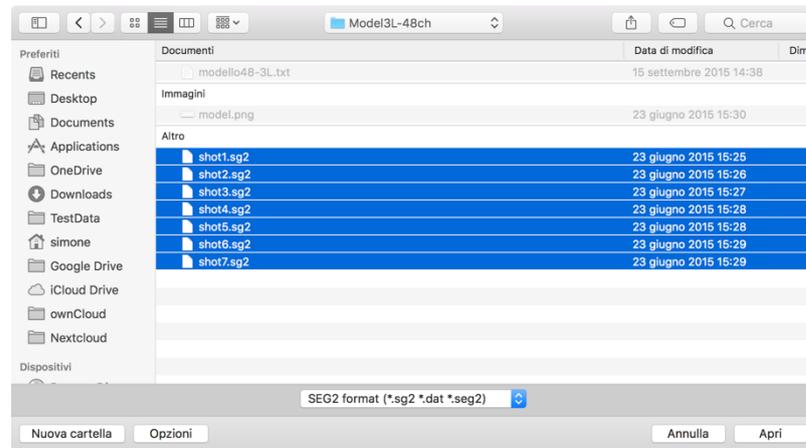


Figura 5 Finestra di selezione dei file sismici

Dopo aver selezionato i file si apre la finestra per controllare ed impostare la geometria delle energizzazioni e dei geofoni.

Da questa finestra di dialogo è possibile modificare il posizionamento di ciascuna energizzazione, l'inserimento della quota e la definizione della geometria della stesa sismica utilizzata durante l'acquisizione. Se i file importati contengono già le informazioni corrette riguardo la geometria questa finestra di dialogo serve solo come controllo che l'importazione sia avvenuta correttamente. Se fosse necessario aggiungere ulteriori file è possibile farlo premendo il pulsante *Add* sulla sinistra.

Cliccando con il pulsante destro sul grafico della geometria è possibile esportare l'immagine.

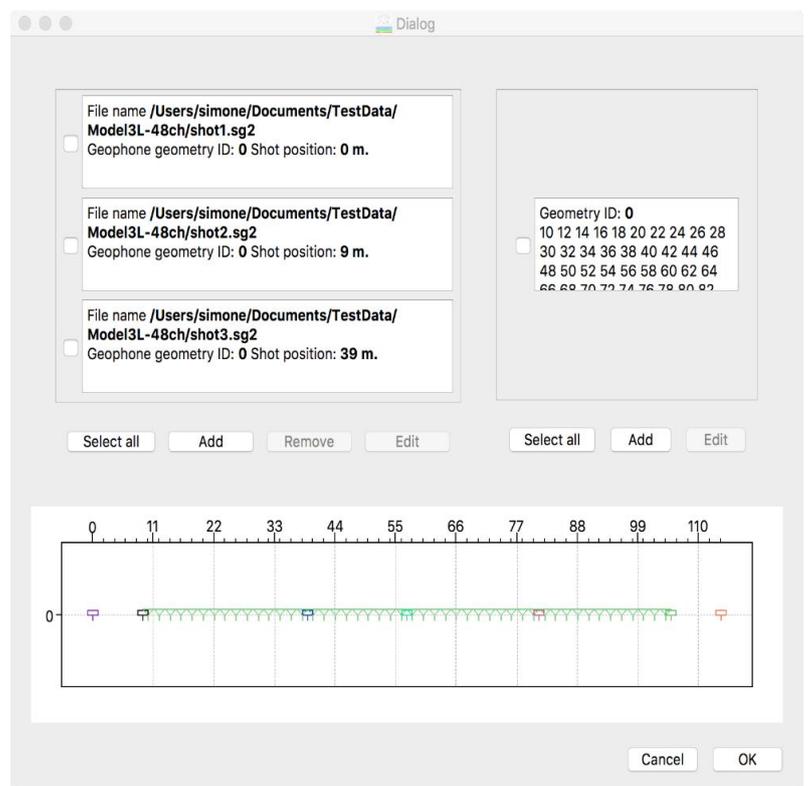


Figura 6 Finestra di editing della geometria della linea sismica

RIQUADRO - PERSONALIZZAZIONE DELLA GEOMETRIA DELLA STESA.

Nel caso in cui i file non contengano informazioni relative alla geometria dell'indagine è possibile personalizzare seguendo le indicazioni contenute in:

- Modifica della geometria dello stendimento

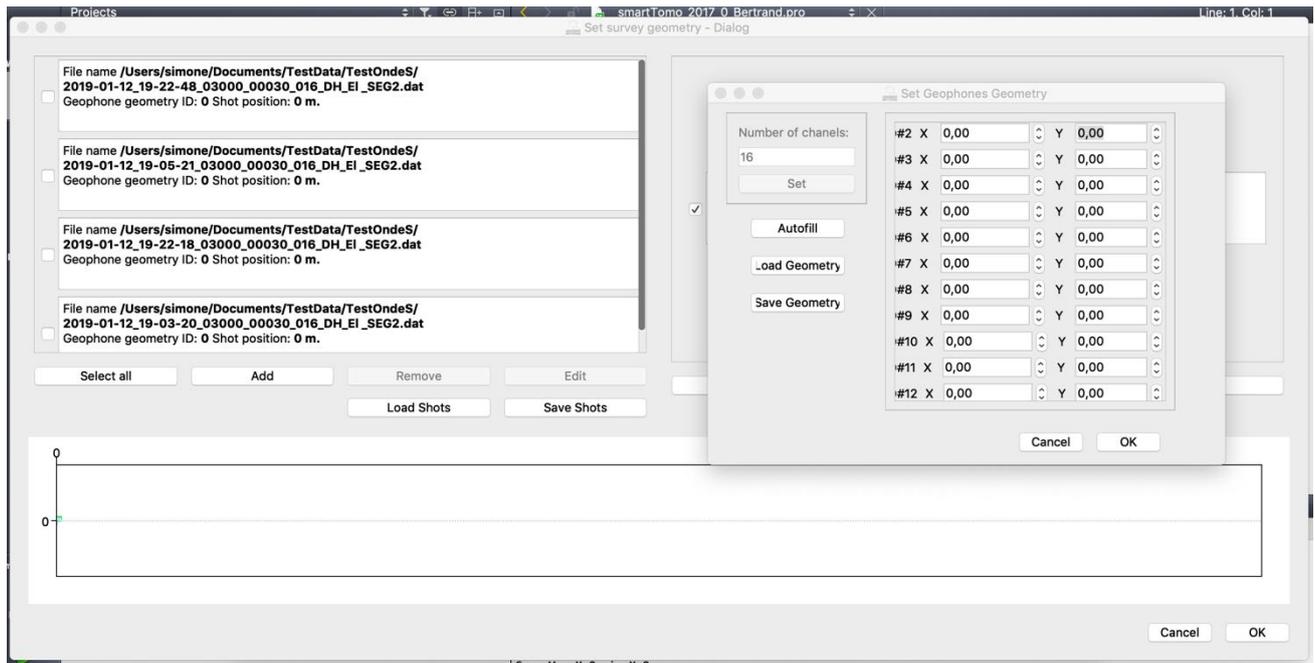


Figura 7 Finestra di impostazione della geometria con le opzioni di caricamento da file.

Sia la posizione delle energizzazioni e sia dei geofoni possono essere importate da un file CSV. Questa soluzione può essere utile in diversi contesti:

- Geometrie ricorrenti: si creano i file solo una volta e poi si ricaricano risparmiando tempo;
- Posizioni non intervallate regolarmente: è più semplice compilare una tabella in un foglio di calcolo piuttosto che riempire molte caselle di testo.
- Importazione del posizionamento acquisito tramite rilievo topografico.

RIQUADRO - UTILIZZO DEI FILE CSV DELLE ENERGIZZAZIONI

Il file in formato CSV delle energizzazioni contiene anche il nome del file, ad esempio:

```
shot1.dat;0;0
```

Il nome del file ha solo la funzione di segnaposto per l'utente. Il software non tiene conto del nome del file ma solamente delle colonne della geometria (X;Z). La prima coppia di coordinate viene assegnata al primo file caricato, la seconda coppia al secondo file e così via.

L'ordine con cui i file sismici vengono caricati può non essere alfabetico perciò si consiglia di:

- Caricare i file sismici;
- Esportare le coordinate delle energizzazioni;
- Effettuare le modifiche alle coordinate con un editor esterno senza modificare l'ordine delle righe;
- Importare nuovamente le coordinate.

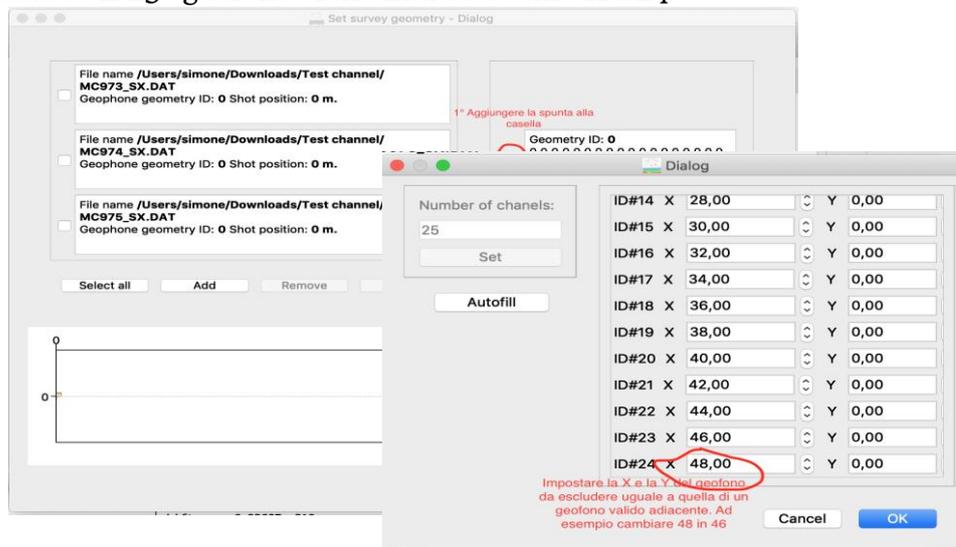
RIQUADRO - GUIDA RAPIDA PER L'ESCLUSIONE DI UN CANALE DALL'INVERSIONE TOMOGRAFICA

Passo 1 - impostare la geometria della stesa

Questa guida si applica nel caso in cui nei file sismici (seg2) esista un canale da non considerare mai in tutta l'elaborazione, ad esempio quando il canale trigger sia registrato nel file come gli altri canali.

Ipotizziamo di avere 24 canali (geofoni) + 1 canale trigger, quindi il file avrà 25 tracce di cui 24 da utilizzare nel processo tomografico.

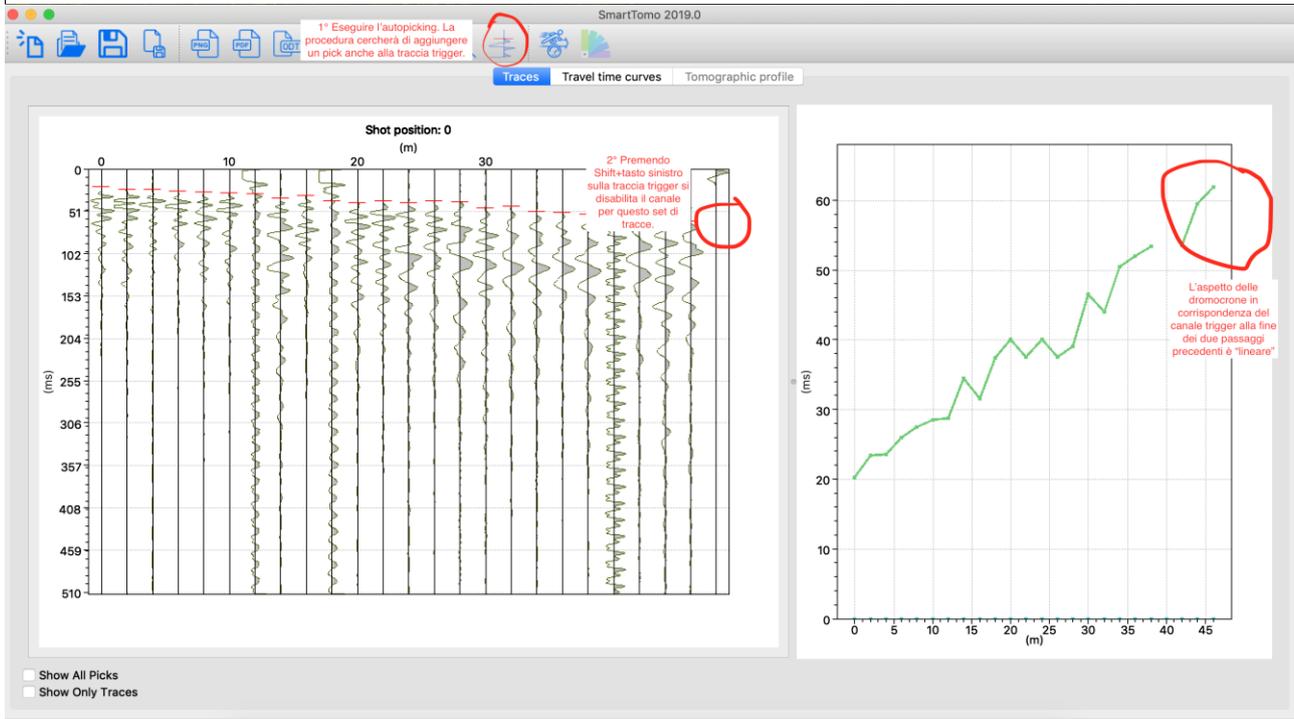
Nell'impostare la geometria della stesa prestare attenzione che la numerazione dei geofoni comincia da 0. Il 25° geofono viene indicato come ID#24.



Facendo combaciare il canale trigger con un canale valido, la griglia di calcolo non risente della presenza di un canale in più sempre disabilitato. Ad esempio, impostando le coordinate del canale trigger uguali a quelle dell'ultimo geofono (Nella finestra di esempio il canale trigger

RIQUADRO - GUIDA RAPIDA PER L'ESCLUSIONE DI UN CANALE DALL'INVERSIONE TOMOGRAFICA

corrisponde ad ID#24 e viene impostato con le stesse coordinate del canale ID#23) si crea una griglia in cui il canale trigger non influenzerà l'elaborazione perché è coincidente con un canale valido.



Passo 2 - Eliminare gli arrivi relativi al geofono da disabilitare

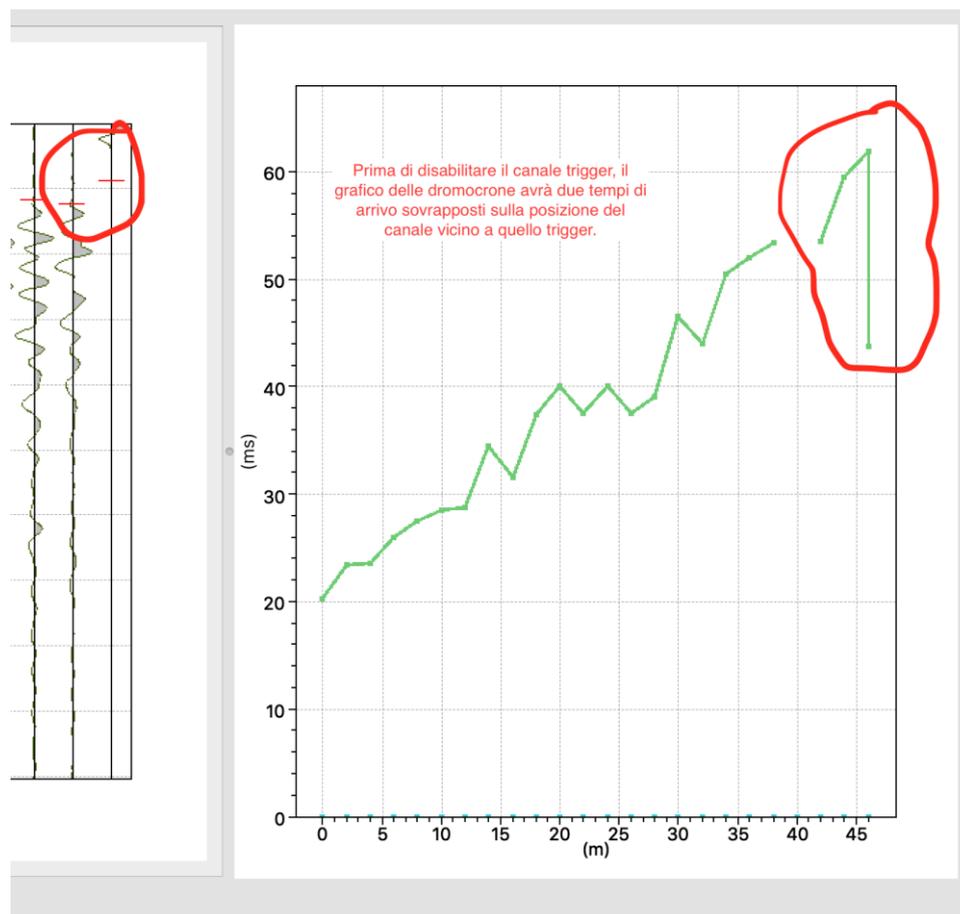
Per ogni energizzazione si devono eseguire le procedure elencate sotto per disabilitare in ogni set di tracce il canale trigger.

RIQUADRO - GUIDA RAPIDA PER L'ESCLUSIONE DI UN CANALE DALL'INVERSIONE TOMOGRAFICA

L'ideale è farlo dopo aver usato l'autopicking perché la procedura di ricerca automatica dei primi arrivi posizionerà un picking anche sul canale trigger anche se è già stato disabilitato.

Si consiglia di eseguire i passi in questo ordine:

- I. Autopicking
- II. Rifinitura manuale del picking
- III. Disabilitazione delle tracce troppo rumorose e/o canale trigger.



RIQUADRO - GUIDA ALLA ELABORAZIONE TOMOGRAFICA DI LINEE CONCATENATE

SmartTomo permette di eseguire l'elaborazione tomografica di più linee di acquisizione concatenate tra loro e allineate lungo lo stesso profilo (non in 3D). Per poter collegare in modo proficuo le linee devono essere presenti energizzazioni eseguite nella stessa posizione per tutte le linee da elaborare. L'assenza di energizzazioni comuni consentirà di elaborare le diverse linee in un unico progetto ma in modo indipendente tra loro. SmartTomo legge la geometria dai file sismici (seg2, sgy, su) e predispone automaticamente il progetto per l'elaborazione di linee concatenate senza bisogno di intervento dell'utente. Per questo motivo è importante

RIQUADRO - GUIDA ALLA ELABORAZIONE TOMOGRAFICA DI LINEE CONCATENATE

preparare già in campagna i file sismici con tutte le informazioni necessarie per rendere molto più agevole l'elaborazione.

Nel caso in cui non sia stato possibile inserire precedentemente la geometria nei file sismici in SmartTomo è possibile eseguirne l'editing durante la creazione del progetto.

Per prima cosa, nel nuovo progetto, è necessario caricare tutti i file sismici di tutte le linee di acquisizione concatenate. Nella finestra di impostazione della geometria saranno elencati tutti i file nella colonna di sinistra mentre nella colonna di destra sarà presente un solo gruppo di geofoni (Figura 8).

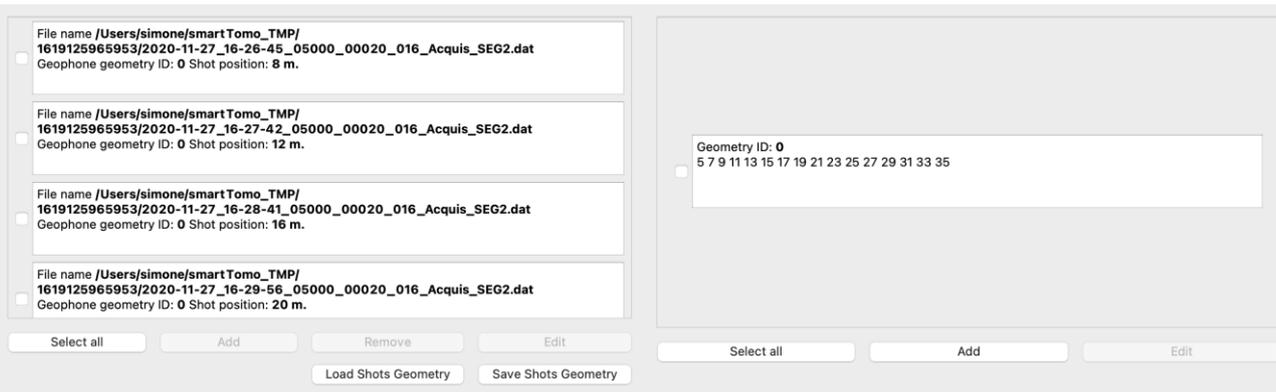


Figura 8 Impostazione della geometria. Sulla destra è elencata una sola linea di geofoni

Agendo su Add si può aggiungere una ulteriore linea di geofoni impostandone il numero corretto e la geometria. A questo punto saranno presenti 2 gruppi di geofoni come mostrato nell'immagine seguente (Figura 9).

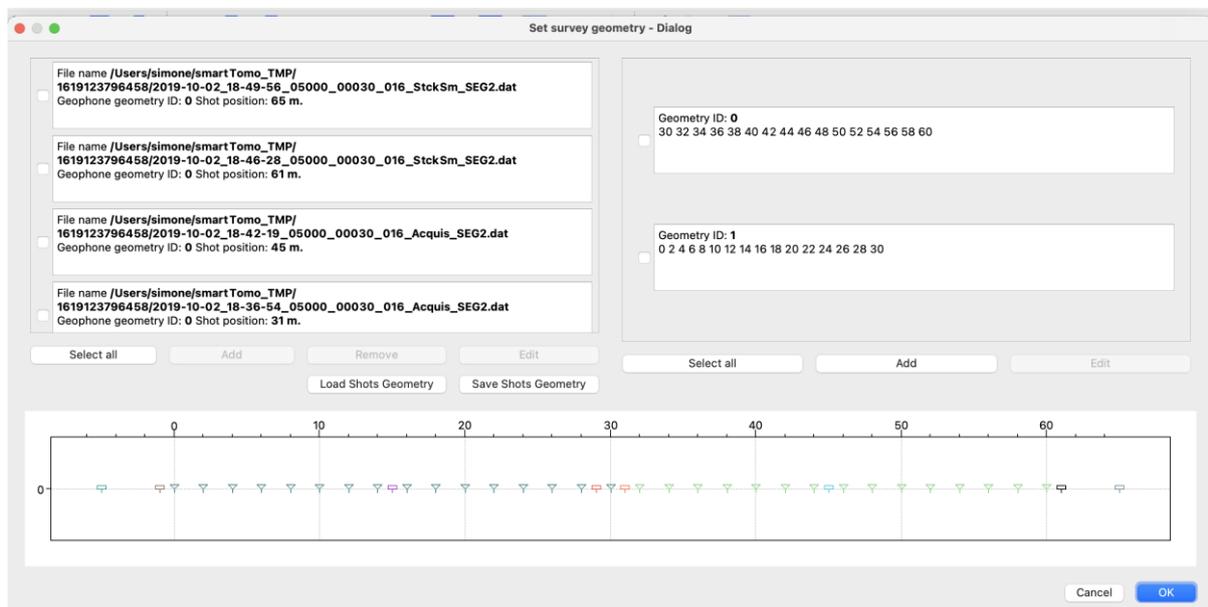


Figura 9 Nel riquadro dei geofoni sono presenti 2 gruppi di geofoni. Il primo (ID 0) con coordinate da 30 a 60 e il secondo (ID 1) da 0 a 30.

A questo punto l'ultimo passaggio necessario è quello di associare ciascuna energizzazione al gruppo di geofoni corretto. Questa operazione mette in relazione la geometria dei geofoni con le tracce e con la posizione dell'energizzazione. Per associare le registrazioni ai geofoni è necessario selezionare il/i file dalla colonna di sinistra attraverso la checkbox e premere Edit nella parte sottostante. Si aprirà la finestra mostrata di seguito (Figura 10) in cui è possibile attraverso un menu a discesa scegliere il gruppo di geofoni a cui la registrazione fa riferimento. Completato questo passaggio è possibile procedere normalmente con la scelta dei parametri della griglia e con l'elaborazione dell'indagine.

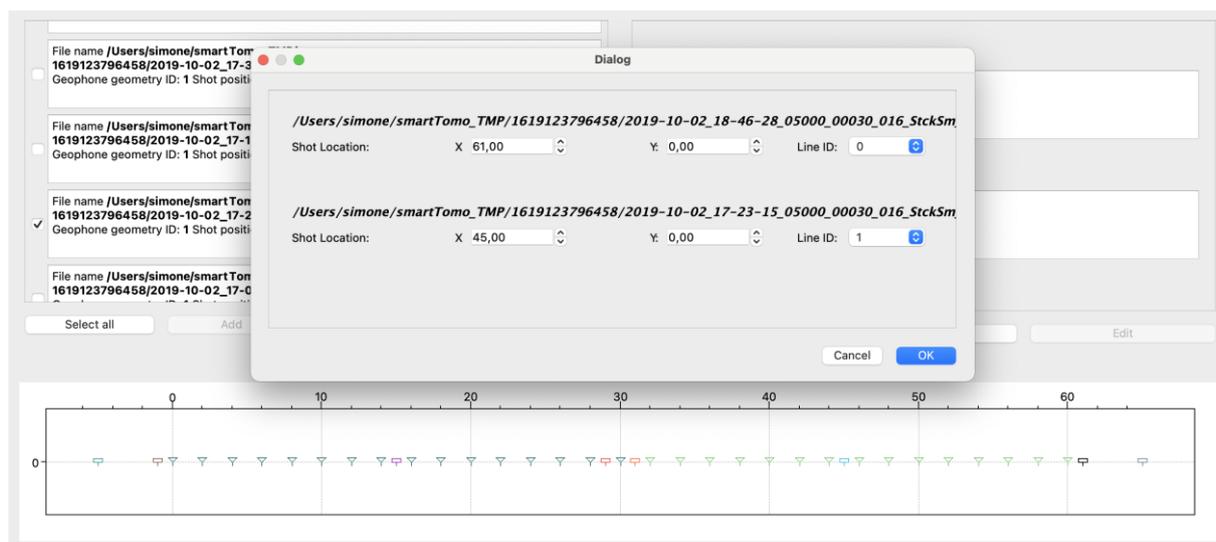


Figura 10 Finestra di dialogo in cui è possibile impostare la geometria dell'energizzazione e la linea dei geofoni cui l'acquisizione fa riferimento.

Dopo aver confermato la geometria premendo il pulsante OK, si apre una nuova finestra di dialogo per impostare i parametri della griglia di calcolo. I parametri di default possono essere mantenuti senza modifiche. Si consiglia di controllare che la dimensione della cella (Cell size) sia almeno di un quarto della distanza intergeofonica. Aumentare il numero di nodi per cella incrementa la precisione con cui si vengono calcolate le dromocrone ma incrementa anche

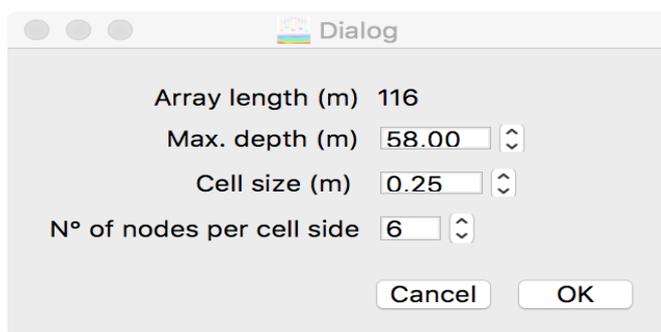


Figura 11 Parametri della griglia

l'utilizzo della memoria.

RIQUADRO - CELLA E NUMERO DI NODI

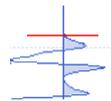
La dimensione della cella è la lunghezza del lato di una cella di calcolo in cui la velocità sismica è considerata costante. Di default questo parametro è impostato a un quarto della distanza intergeofonica. In alternativa si può usare un valore predeterminato come ad esempio 0.25 m o 0.50 m. Le versioni precedenti proponevano di default 0.25m.

Il parametro “numero di nodi” rappresenta quanti nodi per la ricostruzione dei raggi sismici vengono posizionati su ciascun lato della cella. Di default il numero è 6. In un caso standard (lato 0.25 m e numero nodi 6) significa che viene posizionato un nodo ogni 5 cm su tutti i lati delle celle.

Aumentare il numero di nodi:	<ul style="list-style-type: none"> • Maggiore uso della memoria • Più precisione nella ricostruzione dei raggi sismici (ma è necessaria?)
Aumentare il lato della cella:	<ul style="list-style-type: none"> • Minore uso della memoria • Minore precisione nella ricostruzione dei raggi sismici • Maggiore stabilità di calcolo • Profilo sismico più smoothed

Accettando (OK) i parametri vengono aperte le tracce sismiche nella finestra principale. Nella scheda *Tracce* sulla sinistra vengono visualizzate le tracce dello shot attualmente visualizzato mentre sulla destra è presente una finestra con la visualizzazione delle dromocrone. È possibile sovrapporre le dromocrone già campionate sulle tracce attualmente visualizzate per avere un’anteprima del lavoro svolto fino a quel momento.

Autopicking dei primi arrivi

Da menu: Tracce/Autopick	Da tastiera: Ctrl+A	Da toolbar: 
------------------------------------	-------------------------------	--

La selezione manuale dei primi arrivi può essere effettuata cliccando con il mouse sulla traccia. Dalla versione 2019.2 è possibile tenere premuto il pulsante sinistro del mouse e trascinare per effettuare il picking multiplo.

La **rimozione** di un primo arrivo errato o dubbio può essere effettuata premendo **shift+click** sul primo arrivo da eliminare.

Disabilitare un canale

Da menu: -	Da tastiera: Shift – pulsante sinistro	Da toolbar: -
---------------	--	------------------

Georeferenziazione della stesa sismica.

La stesa sismica può essere georeferenziata. Accedendo al menù *Progetto/Imposta coordinate geografiche* viene aperta l'apposita finestra di dialogo (Figura 12). È possibile inserire le coordinate del primo e dell'ultimo geofono della stesa in un sistema di coordinate proiettate metriche (ad esempio UTM, Gauss-Boaga (EPSG:3003)). La posizione dei geofoni, oltre il primo, viene determinata calcolando la posizione utilizzando la geometria dei geofoni impostata precedentemente, in questo modo si assicura che la distanza tra i geofoni sia quella definita. Il codice EPSG individua il sistema di riferimento utilizzato. Il parametro EPSG è importante per esportare il profilo nel file KML per essere visualizzato, ad esempio in Google Earth.

A questo link <https://spatialreference.org/> è possibile consultare la lista dei codici EPSG.

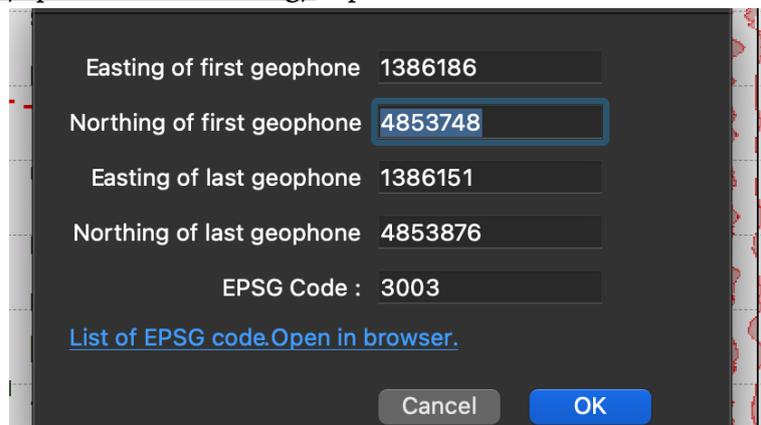


Figura 12 Finestra di dialogo per impostare le coordinate degli estremi della stesa

Filtraggio e pulizia del segnale

SmartTomo mette a disposizione due strumenti per applicare filtri al segnale. Dal menu *Tracce/Filtri* si apre la finestra per applicare manualmente filtri passa banda al segnale e per visualizzare lo spettro. Nella finestra di dialogo è visualizzato lo spettro del segnale originale e di quello filtrato e contemporaneamente si può scegliere se visualizzare le tracce prima o dopo dell'applicazione dei filtri.

È possibile applicare il filtro AGC alle tracce dalla voce di menu e dal pulsante corrispondente in toolbar.

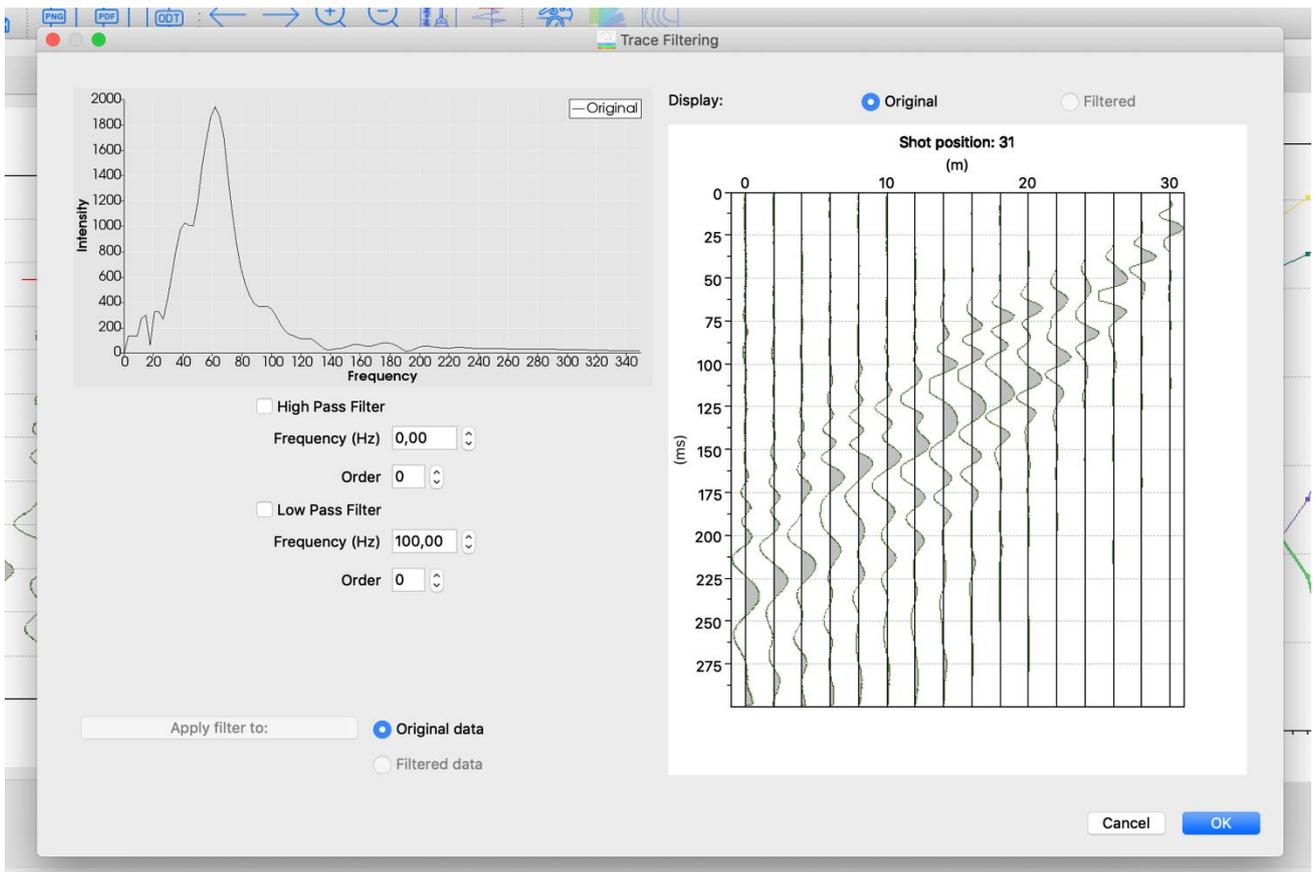


Figura 13 Finestra di applicazione dei filtri. Selezionando sia il filtro passa alto che passa basso viene applicato un filtro passa banda

È disponibile anche un filtro automatico (menu Tracce/Applica NoRe) che ha come obiettivo la valorizzazione del segnale utile per l'individuazione dei primi arrivi. Il NoRe, Noise Reduction tool for seismic refraction, opera come un filtro passa banda a banda adattiva.

L'autopicking può essere applicato sia sulle tracce originali che su quelle filtrate poiché funziona sulle tracce visualizzate in quel momento.

Rimozione automatica del rumore (NoRe – The Noise Reduction tool for seismic refraction)

Da menu:	Da tastiera:	Da toolbar:
Tracce/Applica NoRe	-	

Autopicking

SmartTomo mette a disposizione una procedura automatica di ricerca dei primi arrivi. Il metodo impiegato si basa su metodo del rapporto di energia del segnale. Nonostante il metodo sia stabile rispetto alla presenza di rumore (soprattutto rispetto a quello ad alta frequenza) possono essere individuati comunque primi arrivi errati. Dalla versione 2019.2 è stata implementata anche una procedura di *first break rejection* per filtrare i primi arrivi

mantenendo il picking più verosimile. Per questo motivo dopo l'autopicking alcune tracce potrebbero risultare disabilitate.

Dopo aver selezionato i primi arrivi relativi a tutte le energizzazioni, i tempi di arrivo possono essere controllati dalla scheda *Dromocrone*. Nella scheda dromocrone vengono visualizzate le dromocrone campionate dall'utente usando una linea continua mentre le dromocrone calcolate durante l'inversione tomografica vengono disegnate usando una linea tratteggiata.

Visualizzazione e modifica dei tempi di primo arrivo

Dal menu *Progetto/Tabella tempi di arrivo* si apre una finestra che contiene la tabella dei tempi di arrivo.

Questa tabella è ordinata con i geofoni sulle righe mentre le colonne corrispondono alle energizzazioni. Il pulsante *Carica...* consente di caricare i tempi di arrivo da un file csv con la possibilità di scelta del carattere di separazione dei campi.

È possibile selezionare le celle della tabella con il mouse ed effettuare copia ed incolla dei valori con i comandi *ctrl+c* e *ctrl+v*. Le dimensioni dei dati da incollare nella tabella devono rispettare la dimensione della tabella stessa. Un errore in tal senso verrà mostrato se le dimensioni differiscono.

	0 m	4 m	14 m	20 m	26 m	36 m	40 m
1	17.5824	5	23.8619	29.5567	31.6	37.3681	38.6348
2	19.4662	10.5	21.978	28.1492	32.3012	35.6	39
3	22.25	14.75	15.75	28.1492	29.4	35.4	37.6
4	25.5	19.75	8.25	21	29.4	34.6	37
5	27.75	22.25	5	20	28	33.2	36.2
6	30.75	26.75	5	20	26.8	32.4	35.6
7	31.3972	29	10.5	9.85222	24.4	31.2	35.2
8	33	30.5	15.0706	4.92611	20.4	31.2456	34.6
9	35.7928	31.5	20.0942	4.92611	18.1562	28.8	32.8
10	35.1648	32	24.5	12.6671	9.71147	27.6	30.8
11	33	31	27.0016	20	5	27.0232	28.5011
12	35.5	33.25	30.1413	23.2231	4.6	27.4	29.2
13	37.75	34	31.3972	27.4455	12.4	23.2	29
14	38.75	37.75	31.5	29.5567	19.2	17.8	27.6
15	40.75	39	33.281	30.9641	24.4	11.6	24.2787
16	40	40.8163	35.1648	31.6678	27.2	4	20.2674

Figura 14 Finestra di dialogo per visualizzare e modificare i tempi di arrivo

Abilitazione della tomografia dell'attenuazione sismica e campionamento dei dati di attenuazione

RIQUADRO - GARBAGE IN, GARBAGE OUT WARNING

La tomografia dell'attenuazione sismica utilizza come dato osservato l'ampiezza dell'onda sismica rifratta nel dominio frequenza/intensità. È difficile valutare in fase di analisi la qualità del dato acquisito per cui è necessario eseguire le operazioni di campagna con attenzione per essere sicuri di non falsare l'intensità del segnale acquisito.

Si consiglia di controllare che:

- I geofoni siano posizionati rispettando le specifiche del produttore, ad esempio in verticale.
- I geofoni non siano posizionati con modalità differenti, alcuni su basette ed altri infissi nel terreno; il segnale viene in qualche modo filtrato dalla presenza o meno della basetta.
- I connettori geofono/cavo siano tutti nelle medesime condizioni evitando la presenza di umidità.
- I geofoni siano tutti della stessa tipologia in termini di risposta alla sollecitazione.
- Evitare tutte le situazioni, locali e superficiali, che possano modificare l'intensità del segnale acquisito.

Abilitazione della tomografia di attenuazione		
Da menu: Progetto/Abilita tomografia attenuazione	Da tastiera: -	Da toolbar:
Finestra di campionamento dei valori di attenuazione		
Da menu: Tracce/Campionamento attenuazione	Da tastiera: -	Da toolbar:

Quando si crea un nuovo progetto la tomografia dell'attenuazione è disabilitata come opzione predefinita.

Nel momento in cui si abilita la funzione, viene chiesto all'utente (vedi Figura 15) di inserire dimensione in millisecondi della finestra di segnale che si vuole campionare per calcolare l'intensità del segnale; la dimensione della finestra è definita a partire dal primo arrivo.

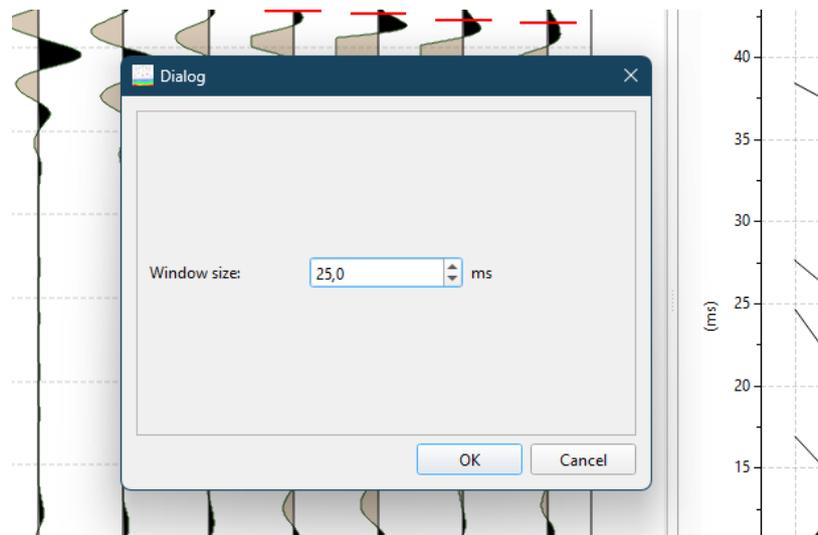
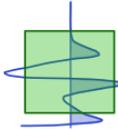


Figura 15 Finestra di dialogo per impostare la dimensione della finestra di campionamento della intensità del segnale

Il segnale all'interno della finestra (vedi Figura 16) viene analizzato nel dominio frequenza / intensità, traccia per traccia, e viene costruito il grafico dell'attenuazione che può essere visualizzato nella vista laterale al posto delle dromocrone.

È possibile definire, traccia per traccia, la dimensione della finestra di campionamento abilitando la funzione da menu o da toolbar. Il primo arrivo fino a che questa funzione è attiva non sarà modificabile ma sarà possibile posizionare la parte inferiore della finestra di campionamento (colore verde) attraverso il click con il pulsante sinistro del mouse. Analogamente al picking dei primi arrivi è possibile disabilitare il campionamento di una traccia effettuando click con shift+pulsante sinistro. La traccia in cui il campionamento è disabilitato non avrà più visualizzata la finestra verde di che indica la porzione di segnale campionata.

Selezione manuale della finestra di campionamento dei valori di attenuazione		
Da menu: Tracce/Campionamento attenuazione	Da tastiera: -	Da toolbar: 

In generale la finestra di campionamento potrà essere impostata più ampia allontanandosi dalla sorgente. Come indicazione per impostare la finestra di campionamento si può prendere come riferimento un cavo o una cresta nel segnale e cercare l'omologa nelle tracce vicine in modo da campionare la stessa porzione di segnale in ogni traccia.

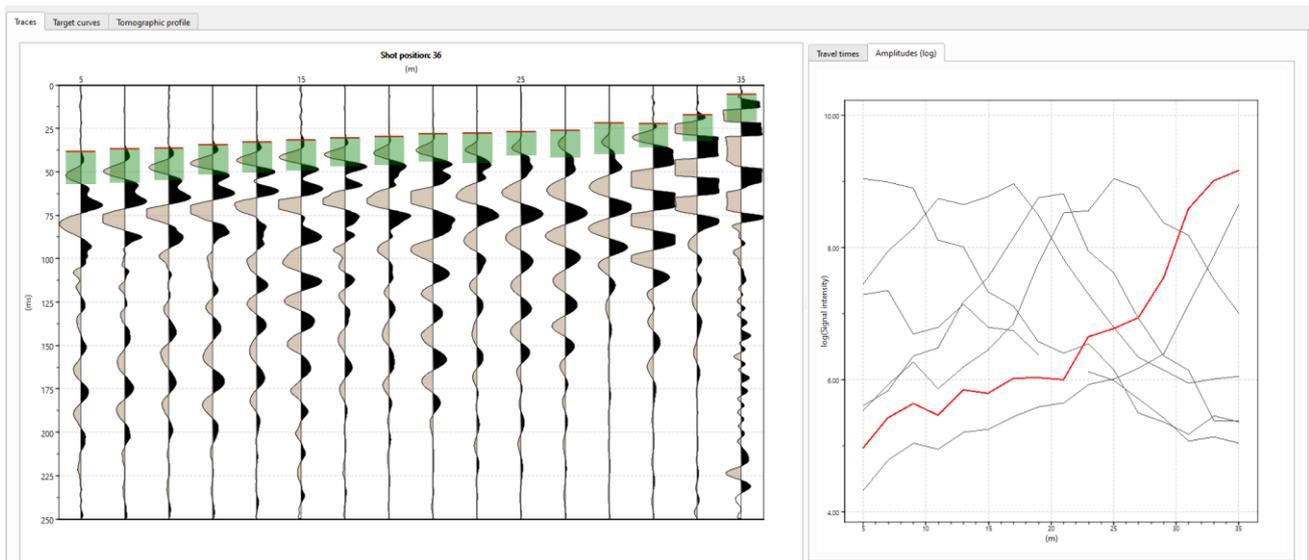


Figura 16 Sulla sinistra sono visualizzate le finestre di campionamento (porzione evidenziata in verde) del segnale per il calcolo dell'intensità. Sulla destra il grafico dell'intensità rispetto alla posizione dei geofoni.

La frequenza associata all'intensità massima rilevata viene impiegata nel calcolo della tomografia del QFactor. Il valore determinato automaticamente può essere modificato manualmente attraverso la finestra di dialogo accessibile tramite:

Selezione manuale della frequenza		
Da menu: Processing/Definisci frequenza	Da tastiera: -	Da toolbar: -

Il valore della frequenza non interferisce con la risoluzione della tomografia di velocità e di attenuazione.

Esecuzione della tomografia

Esecuzione della tomografia		
Da menu: Processing/Esegui tomografia	Da tastiera: -	Da toolbar: 

L'inversione tomografica può essere avviata da Tomografia/Esegui tomografia e viene aperta la finestra di dialogo per impostare i parametri di esecuzione.

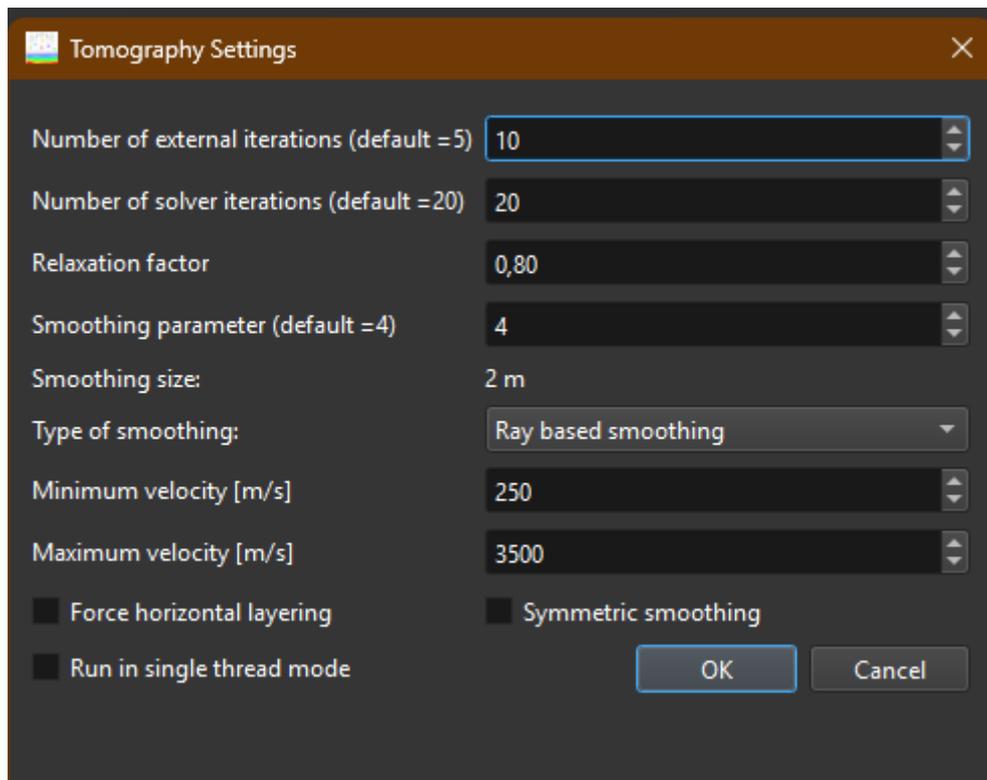


Figura 17 Impostazioni dei parametri di esecuzione della tomografia

Il parametro che più influenza il risultato è lo smoothing parameter. Valori bassi rendono l'aggiornamento del modello di velocità molto locale dando origine ad un risultato che può presentare forti contrasti di velocità. Al contrario valori alti di smoothing rendono il modello di velocità più omogeneo e continuo. Si suggerisce di effettuare differenti esecuzioni con valori differenti per trovare il valore ottimale per la situazione modellata. Dalla versione 2024 il parametro di smoothing è mostrato anche in metri per offrire un riferimento facilmente riconducibile alla scala del rilievo.

Sono presenti differenti tipi di funzioni di smoothing. Lo *uniform weighted smoothing* (smoothing uniforme) corrisponde al metodo implementato nelle versioni precedenti come metodo predefinito.

RIQUADRO – TIPI DI SMOOTHING					
Tipologia	Distribuzione dei pesi				
Smoothing uniforme	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1
Smoothing lineare	0,35	0,45	0,5	0,45	0,35
	0,45	0,71	1	0,71	0,45
	0,5	1	1	1	0,5
	0,45	0,71	1	0,71	0,45
	0,35	0,45	0,5	0,45	0,35
Smoothing gaussiano	0,73	0,82	0,85	0,82	0,73
	0,82	0,92	0,96	0,92	0,82
	0,85	0,96	1	0,96	0,85
	0,82	0,92	0,96	0,92	0,82
	0,73	0,82	0,85	0,82	0,73
Smoothing basato sui raggi (<i>Default dalla versione 2022.0</i>)	I pesi vengono calcolati in modo variabile inversamente alla distanza tra i raggi e la cella da aggiornare e in funzione alla velocità delle celle: le celle più veloci contribuiscono a un risultato più liscio.				

La risoluzione del problema tomografico avviene in due cicli di calcolo nidificati. Quello interno ottimizza il modello di velocità senza ricalcolare il percorso dei raggi sismici mentre, in quello esterno, viene applicato lo smoothing ed il calcolo dei percorsi dei raggi sismici. Nella configurazione di default viene ripetuto 10 volte il ciclo esterno e 20 volte quello interno; pertanto, ogni ad ogni ciclo esterno viene ripetuto 20 volte quello interno.

Il parametro Relaxation Factor può variare tra 0 e 1 e può essere considerato un fattore di scala dell'aggiornamento del modello di velocità tra una iterazione e l'altra. Il valore 0 rende nullo l'aggiornamento mentre 1 comporta un aggiornamento non scalato.

Il risultato dell'elaborazione viene visualizzato nella scheda *Profilo tomografico* della finestra principale. La personalizzazione della visualizzazione verrà descritto nell'apposita sezione (cfr. Opzioni di visualizzazione).

La visualizzazione iniziale mostra la sezione tomografica con disegnati sopra i raggi sismici.

RIQUADRO – CONSIGLI SUI PARAMETRI DELLA TOMOGRAFIA

- Il ciclo esterno è il passaggio che richiede il maggiore tempo di elaborazione.
- Il ciclo interno è quello che porta all'ottimizzazione del modello se si vuole forzare maggiormente l'aggiornamento del modello si possono provare valori anche di 30 o 50 iterazioni.
- Per rendere meno omogeneo il risultato della tomografia si possono tenere i valori di smoothing intorno a 2-3. Valori pari a 7-10 portano ad un risultato più liscio.
- Lo smoothing uniforme produce i risultati più liscii. Lo smoothing lineare attribuisce più peso alle celle centrali della finestra mobile e produce i risultati più grezzi. Lo smoothing gaussiano è intermedio tra gli effetti dello smoothing uniforme e lineare. Lo smoothing basato sui raggi consente un risultato più liscio per le velocità più alte, non considera le celle senza raggi nel calcolo.
- Dopo aver eseguito una prima volta la tomografia si può decidere di ripetere l'inversione. Il risultato della tomografia precedente sarà il modello di partenza del nuovo processo. In questo modo si può valutare l'avanzamento dell'elaborazione.
- Dopo ogni inversione si può controllare nella scheda dromocrone la sovrapposizione tra le dromocrone calcolate (linea tratteggiata) e quelle misurate (linea continua); se le dromocrone misurate si presentano con molte irregolarità può essere utile usare livelli di smoothing bassi.

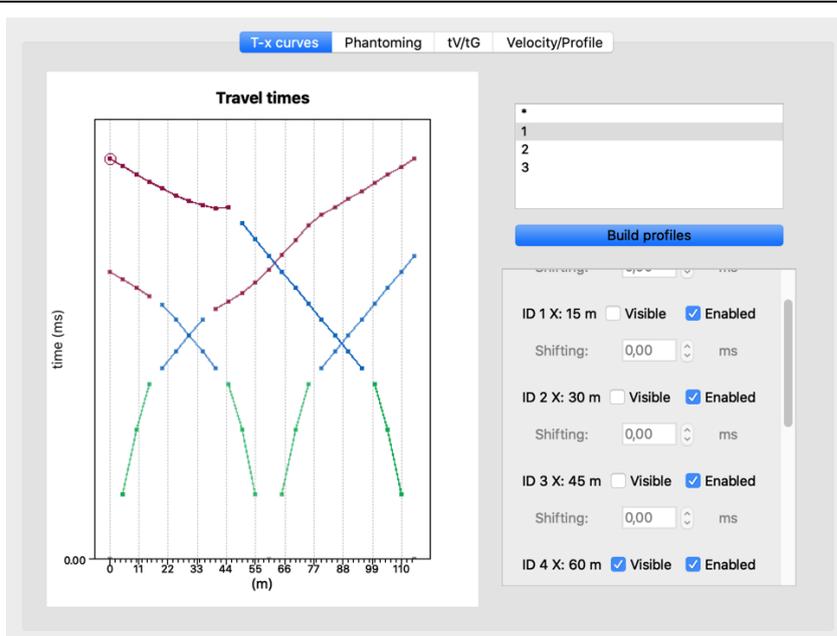
Elaborazione della sismica a rifrazione con il metodo reciproco (GRM)

SmartTomo include una procedura per l'elaborazione dei dati con un modello a strati implementando il Generalized Reciprocal Method, GRM.

Esecuzione della rifrazione GRM		
Da menu:	Da tastiera:	Da toolbar:
Processing/Rifrazione	-	-

Il processo di elaborazione e di visualizzazione dei risultati è pensato soprattutto per la visualizzazione sovrapposta alla tomografia. Comunque, è possibile esportare separatamente l'elaborazione a rifrazione come immagine.

La finestra di elaborazione della prova sismica presenta quattro schede.



In questa scheda l'utente deve assegnare le dromocrone ai sismostrati.

Dalla lista sulla destra in alto si sceglie il sismostrato a cui associare l'arrivo. Per associare il tempo di arrivo al sismostrato si deve cliccare sul primo punto e spostarsi sull'ultimo relativo a quel sismostrato e cliccare nuovamente.

L'elenco sulla destra in basso mostra la sequenza degli shot e la possibilità di visualizzarli e disabilitarli.

Il pulsante Build profiles (costruisci i profili) calcola in automatico la sezione a rifrazione

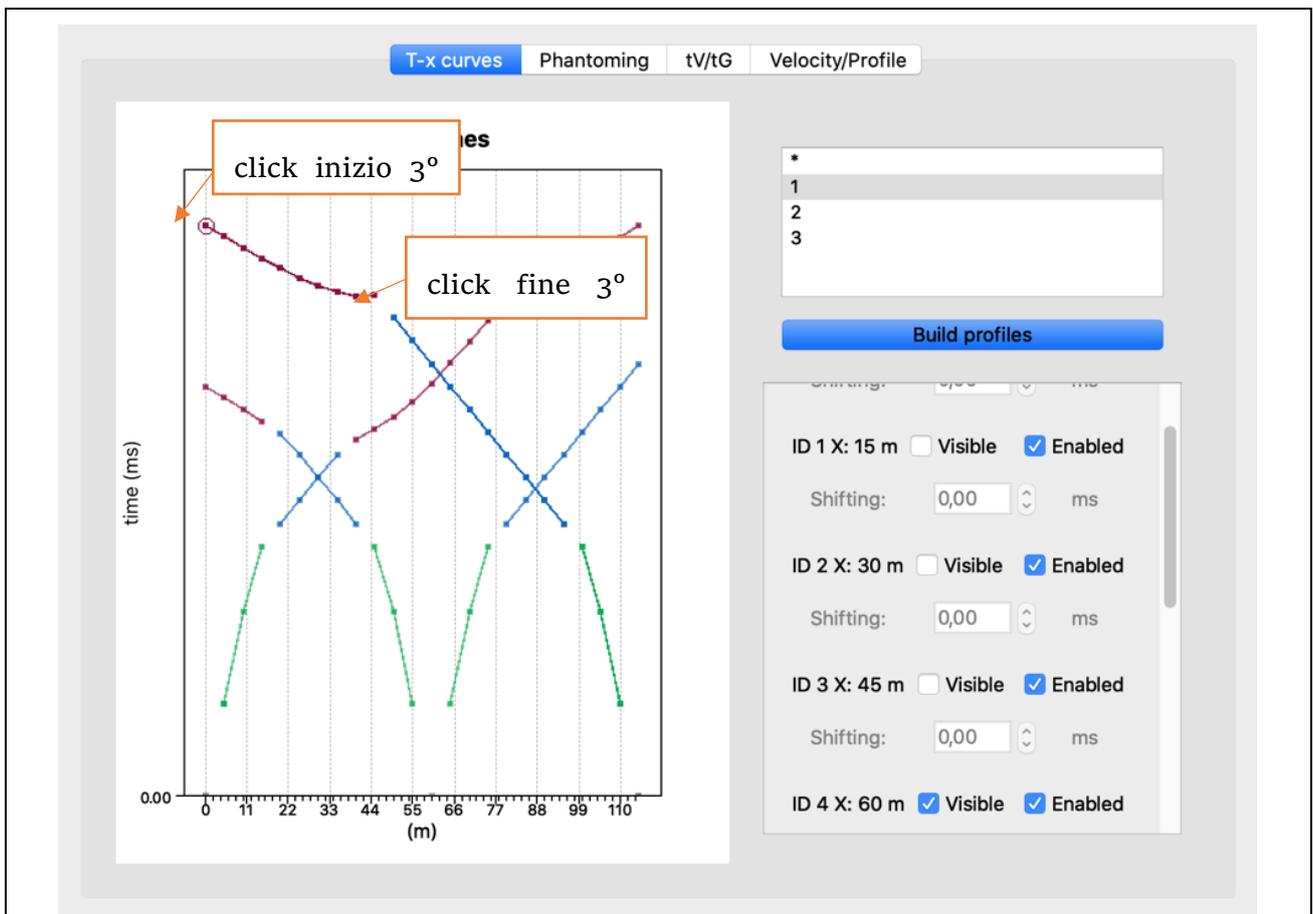
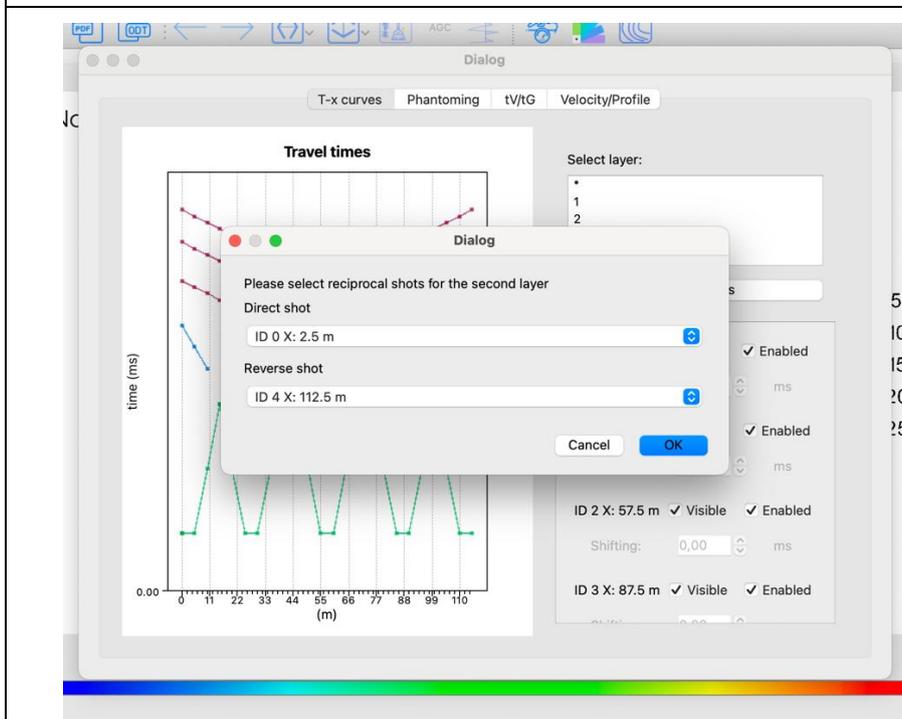
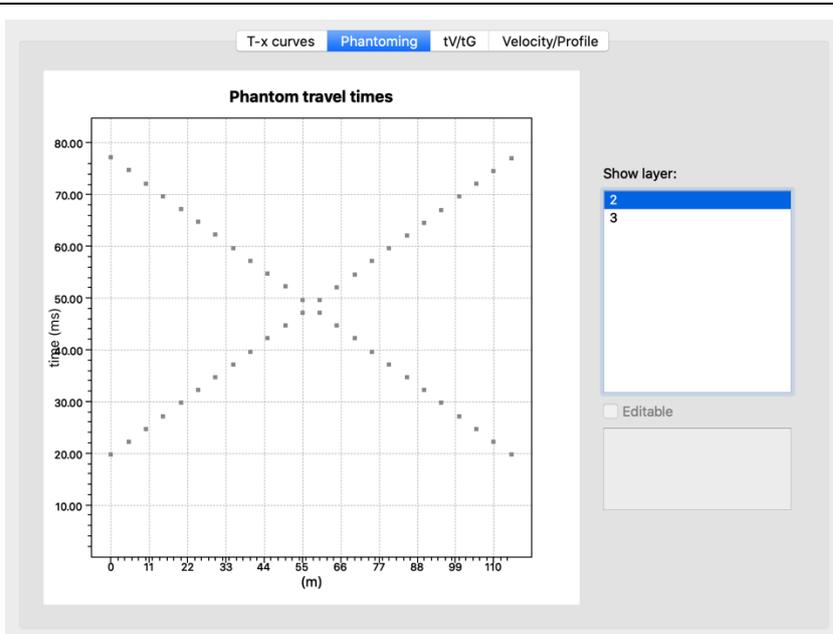


Figura 18 Esempio di assegnazione dei sismostrati ai primi arrivi in una elaborazione a rifrazione

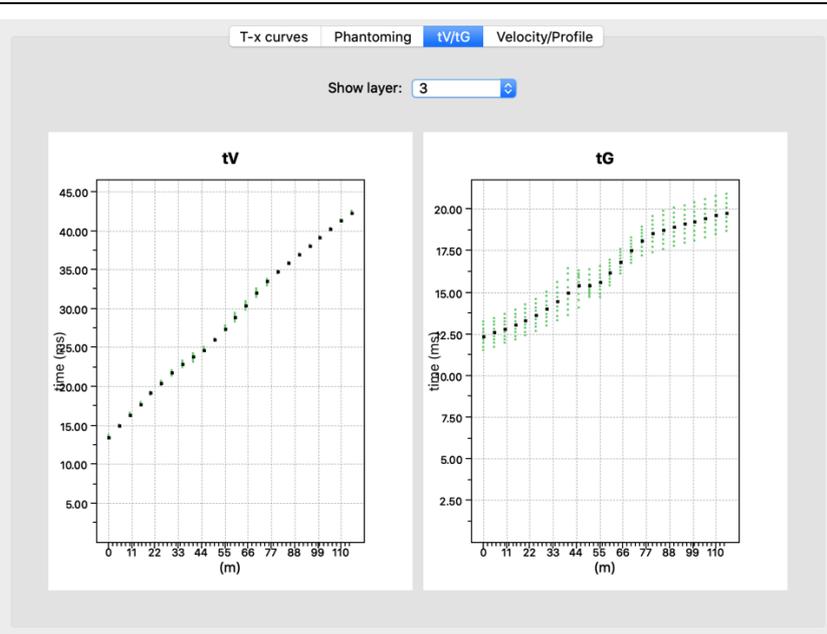


Nel caso in cui il software non riuscisse a individuare gli shot reciproci, verrà proposta questa interfaccia per selezionare gli shot reciproci. Ovviamente scelte non coerenti porteranno a soluzioni non accurate.

Si suggerisce di eseguire almeno una energizzazione all'esterno della linea per lato.



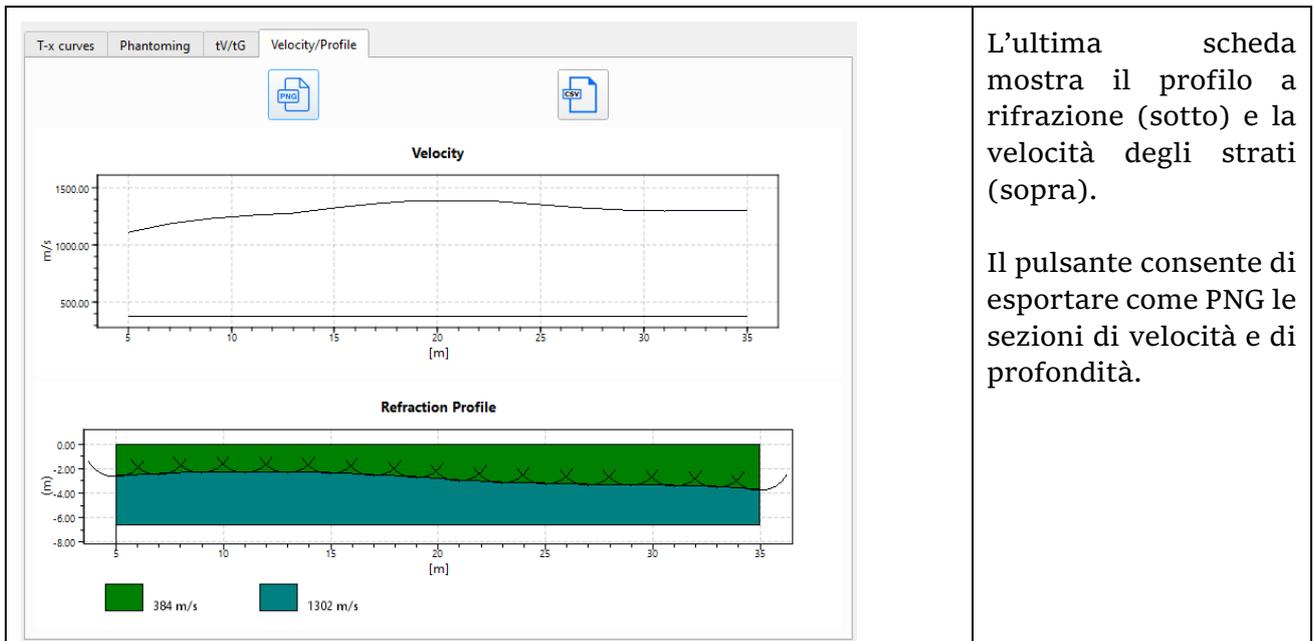
La seconda scheda mostra le dromocrone ricostruite. Questo è un processo (automatico) necessario per combinare tutti i tempi di arrivo relativi ad uno strato, campionati su più shot al fine di generare una dromocrona continua. È importante verificare che il tempi di percorso in andata e ritorno (tempo reciproco) siano circa uguali. In caso contrario è probabile che ci siano dei problemi nel picking. Nell'immagine il tempo reciproco è di circa 78 ms.



Questa scheda mostra il plot delle funzioni Tv e Tg.

I grafici neri corrispondono alla funzione utilizzata per la sezione. I grafici verdi rappresentano lo spazio di variabilità dei valori delle funzioni al variare della distanza XY.

(Vedi: Generalized Reciprocal Method (GRM))



L'ultima scheda mostra il profilo a rifrazione (sotto) e la velocità degli strati (sopra).

Il pulsante consente di esportare come PNG le sezioni di velocità e di profondità.

RMSE – Root Mean Square Error ed errore massimo

Uno dei modi per misurare la qualità dei risultati dell'inversione della tomografia sismica è quello di valutare l'errore massimo e l'errore quadratico medio (RMSE) calcolati confrontando i tempi di percorrenza adattati con quelli osservati. Tuttavia, non esiste un criterio definitivo per determinare se questi errori sono abbastanza piccoli da garantire una ricostruzione affidabile della struttura del sottosuolo ma è necessario che l'utente valuti caso per caso se il fitting ottenuto è ragionevole per il contesto indagato.

Il flusso di lavoro suggerito consiste nel controllare a occhio i tempi di percorrenza al termine dell'inversione tomografica per individuare i punti in cui si riscontra la maggiore differenza tra i tempi di percorrenza calcolati e quelli misurati. Un errore massimo elevato può indicare un problema nella geometria dell'esperimento, ad esempio una posizione errata degli scatti o dei ricevitori. Osservando i tempi di percorrenza, si può rilevare un errore nella geometria dei colpi se i tempi di percorrenza calcolati tendono a zero in un punto senza un colpo effettivo. Pertanto, è importante verificare la qualità dell'acquisizione e dell'elaborazione dei dati prima di eseguire l'inversione.

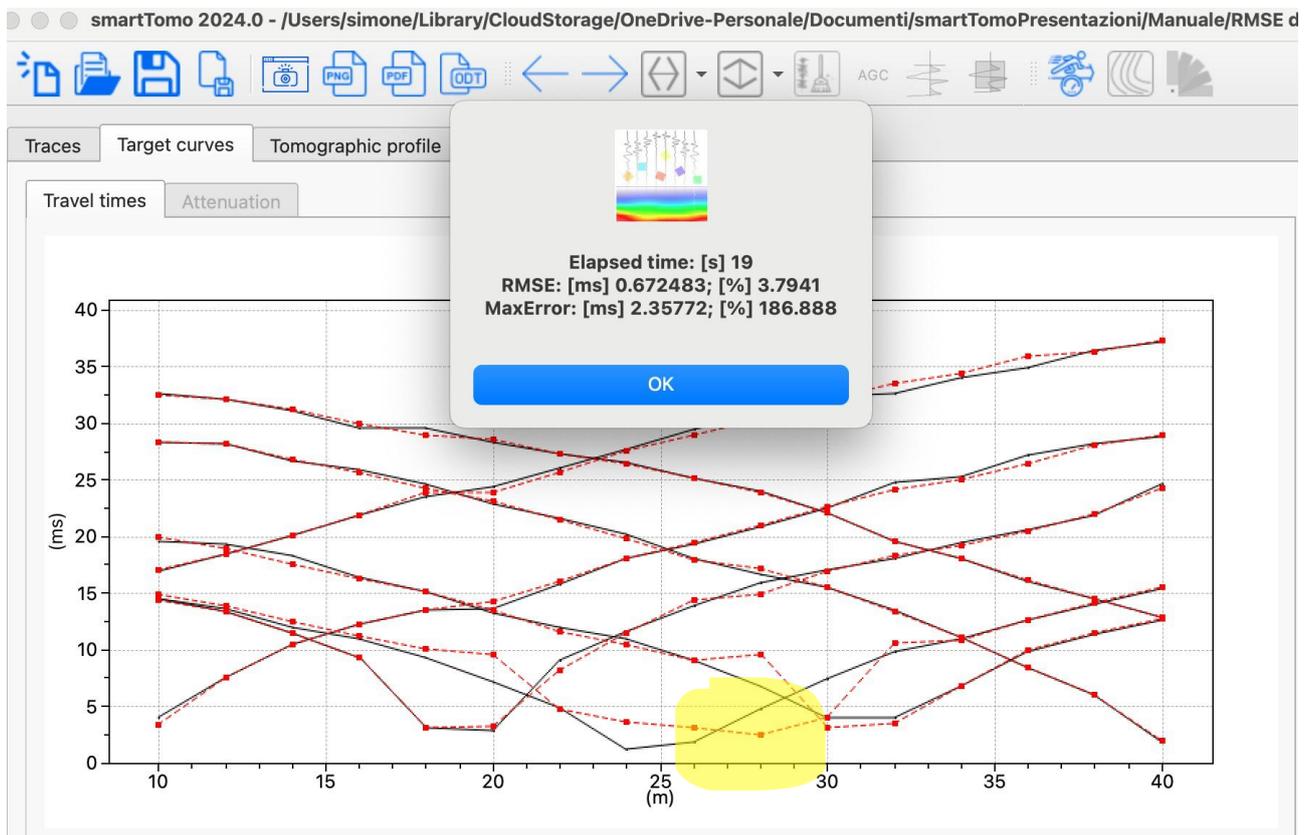


Figura 19 The yellow spot highlights where wrong shot position is; the computed travel times (red dotted line) has a flat low value zone that does not match measured one.

Esaminando sia il profilo della tomografia che il grafico del tempo di percorrenza, l'utente può individuare i problemi relativi alle impostazioni della velocità minima e massima della tomografia.

L'impostazione dei parametri di velocità nella finestra di dialogo *Esegui tomografia* in un intervallo non appropriato per il contesto geologico aumenterà l'RMSE e l'errore massimo.

Se la velocità minima è impostata su un valore troppo alto, gli utenti possono osservare quanto segue:

- La velocità minima del profilo è vicina alla velocità minima impostata nella finestra di dialogo.
- I tempi di primo arrivo divergono in prossimità dei punti di ripresa e i primi freni calcolati arrivano troppo presto.

- Tomographic Profile - Velocity with Rays - RMSE 12.471644 %

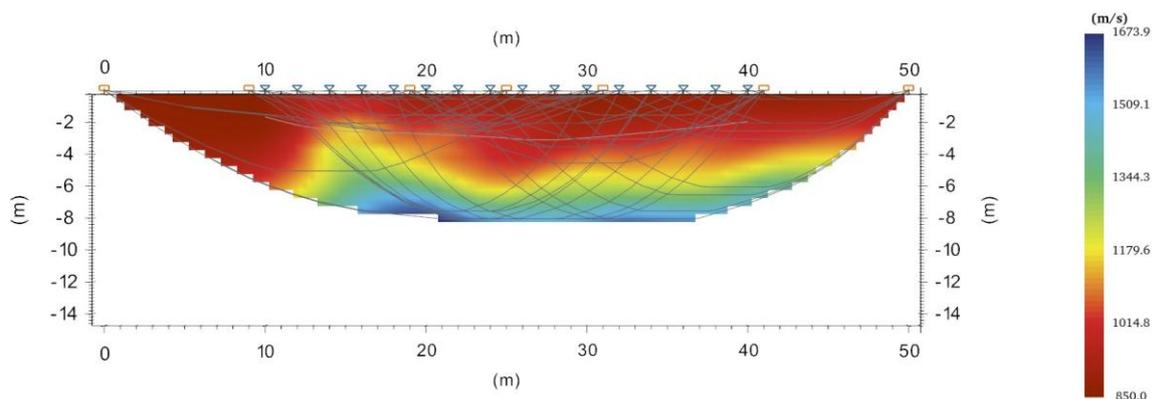


Figura 20 Profilo tomografico calcolato con una velocità minima troppo alta: la sezione ha una grande parte schiacciata al valore minimo impostato nei parametri.

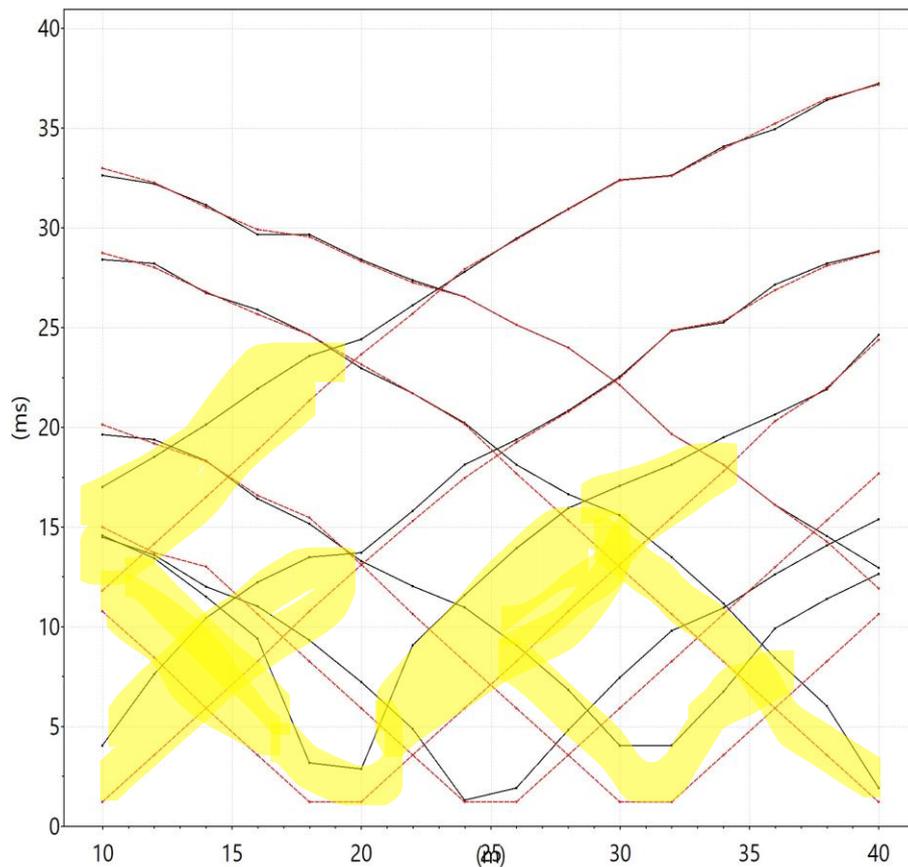


Figura 21 Dromocrone relative al profilo della Figura 20. La velocità minima troppo alta comporta delle dromocrone calcolate erroneamente soprattutto in vicinanza dei punti di energizzazione con un anticipo dei tempi

Se la velocità massima è troppo bassa, gli utenti possono osservare quanto segue:

- Profilo tomografico tagliato a velocità prossime a quella massima.
- I tempi di percorrenza calcolati si discostano da quelli osservati e arrivano troppo tardi ai ricevitori situati lontano dai punti di ripresa.

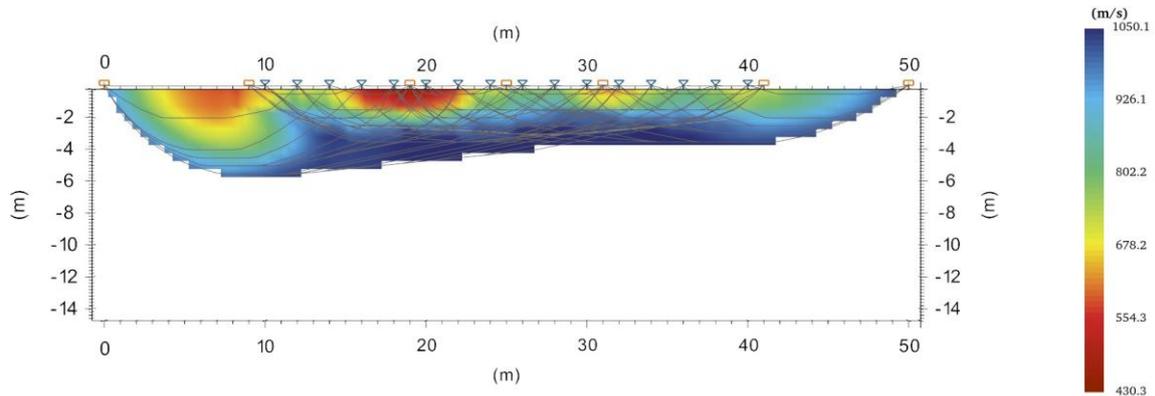


Figura 22 Profilo sismico calcolato impostando una velocità massima troppo bassa.

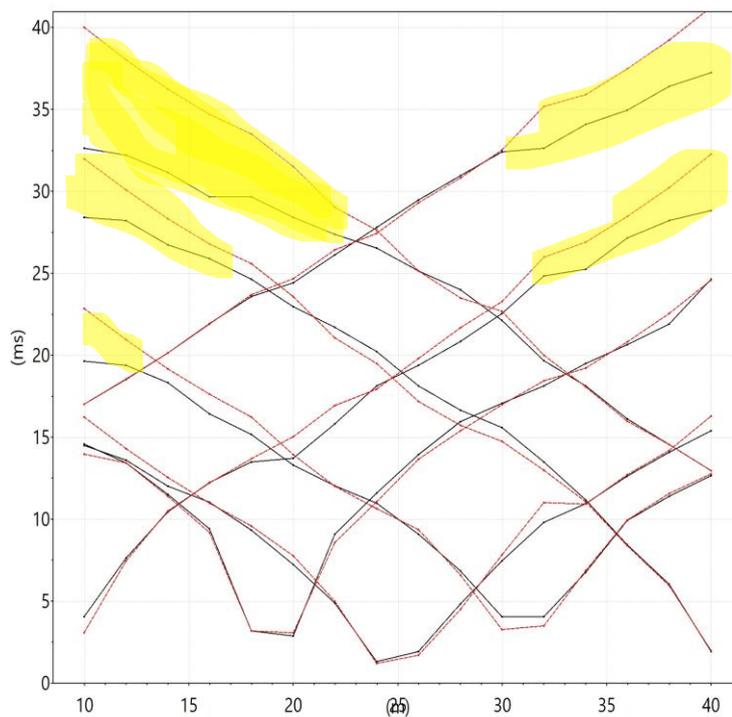


Figura 23 Dromocrone relative alla Figura 22 calcolate usando una velocità massima troppo bassa. Le aree gialle mettono in evidenza il forte ritardo delle dromocrone calcolate (rosse) rispetto a quelle misurate (nere).

Infine, il grado di smoothing applicato al processo di inversione può influenzare l'adattamento tra i tempi di percorrenza osservati e quelli calcolati. Un parametro di smoothing elevato può portare a una soluzione eccessivamente liscia che non coglie i dettagli delle eterogeneità, mentre un parametro di smoothing basso può portare a una soluzione rumorosa che non riflette le reali variazioni del campo di velocità. Per valutare il livello ottimale di smoothing, gli utenti devono esaminare il compromesso tra il misfit dei dati e la complessità del modello e scegliere

un valore che minimizzi entrambi. In questo modo si può ottenere un'immagine tomografica più accurata e robusta del sottosuolo.

Apertura e modifica di un progetto esistente

I progetti vengono salvati in un formato proprietario “stomo” che comprende tutte le informazioni necessarie a riaprire il progetto. Per aprire un progetto salvato si può cliccare sull'icona oppure dal menù File/Apri.

Una volta aperto il file del progetto è possibile modificare diverse caratteristiche del progetto oltre che a modificare il picking dei primi arrivi e calcolare nuovamente il profilo sismico.

Modifica della geometria dello stendimento

Nel progetto può essere modificata la geometria dello stendimento di geofoni. L'utente può modificare la geometria di una stesa esistente creata in automatico leggendo i metadati dei file sismici (seg2) oppure creare una nuova stesa da associare ai file sismici. Un progetto può avere più stese geofoniche al suo interno.

Nella finestra di dialogo di riepilogo della geometria, la porzione relativa allo stendimento geofonico è nella colonna di destra. Selezionando la checkbox relativa a quella che deve essere modificata viene aperta la finestra di editing. È possibile modificare la posizione sia lungo la linea (X) sia come quota (Y). Non sono possibili sensori posizionati sottoterra.

La stessa finestra di editing viene aperta anche se si sceglie di creare una nuova stesa. In quel caso sarà possibile specificare anche il numero di geofoni. Il numero di geofoni deve corrispondere al numero di geofoni totali presenti nei file sismici che si vogliono associare alla stesa.

Modifica della posizione delle energizzazioni.

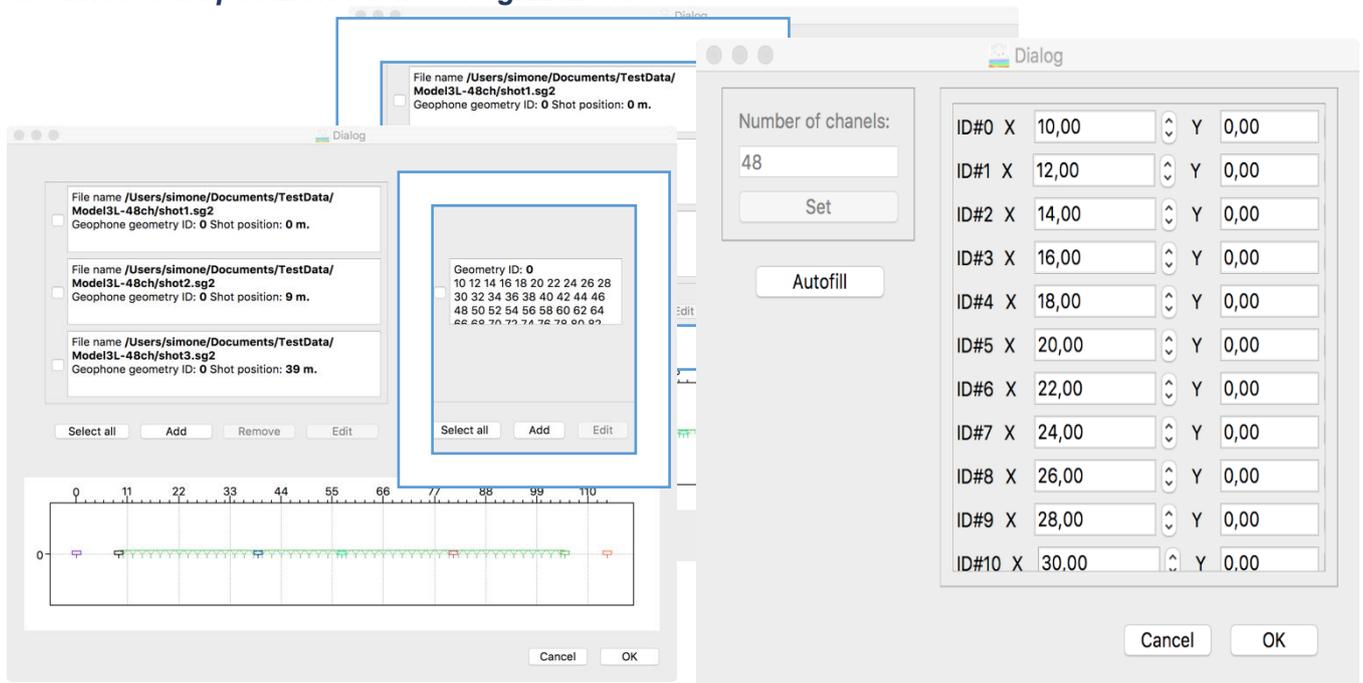


Figura 24 Impostazione della geometria dei geofoni

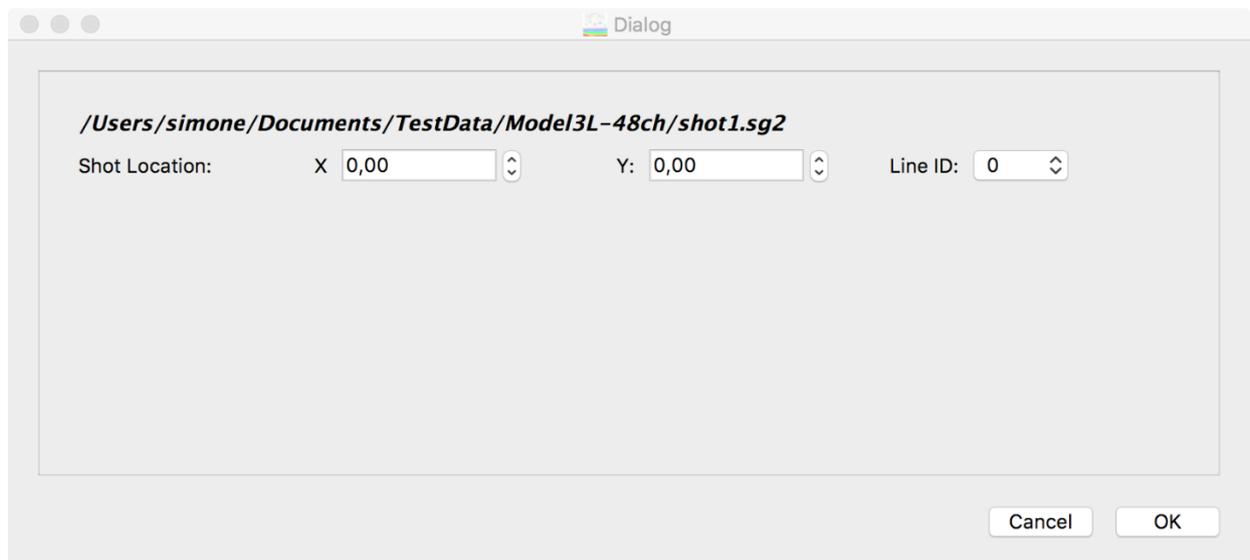


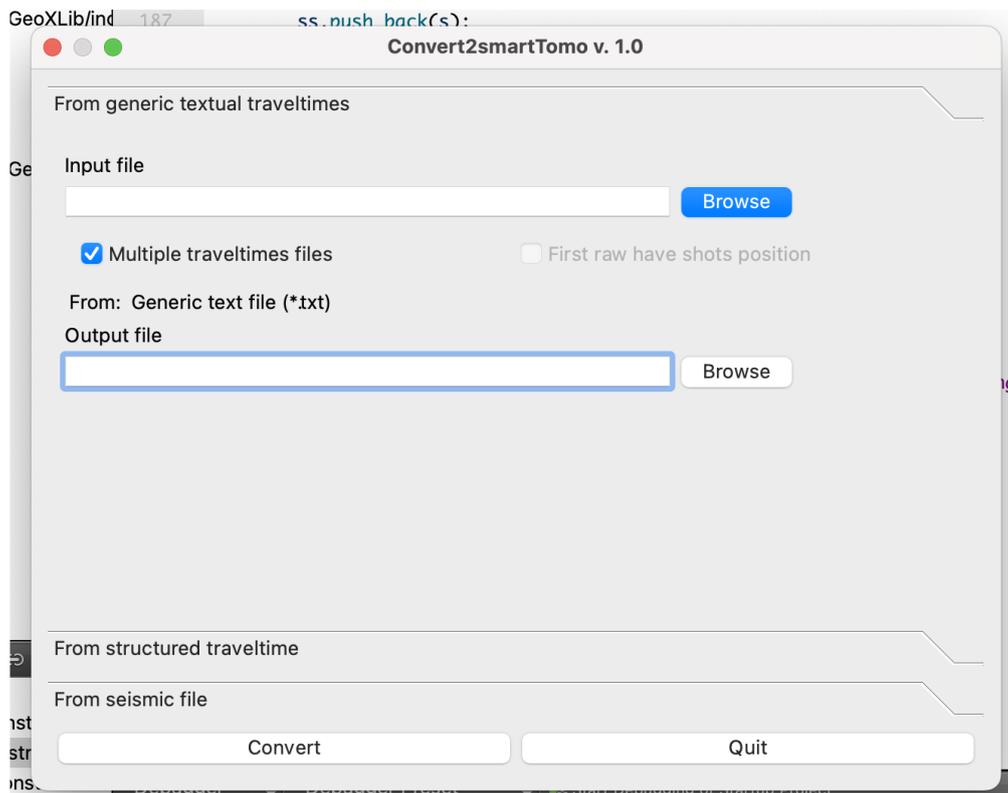
Figura 25 Modifica della impostazione della geometria delle energizzazioni

Le energizzazioni nel progetto sono associate ai file contenenti le tracce sismiche. Nella finestra di riepilogo della geometria si trovano nella colonna di destra. Per modificare la posizione di uno shot si deve selezionare il file corrispondente e cliccare edit (modifica). Si apre una seconda finestra di dialogo dove è possibile scegliere il posizionamento del punto di battuta e la linea di geofoni associata. I punti di battuta possono essere solo posizionati in superficie. La linea di geofoni associata corrisponde all'identificativo della geometria della stesa geofonica definita nella sezione precedente.

Importazione di tempi di arrivo (travel times) da altri software

SmartTomo usa un formato strutturato (OTTE – Open Travel Times Exchange) per importare ed esportare i tempi dei primi arrivi e la geometria della stesa sismica.

Insieme a smartTomo viene installato un tool chiamato "Convert2smarttomo" per convertire da altri formati i tempi di arrivo al formato OTTE per essere importati in smartTomo.



Convert2smartTomo main windows

La finestra principale dell'applicazione Convert2smarttomo è suddivisa in tre schede corrispondenti a diverse tipologie di conversione.

51.5172;50.2724;49.0542;47.9083;47.2145;46.9082;44.8764;41.6945;39.6001;38.1566;36.5511;34.9243;33.2745;31.6092;29.9313;28.2405;26.538;23.2492;14.7746;5.72389;5.72389;14.7746;23.2492;26.538;

Opzioni di visualizzazione

Prodotti dell'inversione tomografica

SmartTomo, presenta diverse modalità di visualizzazione dei risultati:

- Sezione tomografica: visualizzazione della distribuzione della velocità nel sottosuolo;
- Gradiente verticale: rappresentazione della variazione di velocità lungo la verticale; utile per individuare discontinuità;
- Gradiente verticale pesato (novità 2022.1): rappresentazione della variazione di velocità lungo la verticale pesata rispetto alla profondità;
- Laplaciano: mette in risalto la variazione di velocità omnidirezionale;
- Densità di informazione: rappresenta quanto sia significativa l'inversione di velocità in base alla densità dei raggi sismici;
- Attenuazione: rappresenta l'attitudine dei materiali a attenuare il segnale sismico, terreni sciolti e rocce molto alterate presentano valori più alti;
- Q-Factor: indica grossolanamente la qualità dei materiali, è inversamente proporzionale all'attenuazione e direttamente proporzionale alla velocità, valori più alti indicano materiali migliori

Tutte le visualizzazioni possono essere rappresentate con differenti stili. Nella seguente tabella sono riportate le modalità relative al profilo di velocità e al gradiente verticale di velocità.

Dal menu Vista si accede alle diverse modalità e opzioni di visualizzazione.

<p align="center">Profilo di velocità</p>	<p align="center">Gradiente verticale di velocità</p>
<p align="center">Profilo con linee di isovelocità</p>	<p align="center">Gradiente con linee di isovelocità</p>
<p align="center">Profilo con raggi sismici</p>	<p align="center">Gradiente con raggi sismici</p>
	<p align="center">NA</p>
<p align="center">Profilo con linee di isovelocità riempite con campitura solida</p>	

Gradiente verticale, gradiente verticale pesato, laplaciano

SmartTomo mette a disposizione tre modalità differenti per mettere in evidenza l'andamento della velocità delle onde sismiche nel sottosuolo ed in particolare le sue anisotropie: il gradiente verticale, il gradiente verticale pesato ed il laplaciano.

Gradiente verticale.

L'immagine del gradiente verticale è la rappresentazione grafica del valore della funzione:

$$\nabla V_z = \frac{\delta V}{\delta z}$$

considerando la direzione z come la profondità della sezione tomografica e V il campo di velocità.

Questa rappresentazione mette in risalto le variazioni di velocità verticali lungo il profilo consentendo di mettere in risalto le variazioni di velocità rispetto alla profondità. Valori positivi indicano un aumento della velocità con la profondità, al contrario valori negativi indicano una situazione di inversione di velocità. L'utilizzo di palette tricromatiche, ad esempio blu-bianco-rosso permettono di apprezzare maggiormente i dettagli espressi dal gradiente verticale.

Gradiente verticale normalizzato

- Tomographic Profile - Normalized Vertical Gradient - RMSE 1.269332 %

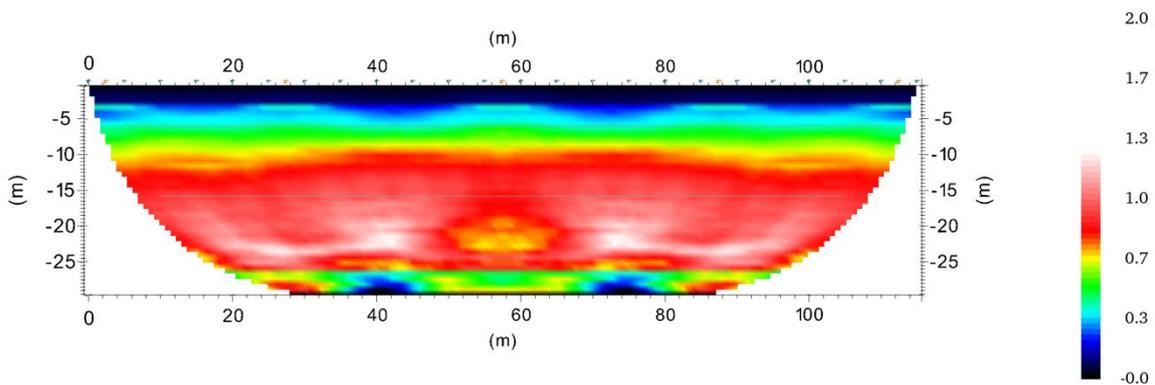


Figura 26 Profilo del gradiente verticale di velocità normalizzato. I valori più alti del gradiente individuano le zone con un maggiore aumento di velocità.

La visualizzazione del gradiente verticale normalizzato rappresenta il grafico della seguente funzione:

$$z * \frac{\partial V}{V \partial z}$$

considerando la direzione z come la profondità della sezione tomografica e V il campo di velocità.

Questa rappresentazione è adimensionale e mette in risalto i contrasti di velocità pesandoli rispetto alla profondità. Il passaggio tra materiali lenti a materiali più veloci è bene individuato da un repentino aumento del valore della funzione.

Laplaciano

Il laplaciano di un'immagine bidimensionale è definito come:

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$$

In cui V rappresenta il campo di velocità e z la direzione corrispondente alla profondità nel profilo.

In una distribuzione di valori discreta, come nel caso di un'immagine tomografica il valore del laplaciano viene calcolato considerando il valore assunto dai pixel adiacenti a quello centrale secondo questo schema:

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Il laplaciano è quindi calcolato sottraendo i valori assunti intorno al punto centrale con otto volte il valore assunto nel punto centrale.

Il laplaciano mette in evidenza i punti in cui c'è una maggiore variazione di velocità mettendo in evidenza i salti netti di velocità. Le caratteristiche messe in evidenza dal laplaciano possono essere messe in risalto dall'utilizzo di una palette in scala di grigi.

Densità di informazione

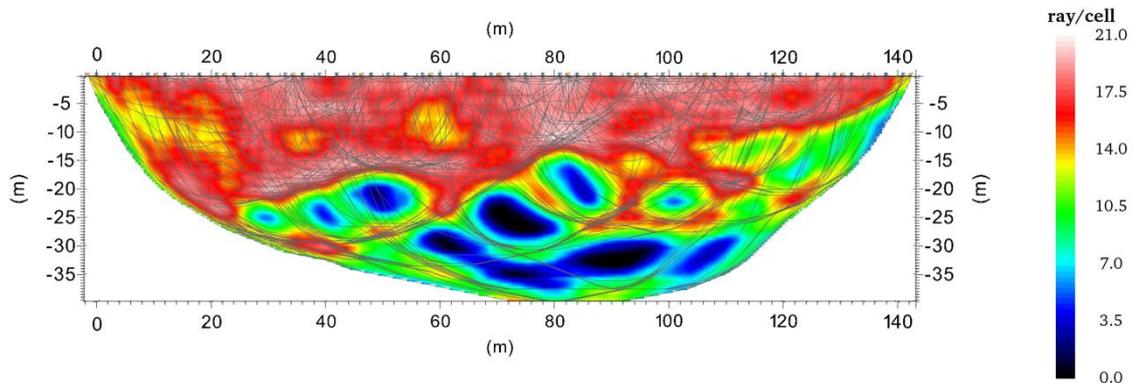


Figura 27 Esempio di profilo rappresentante la densità di informazione

Il profilo della densità di informazione è la rappresentazione di quanti raggi sismici attraversano ciascuna cella. Questa informazione consente di valutare quanto il profilo tomografico sia stato condizionato dai dati misurati. Le porzioni caratterizzate da una maggiore densità di raggi sismici sono le aree dove la soluzione è stata calcolata usando un maggior numero di vincoli. Al contrario dove è bassa o uguale a zero significa che il profilo risultante è stato determinato usando un basso numero di condizioni o corrisponde modello iniziale senza aver ricevuto aggiornamenti.

Può essere visualizzato con i raggi in sovrapposizione, oppure con le isolinee di velocità se già visualizzate su una vista precedente.

Gestione della palette di colori

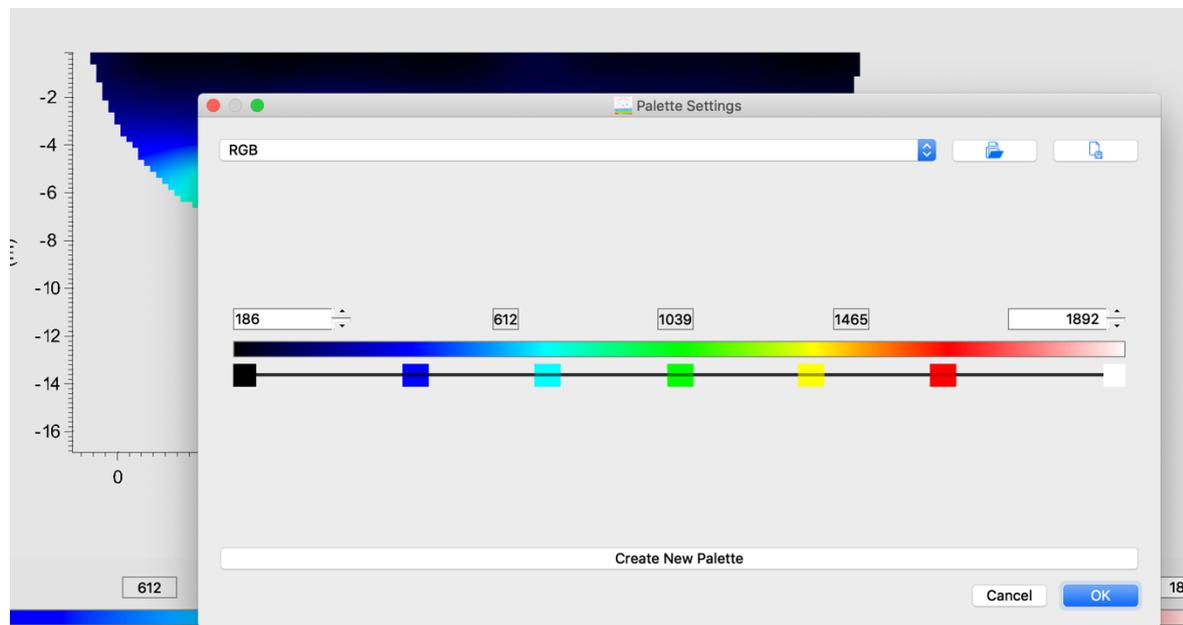


Figura 28 Finestra di dialogo per scegliere la palette

La porzione inferiore della vista della tomografia contiene la visualizzazione della tavolozza di colori attuale dove è possibile impostare manualmente i valori massimi e minimi di velocità. Se si imposta un valore di velocità minimo maggiore della velocità minima della sezione, tutte le celle aventi una velocità inferiore a quella impostata saranno colorate con il colore uguale a quello minimo.

La sezione, inizialmente, viene rappresentata con la tavolozza chiamata RGB che rappresenta una sfumatura di colori dal nero al bianco passando da blu, verde e rosso. La tavolozza può essere scelta tra le differenti tavolozze già disponibili nel software oppure è possibile crearne una nuova modificandone una esistente.

Modifica tavolozza		
Da menu: Vista/Tavolozza	Da tastiera:	Da toolbar: 

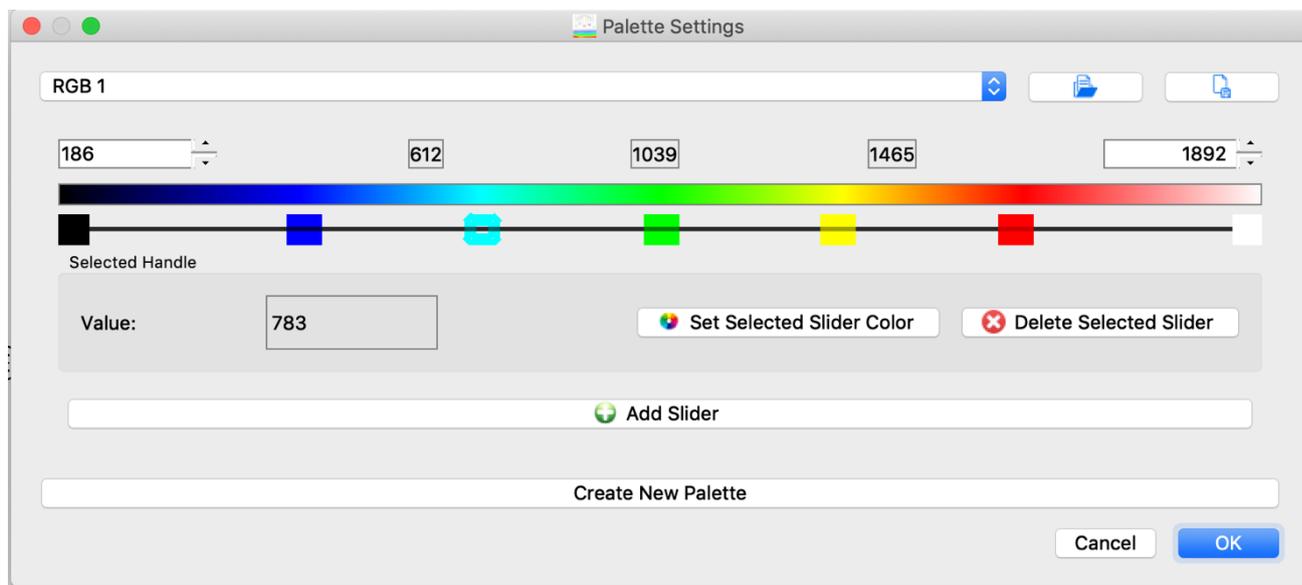


Figura 29 Personalizzazione della palette. Notare i due pulsanti per caricare e salvare una palette personalizzata.

Nella finestra di dialogo delle opzioni della tavolozza cliccando su *Crea nuova tavolozza* la tavolozza attuale viene resa modificabile. Al di sotto della barra colorata è presente uno slider con differenti maniglie. Ad ogni maniglia corrispondere un valore di velocità ed un colore. La tavolozza risultante è la sfumatura lineare dei colori associati a ciascuna maniglia. È possibile aggiungere e rimuovere tutte le maniglie ad esclusione di quelle corrispondenti ai valori minimo e massimo.

RIQUADRO – CONSIDERAZIONI SULLE TAVOLOZZE DI COLORI

A partire dalla versione 2019.2 sono state introdotte due nuove tavolozze di colori:

- silva viridis;

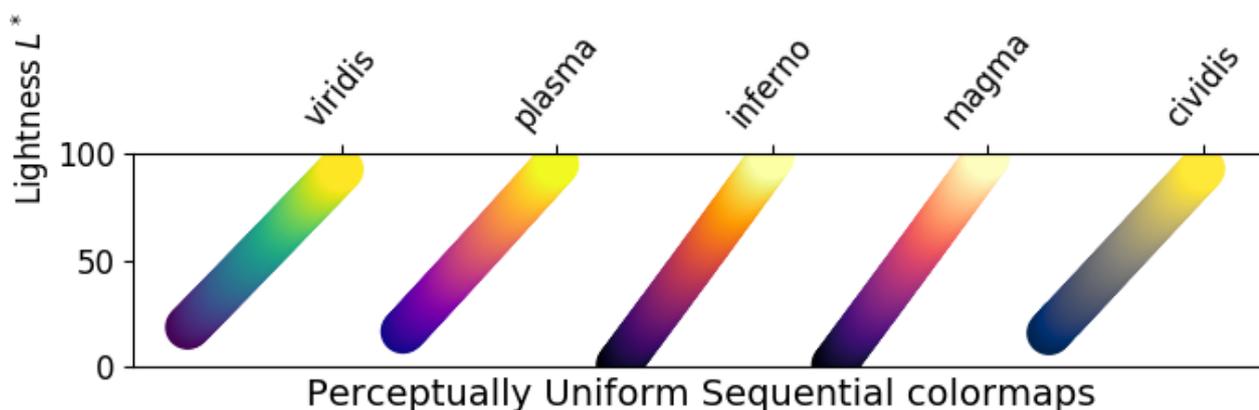


- vulcanic magma;



Queste due palette che derivano da ambienti di analisi statistica e di visualizzazione dati (R e Matplotlib), hanno la caratteristica di essere omogenei nella percezione visiva senza presentare salti di luminosità netti che alterano la percezione del dato. Sono accessibili a persone daltoniche.

RIQUADRO – CONSIDERAZIONI SULLE TAVOLOZZE DI COLORI



Una buona fonte di informazioni sulla scelta della tavolozza di colori è rappresentata dalla seguente pagina da cui è stato estratto il grafico precedente. (<https://matplotlib.org/3.1.0/tutorials/colors/colormaps.html>)

Visualizzazione isolinee

Mostra isolinee

Da menu:

Vista/Mostra isolinee

Da tastiera:

-

Da toolbar:



Selezionando l'apposita voce dal menu viene aperta la finestra di dialogo delle opzioni relative alla visualizzazione delle isolinee e del gradiente di velocità. Le opzioni disponibili sono divise in due parti. Nella parte superiore sono presenti le opzioni di visualizzazione delle isolinee mentre nella parte inferiore è presente la scelta della modalità di visualizzazione.

Le isolinee possono essere impostate a valori (di velocità o altro) definiti dall'utente oppure ad intervalli uguali impostandone il numero. La visualizzazione può essere con un gradiente continuo di colore oppure con le isolinee piene con un colore solido.

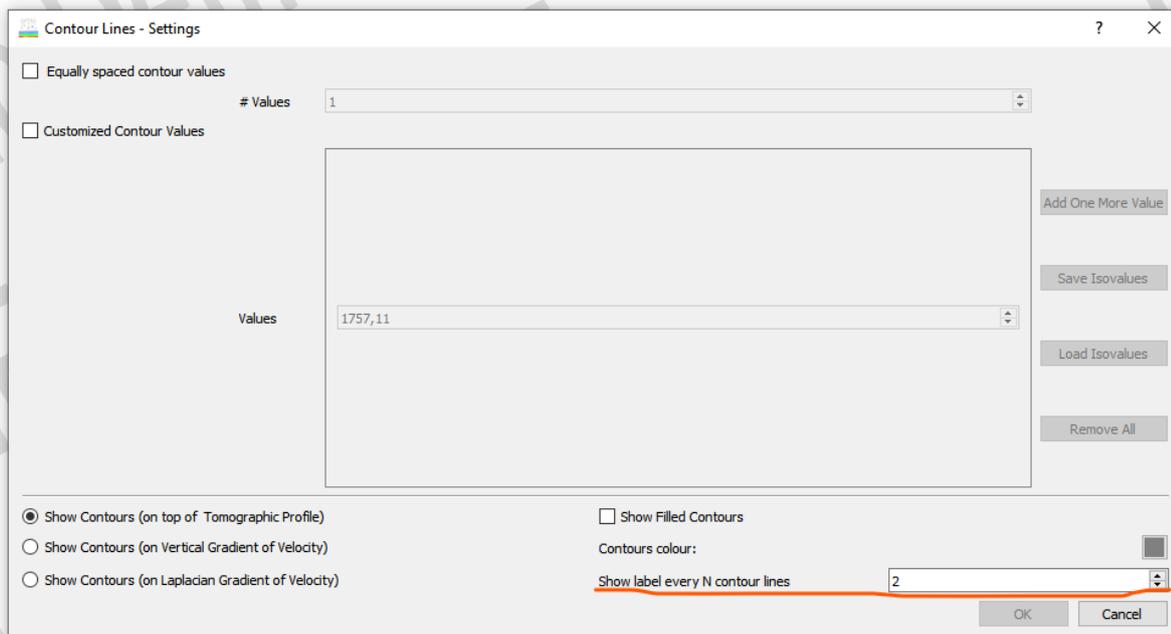


Figura 30 Finestra per la visualizzazione delle isolinee, con evidenziata la possibilità di scegliere ogni quante isolinee stampare il valore e la dimensione del carattere dell'etichetta applicata alle linee.

Le isolinee vengono calcolate e visualizzate rispetto alla variabile visualizzata nel profilo:

- profilo di velocità, gradiente verticale e lapaciano: le isolinee vengono calcolate e disegnate rispetto alla velocità;
- profilo di densità di informazione: le linee di livello rappresentano linee di uguale densità di informazione
- profilo di attenuazione: le isolinee saranno calcolate e disegnate rappresentando linee di uguale attenuazione;
- profilo del fattore Q (Q Factor): le isolinee rappresentano linee di uguale Q-Factor.

Rispetto alle versioni precedenti le isolinee visualizzate si adeguano al tipo di dato visualizzato nel profilo.

Titolo del progetto

È possibile visualizzare il titolo del progetto. Verranno visualizzati il titolo della sezione, il nome della vista e l'errore medio nella parte alta della vista.

Imposta il titolo		
Da menu: Progetto/Imposta titolo	Da tastiera: ctrl + T	Da toolbar: 

Visualizza linee della griglia

Dal menu vista si può selezionare l'opzione mostra griglia per visualizzare in sovrapposizione le linee parallele agli in corrispondenza delle tacche principali.

Esportazione dei risultati

I risultati dell'elaborazione possono essere salvati sia come griglia numerica sia come documenti e immagini e come file KML.

Esportazione della griglia di velocità.

Esportazione griglia di velocità		
Da menu:	Da tastiera:	Da toolbar:
File/Esporta griglia di velocità	-	-

L'esportazione della griglia di velocità permette di salvare un file testuale formattato in colonne separate da uno spazio. Per ogni cella vengono salvate le coordinate del centro e la velocità di ciascuna cella. Se la sezione sismica è stata georiferita le coordinate del centro della cella saranno espresse in accordo con le coordinate inserite nella stesa (codice EPSG). Questo formato può essere usato per essere caricato in visualizzatori esterni.

Esportazione profilo verticale medio di velocità.

Esportazione profilo verticale della velocità media		
Da menu:	Da tastiera:	Da toolbar:
File/Esporta profilo medio velocità	-	-

Questa funzione esporta un profilo verticale della velocità media con un intervallo pari allo spessore delle celle. Il risultato è un file di testo con diverse colonne: profondità, velocità media, minima e massima.

Esportazione immagini		
Da menu:	Da tastiera:	Da toolbar:
File/Esporta/Immagini	-	-

Esportazione di immagini (png).

L'esportazione di immagini permette di scegliere attraverso l'apposita finestra di dialogo quale oggetto esportare. Si può definire un prefisso per il nome del file che verrà anteposto al nome dell'oggetto esportato (ad esempio Figure_profile.png sarà il nome del file contenente il profilo)

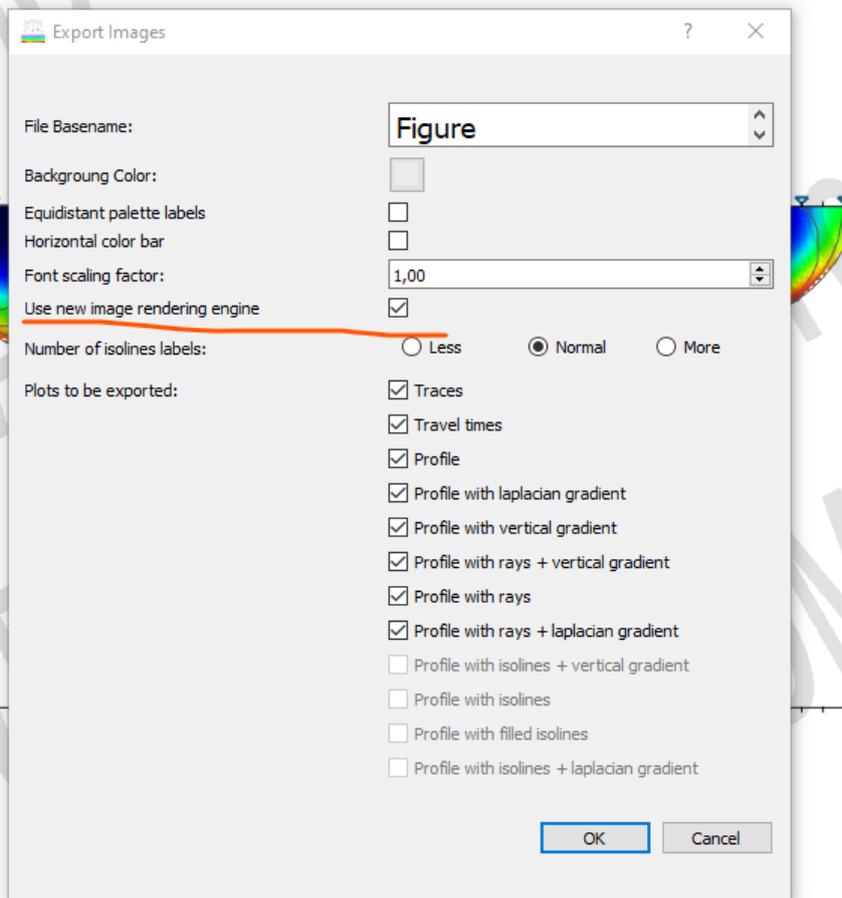


Figura 31 Finestra di esportazione delle immagini. È possibile scegliere cosa esportare e se posizionare le etichette della tavolozza di colori ad intervalli regolare o riportare la posizione delle maniglie della tavolozza. Il parametro di scala del carattere permette di scalare la dimensione del carattere in nelle immagini salvate.

Dalla versione 2020.0 è inserita la possibilità di scegliere se usare il nuovo motore grafico per esportare le immagini oppure quello precedente. Il nuovo motore grafico permette di esportare la sezione massimizzata. Su alcuni hardware potrebbe risultare a bassa risoluzione. In quei casi si consiglia di usare il vecchio motore grafico disabilitando l'opzione oppure utilizzare la funzione di cattura della schermata.

Si consiglia di prendere in considerazione anche il salvataggio dello screenshot che permette di ottenere una copia esatta di quanto visualizzato a schermo. Il risultato dell'esportazione delle immagini può variare a seconda del hardware video.

Esportazione in un documento (PDF/ODT)

Esportazione PDF		
Da menu: File/Esporta/PDF	Da tastiera: -	Da toolbar: -

Esportazione documento di testo		
Da menu: File/Esporta/ODT	Da tastiera: -	Da toolbar: -

È possibile esportare tutti gli elementi grafici in un unico file PDF.

È possibile esportare tutti gli elaborati grafici impaginati all'interno di un documento ODT (apribile, ad esempio, con il software opensource LibreOffice della Free Document Foundation). Il documento contiene anche una tabella che riassume tutti i tempi dei primi arrivi misurati e ricostruiti nella tomografia.

Esportazione in file KML

È possibile esportare il profilo tomografico e la geometria della stesa in un file KML. Per esportare in un file KML è necessario che sia impostata la posizione geografica del primo e ultimo geofono unitamente al codice EPSG. (cfr. Georeferenziazione della stesa sismica.)

Il file KML può essere visualizzato in ambienti come Google Earth e consente di visualizzare più stese sismiche insieme.

Esportazione KML		
Da menu: File/Esporta/KML	Da tastiera: -	Da toolbar: -

INTERFACCIA GRAFICA

Menu

File	
Nuovo	
Apri	
Importa tempi di percorso (OTTE)	
Esporta tempi di percorso (OTTE)	
Esporta:	
Dati grigliati	
Profilo di velocità media	
KML:	
Linea sismica	
Profilo tomografico	
- Immagini	
- PDF	
- ODT	

Progetto	
Geometria e file	
Griglia	
Coordinate geografiche	
Imposta titolo	

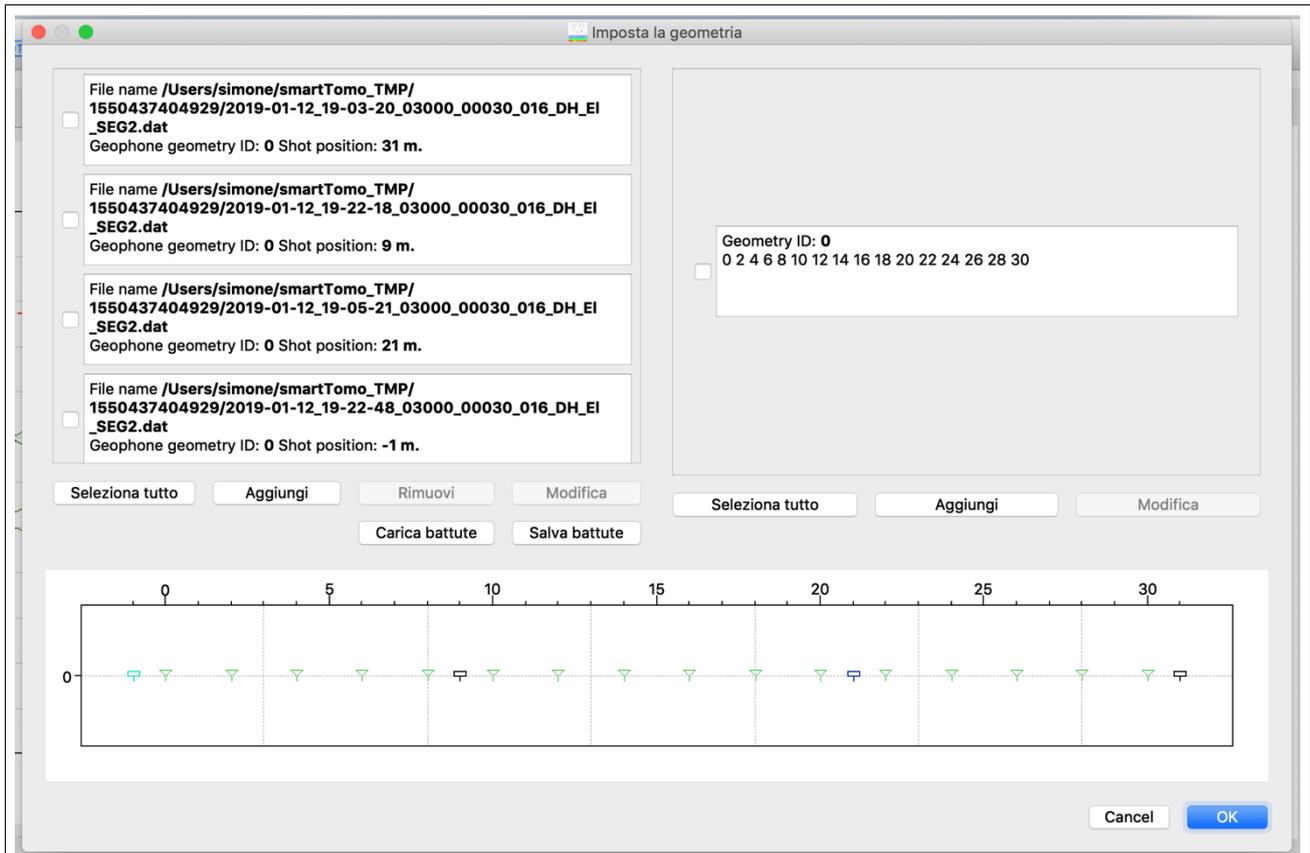
Tracce	
Successiva	

	Crea un nuovo progetto. Se un progetto è già aperto lo chiude chiedendo se si vogliono salvare le modifiche.
	Apri un progetto salvato. Se un progetto è già aperto lo chiude chiedendo se si vogliono salvare le modifiche.
	Salva il progetto presente.
	Esporta la schermata attuale come immagine (PNG).
	Esporta come immagini (PNG) gli output grafici disponibili nel progetto corrente. Apre una finestra di dialogo da cui è possibile scegliere gli elementi da salvare.
	Esporta come PDF gli output grafici disponibili nel progetto corrente.
	Esporta un ODT contenente gli output grafici e una tabella contenente il riepilogo delle dromocrone.
	Visualizza la traccia precedente
	Visualizza la traccia successiva
	Zoom – dropdown menu
	Ingrandisce le tracce lungo l'asse del tempo
	Riduce le tracce lungo l'asse del tempo
	Ingrandisce l'ampiezza delle tracce
	Diminuisce l'ampiezza delle tracce
	NoRe – Rimozione adattiva del rumore dalle tracce
	Esegue il picking automatico dei primi arrivi. Se ci sono già dei primi arrivi selezionati verranno modificati
	Apri il dialogo per l'avvio della tomografia sismica.
	Apri il dialogo per la selezione della tavolozza di colori per visualizzare la sezione tomografica.

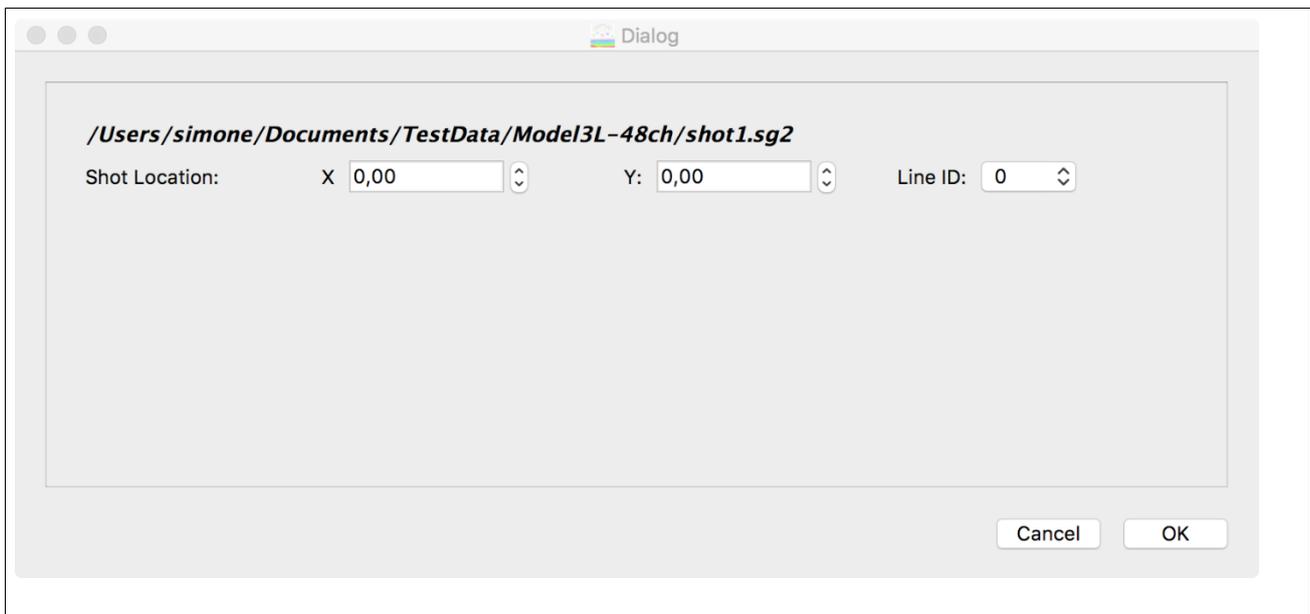


Visualizza la finestra di dialogo per la visualizzazione delle isolinee

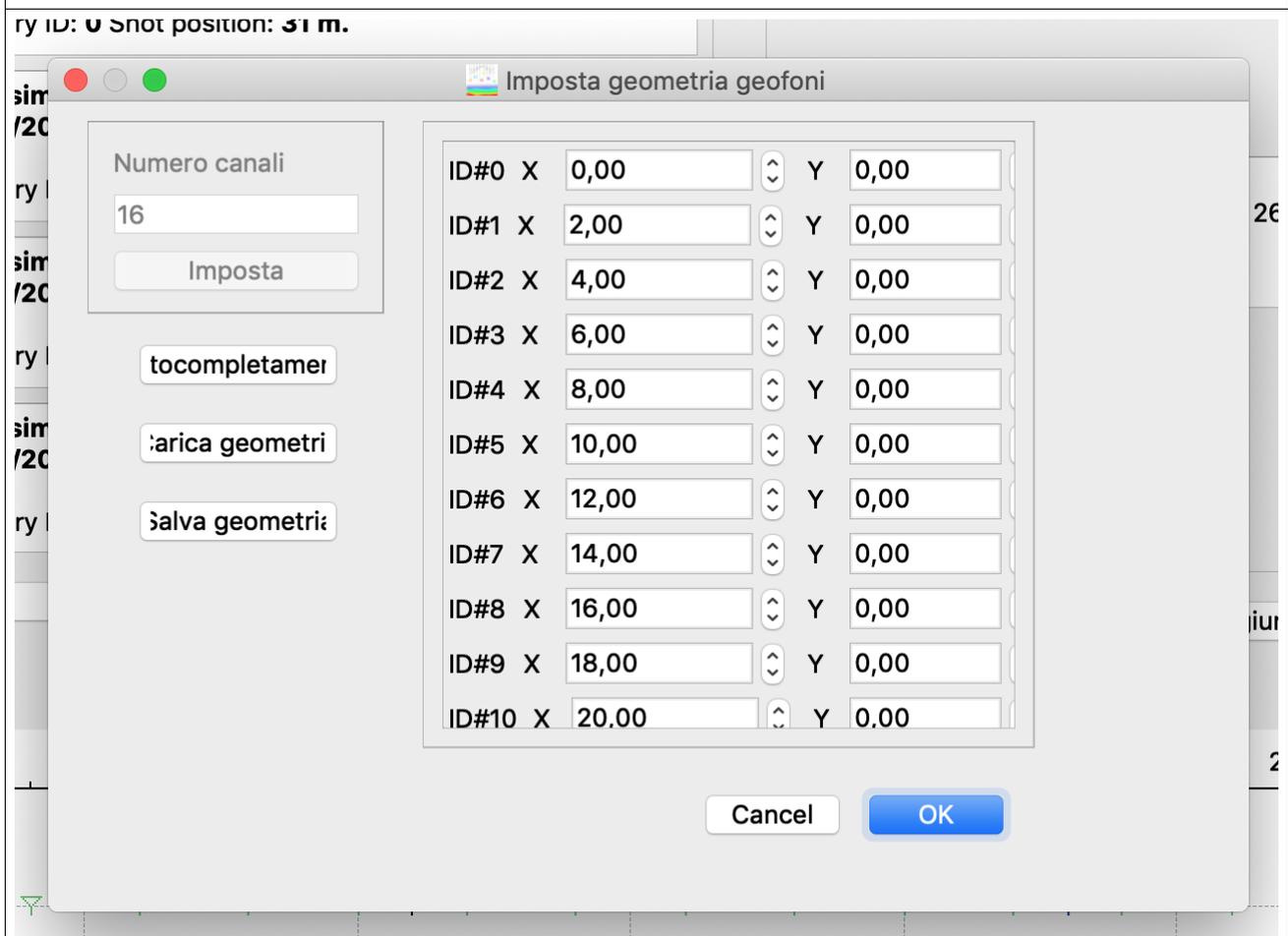
Finestre di dialogo



Finestra di dialogo per l'editing della geometria delle energizzazioni, dei geofoni, per caricare o rimuovere file delle registrazioni sismiche dal progetto. Sulla sinistra sono elencati i file caricati. In ogni riquadro è indicato il percorso del file originale, il numero della geometria di riferimento e la posizione dell'energizzazione di riferimento.

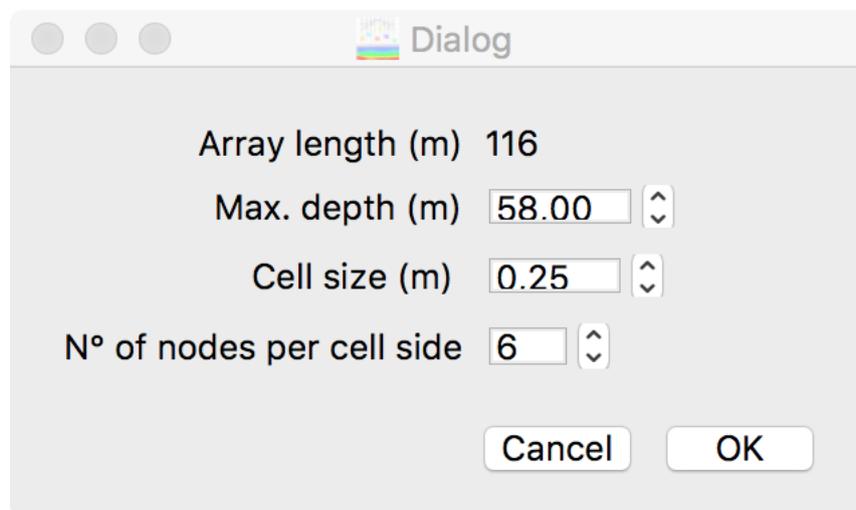


Finestra di dialogo per l'editing delle informazioni di ogni file delle tracce sismiche. E' possibile modificare il posizionamento dell'energizzazione ed il riferimento alla geometria dei geofoni.



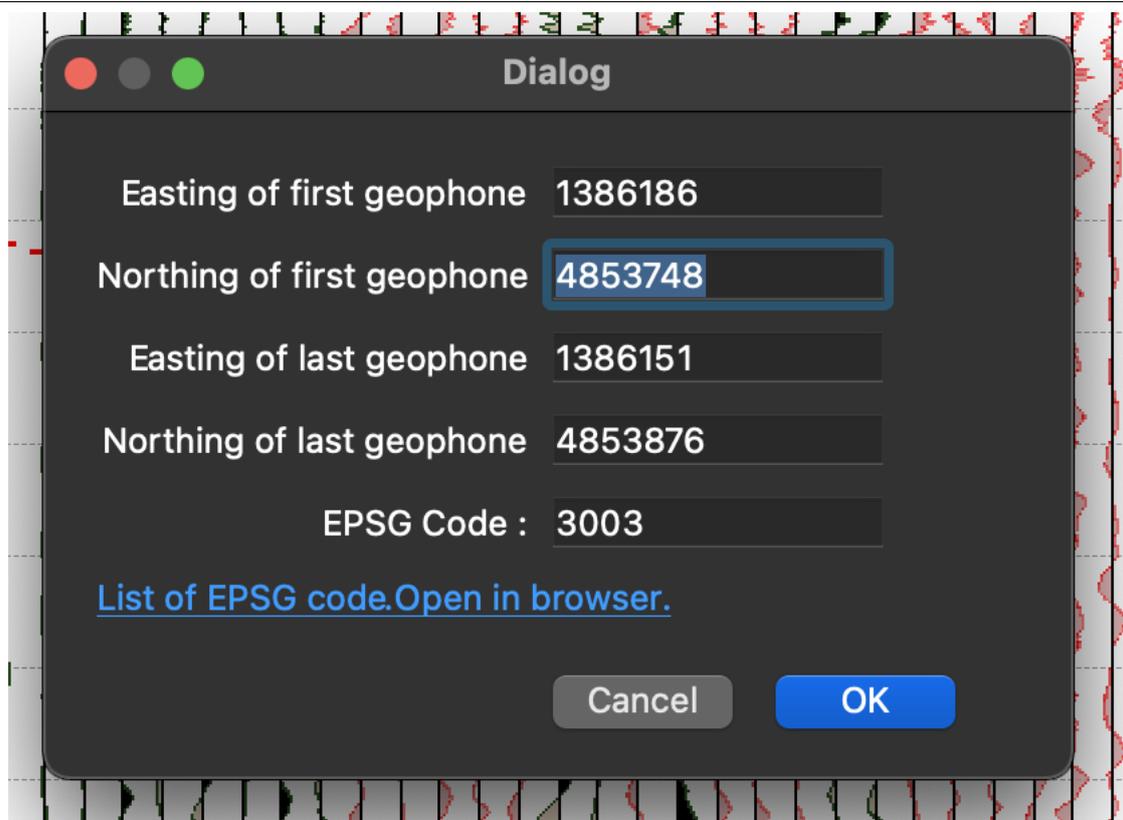
Finestra di dialogo per l'editing della posizione dei geofoni. E' possibile effettuare l'editing manuale di ciascun valore oppure impostare i primi due valori e premendo **Autocompletamento** tutti i

rimanenti campi verranno riempiti con il medesimo passo esistente tra i primi due. Carica e salva geometria rispettivamente leggono e scrivono la geometria su un file CSV.



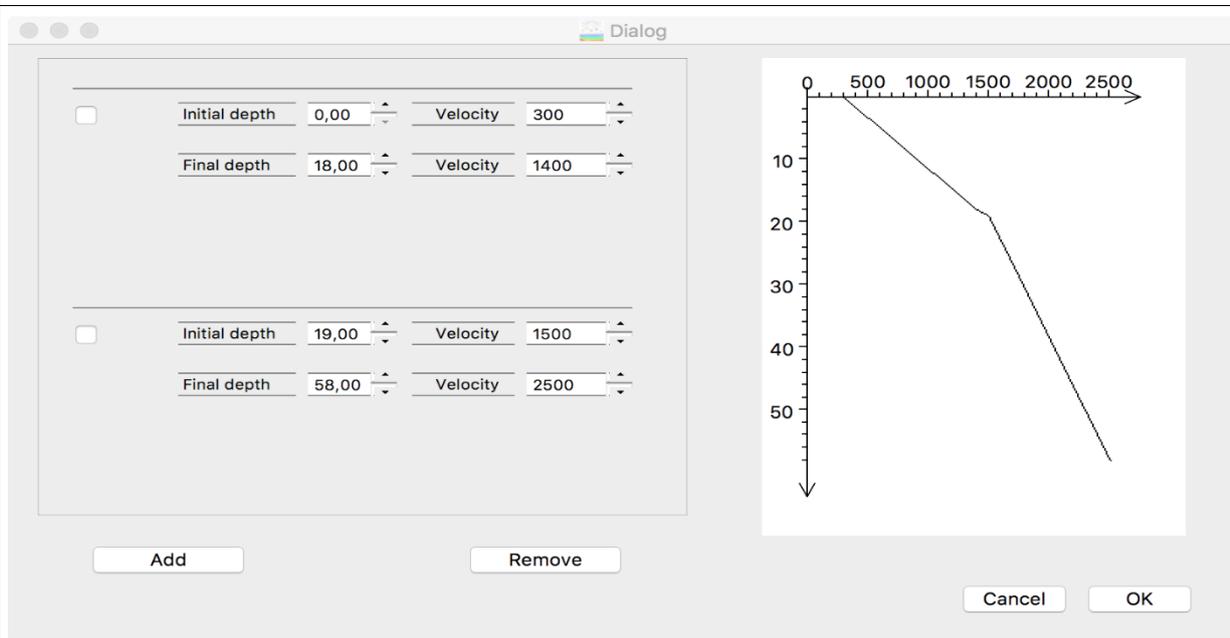
A screenshot of a 'Dialog' window with a light gray background. It contains four input fields with labels and values: 'Array length (m)' with value '116', 'Max. depth (m)' with value '58.00', 'Cell size (m)' with value '0.25', and 'N° of nodes per cell side' with value '6'. Each of the last three fields has a small up/down arrow icon to its right. At the bottom right, there are two buttons: 'Cancel' and 'OK'.

Finestra di dialogo per impostare i parametri della griglia di calcolo. La profondità massima (Max. depth) è impostata in automatico a metà della lunghezza della stesa. La dimensione della cella (cell size) di calcolo è la lunghezza del lato della cella, si raccomanda che la distanza intergeofonica sia almeno il doppio del lato della cella.

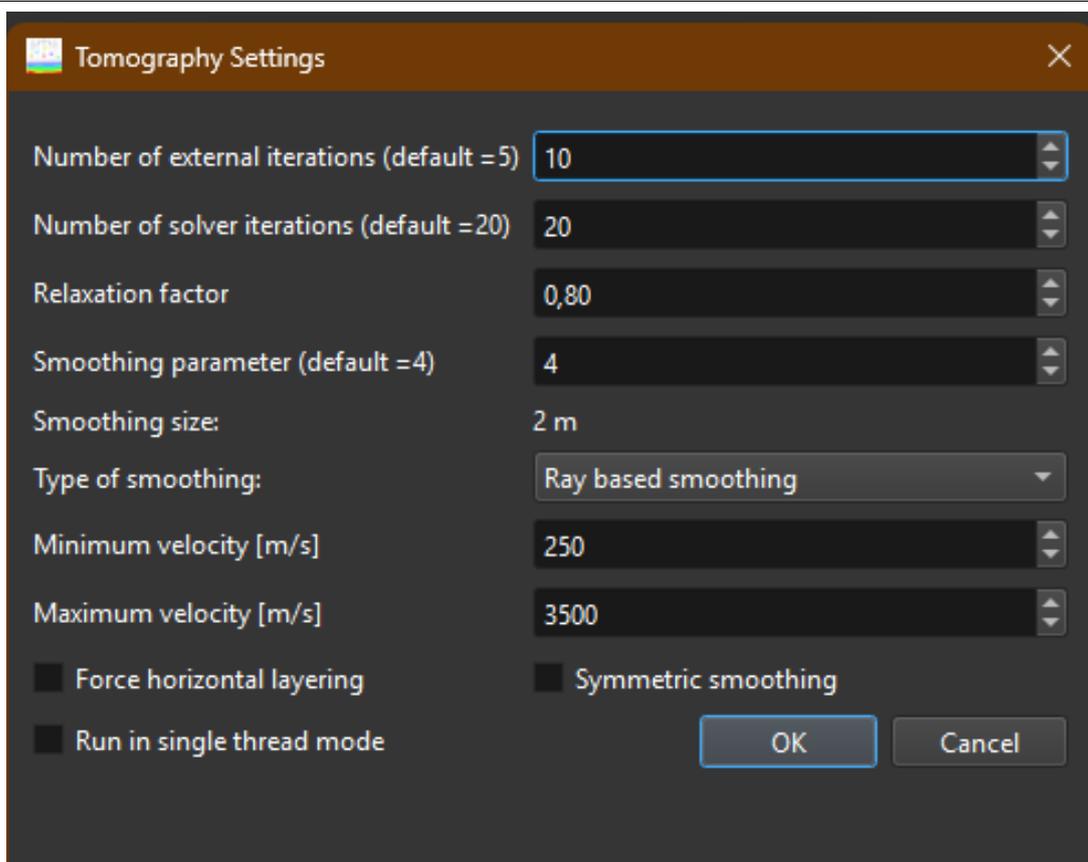


A screenshot of a 'Dialog' window with a dark gray background. It contains four input fields with labels and values: 'Easting of first geophone' with value '1386186', 'Northing of first geophone' with value '4853748', 'Easting of last geophone' with value '1386151', and 'Northing of last geophone' with value '4853876'. Below these is a field for 'EPSG Code : 3003'. At the bottom left, there is a blue hyperlink: '[List of EPSG code.Open in browser.](#)'. At the bottom right, there are two buttons: 'Cancel' and 'OK'.

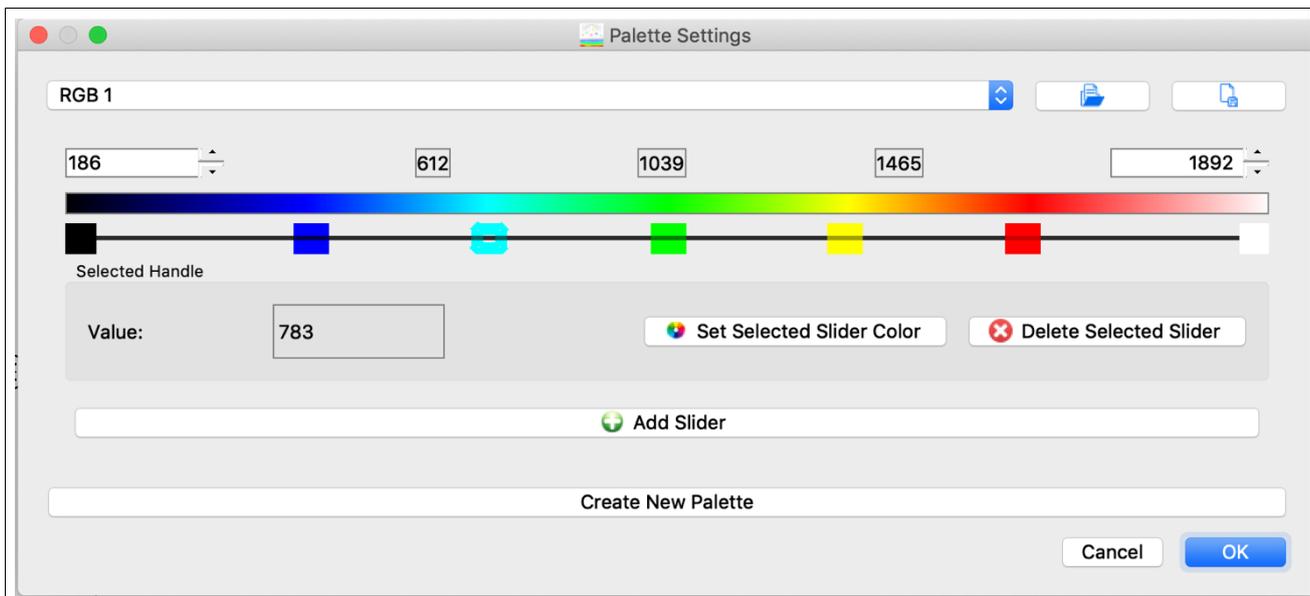
Finestra di dialogo per impostare le coordinate geografiche del primo e dell'ultimo geofono. I geofoni intermedi vengono posizionati lungo la linea congiungente il primo e l'ultimo. Il codice EPSG individua il sistema di coordinate utilizzato ed è indispensabile per poter esportare in KML il profilo.



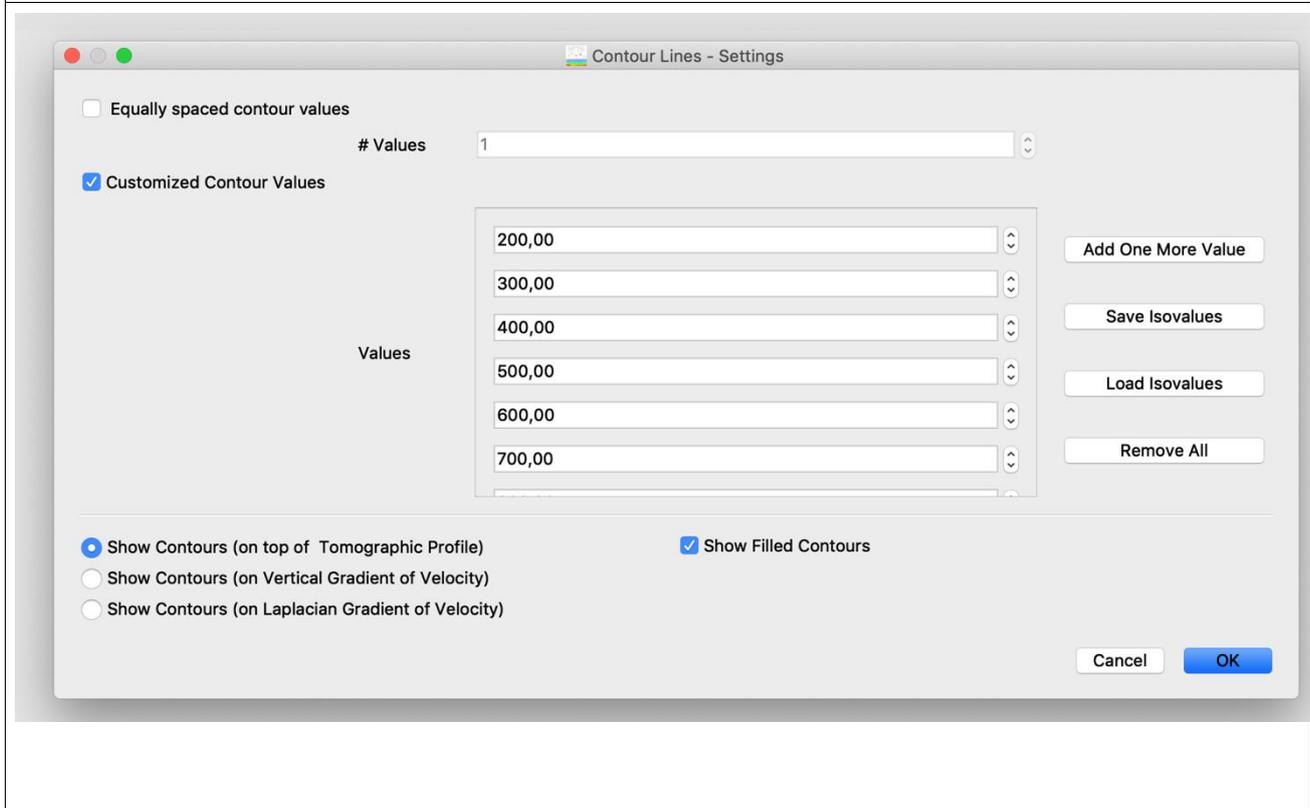
Finestra di dialogo per impostare il modello iniziale di velocità. Gli strati sono definiti da una profondità iniziale e una profondità finale caratterizzate ciascuna da una velocità. Tra la velocità iniziale e finale e tra gli strati la velocità è interpolata linearmente. Gli strati possono non essere definiti in modo continuo.



Finestra di dialogo per avviare l'inversione tomografica. Vengono richiesti cinque parametri. Il numero di cicli esterni (External iterations) è il numero di volte in cui il risolutore ricalcola il percorso dei raggi sismici sul modello di velocità aggiornato. Il numero di cicli del risolutore (solver iterations) indica quante volte viene ottimizzato il nuovo modello di velocità mantenendo invariati il percorso dei raggi. Il parametro di smoothing è il numero di celle intorno al punto centrale che vengono usate per mediare e distribuire il modello di velocità aggiornato. Dalla versione 2024 viene riportato anche il valore in metri corrispondente al parametro di smoothing impostato. Lo smoothing di default è asimmetrico e ha come obiettivo di dare maggiore continuità alle strutture sub-orizzontali. La velocità massima e velocità minima (maximum e minimum velocity) rappresentano i limiti di velocità della sezione tomografica. I valori all'esterno vengono modificati assegnandogli il valore del limite più vicino. La tomografia normalmente viene eseguita utilizzando tutti i thread a disposizione salvo mettere la spunta all'opzione Run in single thread mode.



Finestra di dialogo per selezionare la tavolozza di colori della sezione tomografica. E' possibile scegliere tra delle palette predefinite oppure modificarne una già esistente. Modificando una tavolozza è possibile spostare la posizione dei punti a cui è assegnato il valore così come aggiungerli o rimuoverli. Lo stesso strumento di modifica è presente nella finestra principale al di sotto della sezione tomografica consentendo di visualizzare in tempo reale gli aggiornamenti sulla tavolozza.



Finestra di dialogo per personalizzare la sezione disegnando le linee di isovelocità. E' possibile scegliere se definire il numero di isolinee posizionate ad ugual distanza o a valori definiti. Inoltre, è possibile definire se visualizzare le isolinee riempite con un colore uniforme oppure se visualizzare le isolinee sovrapposte al gradiente verticale di velocità.

T-x curves
Phantoming
tV/tG
Velocity/Profile

Travel times

time (ms)

(m)

*

1

2

3

Build profiles

ID 1 X: 15 m Visible Enabled

Shifting: ms

ID 2 X: 30 m Visible Enabled

Shifting: ms

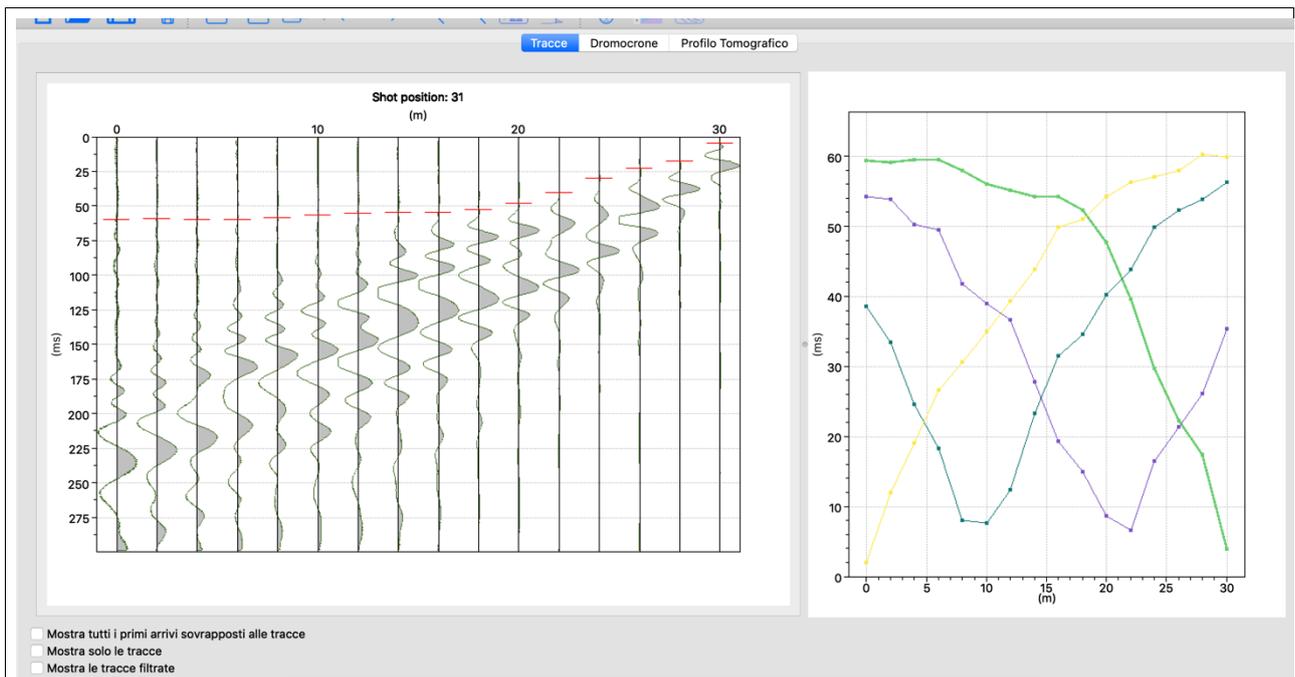
ID 3 X: 45 m Visible Enabled

Shifting: ms

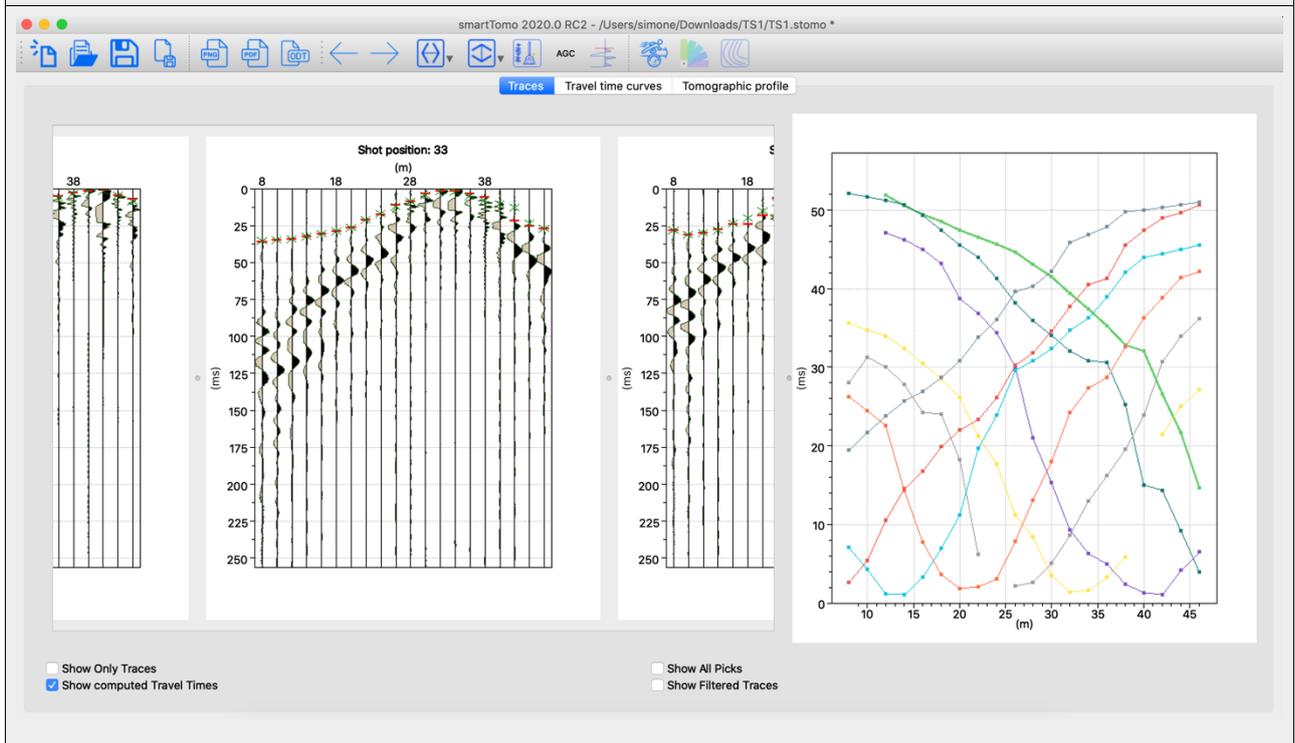
ID 4 X: 60 m Visible Enabled

Finestra di dialogo per l'elaborazione della rifrazione. La lista in alto permette di selezionare a che strato far corrispondere il gruppo di dromocrone che verranno selezionate sul grafico a sinistra.

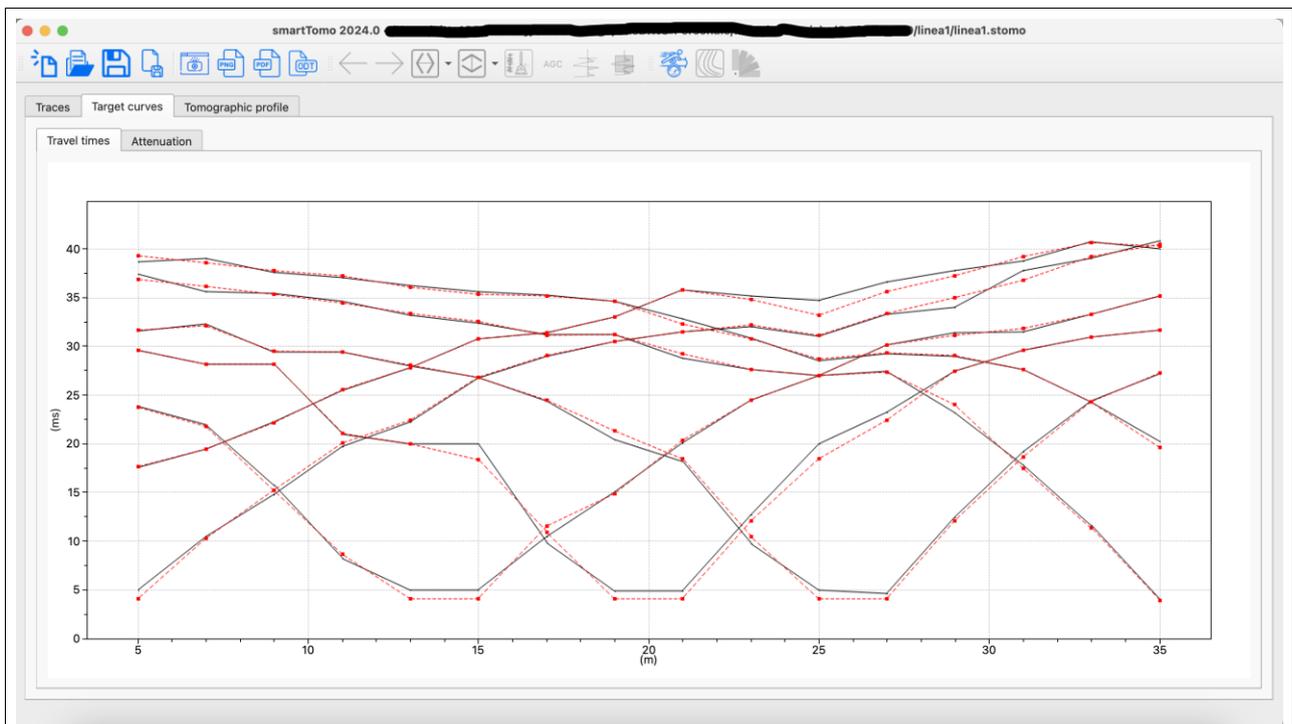
Finestra principale



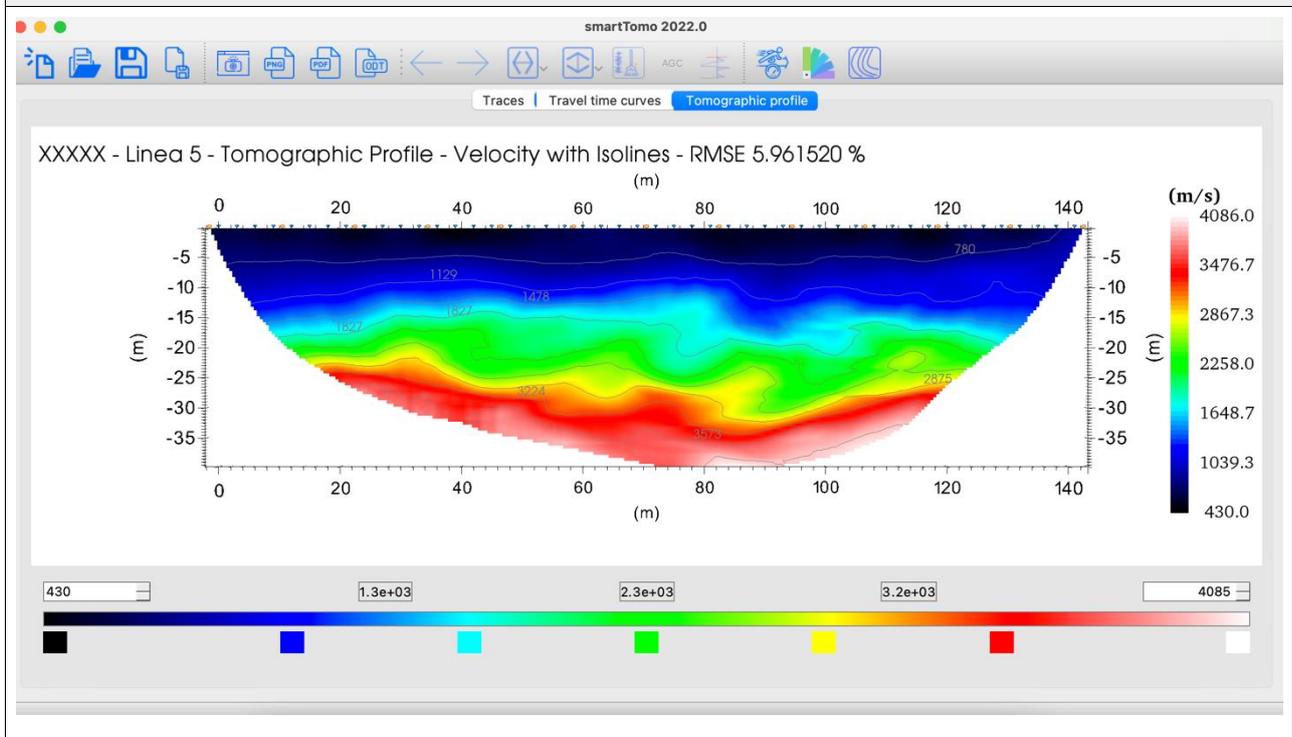
Visualizzazione delle tracce ed anteprima delle dromocroni.



Visualizzazione delle tracce ed anteprima delle dromocroni nella modalità di visualizzazione delle tracce affiancata.



Visualizzazione delle curve obiettivo. Questa finestra presenta il fitting tra le curve misurate (linea continua) e quelle calcolate durante l'elaborazione (linea tratteggiata). Più le due linee sono sovrapposte e più il modello calcolato è fedele con quello misurato. Questa schermata è il punto migliore per valutare eventuali problematiche di fitting dovute a velocità minime o massime impostate in modo errato.



Visualizzazione della sezione tomografica con le isolinee di uguale velocità. Questa vista è personalizzabile con differenti opzioni

Indice delle figure

Figura 1 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella. Aumentando il numero di nodi aumenta il dettaglio e la precisione nel percorso dei raggi sismici ma aumenta anche l'uso di memoria.	4
Figura 2 Schema geometrico del metodo Generalized reciprocal method (GRM). A e B rappresentano punti di battuta, G,X,Y geofoni. D la proiezione del geofono G sul rifrattore. $V_1 < V_2$	7
Figura 3 Splashscreen con la finestra di dialogo di scelta della lingua	11
Figura 4 Finestra di dialogo per l'impostazione delle preferenze;	12
Figura 5 Finestra di selezione dei file sismici	14
Figura 6 Finestra di editing della geometria della linea sismica.....	14
Figura 7 Finestra di impostazione della geometria con le opzioni di caricamento da file....	15
Figura 8 Impostazione della geometria. Sulla destra è elencata una sola linea di geofoni ..	19
Figura 9 Nel riquadro dei geofoni sono presenti 2 gruppi di geofoni. Il primo (ID 0) con coordinate da 30 a 60 e il secondo (ID 1) da 0 a 30.....	19
Figura 10 Finestra di dialogo in cui è possibile impostare la geometria dell'energizzazione e la linea dei geofoni cui l'acquisizione fa riferimento.....	20
Figura 11 Parametri della griglia	20
Figura 12 Finestra di dialogo per impostare le coordinate degli estremi della stesa	22
Figura 13 Finestra di applicazione dei filtri. Selezionando sia il filtro passa alto che passa basso viene applicato un filtro passa banda	23
Figura 14 Finestra di dialogo per visualizzare e modificare i tempi di arrivo.....	24
Figura 15 Finestra di dialogo per impostare la dimensione della finestra di campionamento della intensità del segnale	26
Figura 16 Sulla sinistra sono visualizzate le finestre di campionamento (porzione evidenziata in verde) del segnale per il calcolo dell'intensità. Sulla destra il grafico dell'intensità rispetto alla posizione dei geofoni.	27
Figura 17 Impostazioni dei parametri di esecuzione della tomografia.....	28
Figura 18 Esempio di assegnazione dei sismostrati ai primi arrivi in una elaborazione a rifrazione	32
Figura 19 <i>The yellow spot highlights where wrong shot position is; the computed travel times (red dotted line) has a flat low value zone that does not match measured one.</i>	35
Figura 20 Profilo tomografico calcolato con una velocità minima troppo alta: la sezione ha una grande parte schiacciata al valore minimo impostato nei parametri.	36
Figura 21 Dromocrone relative al profilo della Figura 20. La velocità minima troppo alta comporta delle dromocrone calcolate erroneamente soprattutto in vicinanza dei punti di energizzazione con un anticipo dei tempi.....	37
Figura 22 Profilo sismico calcolato impostando una velocità massima troppo bassa.	38
Figura 23 Dromocrone relative alla Figura 22 calcolate usando una velocità massima troppo bassa. Le aree gialle mettono in evidenza il forte ritardo delle dromocrone calcolate (rosse) rispetto a quelle misurate (nere).....	38
Figura 24 Impostazione della geometria dei geofoni	40
Figura 25 Modifica della impostazione della geometria delle energizzazioni	41

Figura 26 Profilo del gradiente verticale di velocità normalizzato. I valori più alti del gradiente individuano le zone con un maggiore aumento di velocità.....	47
Figura 27 Esempio di profilo rappresentante la densità di informazione	48
Figura 28 Finestra di dialogo per scegliere la palette	49
Figura 29 Personalizzazione della palette. Notare i due pulsanti per caricare e salvare una palette personalizzata.....	50
Figura 30 Finestra per la visualizzazione delle isolinee, con evidenziata la possibilità di scegliere ogni quante isolinee stampare il valore e la dimensione del carattere dell’etichetta applicata alle linee.....	52
Figura 31 Finestra di esportazione delle immagini. È possibile scegliere cosa esportare e se posizionare le etichette della tavolozza di colori ad intervalli regolare o riportare la posizione delle maniglie della tavolozza. Il parametro di scala del carattere permette di scalare la dimensione del carattere in nelle immagini salvate.	55