

# Sismica a rifrazione con EasyRefract

Guida pratica per capire il metodo, acquisire bene i dati ed elaborarli senza sbagliare.

Teoria essenziale

Acquisizione

Uso del software

Problemi comuni

# Indice

---

Una guida breve e concreta. Se hai fretta, leggi i capitoli 3, 4 e 5: sono quelli operativi.

|          |                                             |    |
|----------|---------------------------------------------|----|
| <b>1</b> | A cosa serve la sismica a rifrazione        | 3  |
| <b>2</b> | Un po' di teoria (il minimo indispensabile) | 4  |
| <b>3</b> | L'acquisizione in campagna: come si fa      | 7  |
| <b>4</b> | EasyRefract passo-passo                     | 9  |
| <b>5</b> | I problemi più comuni (e come risolverli)   | 12 |
| <b>6</b> | Checklist rapida e glossario                | 15 |

## Come usare questa guida

La teoria del capitolo 2 serve a *capire perché* un risultato può essere sbagliato anche se il software mostra comunque un numero. Non devi impararla a memoria: tienila come riferimento mentre lavori.

# 1 · A cosa serve la sismica a rifrazione

In una frase: misura **quanto velocemente** le onde sismiche attraversano il terreno e, da lì, ricostruisce **gli strati del sottosuolo e la loro profondità**.

Batti a terra (una mazza su una piastra) e generi un'onda. Una fila di sensori (i **geofoni**) registra **quando** l'onda arriva a ciascuno di essi. Se il terreno profondo è più veloce di quello superficiale, parte dell'energia viaggia lungo il contatto fra i due e "risale" prima: da questi tempi di arrivo si ricava la **velocità** di ogni strato e la sua **profondità**.

## Cosa ottieni

- **Velocità delle onde P** ( $V_p$ ) — e, con sorgenti adatte, delle onde S ( $V_s$ ).
- **Spessore e profondità** degli strati (es. la profondità del substrato roccioso).
- Una **sezione di velocità** lungo lo stendimento (la "mappa" a colori).

## Quando si usa

Profondità del bedrock, spessore delle coperture, ripartizione in strati per parametri geotecnici, rippabilità degli ammassi, categoria di sottosuolo (con la  $V_s$ ). È **economica e veloce**, ma ha limiti precisi: conoscerli è metà del lavoro (capitolo 2).

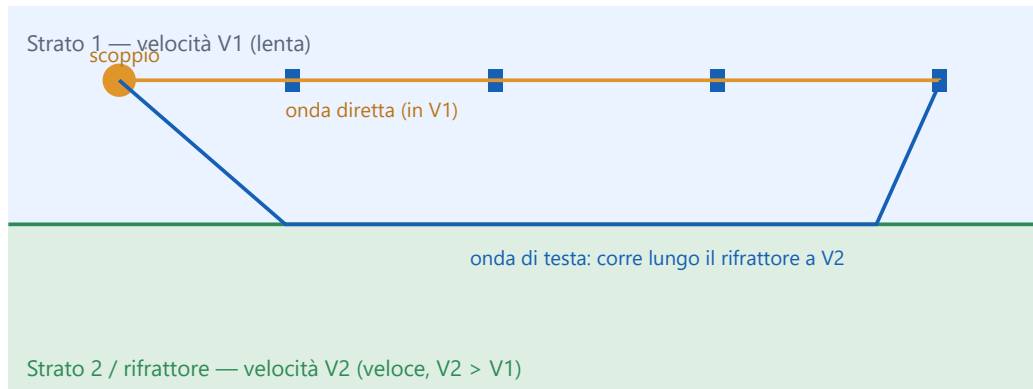
### Il flusso completo, in una riga

Acquisizione in campo → importo i sismogrammi in EasyRefract → imposto la geometria → **picking** dei primi arrivi → **dromocrone** → interpretazione (G.R.M.) → **sezione di velocità** → relazione.

## 2 · Un po' di teoria (il minimo indispensabile)

### 2.1 Onde dirette e onde di testa

Dalla sorgente l'energia parte in tutte le direzioni. Ai geofoni **vicini** arriva prima l'**onda diretta**, che viaggia in superficie nello strato 1. Ai geofoni **lontani** arriva prima l'**onda di testa** (rifratta): scende fino al rifrattore, corre lungo di esso alla sua velocità (maggiore) e risale. Poiché lo strato profondo è più veloce, oltre una certa distanza la rifratta "sorpassa" la diretta.



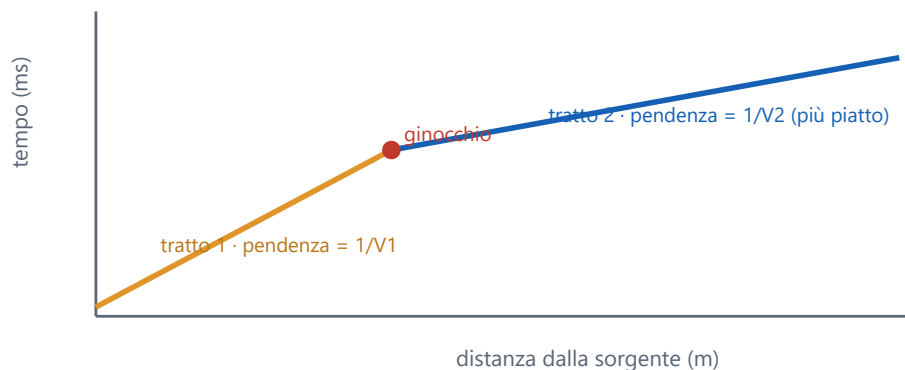
*I due percorsi dell'onda: diretta (superficiale) e di testa (rifratta lungo lo strato veloce).*

#### Angolo critico (legge di Snell)

L'onda di testa esiste solo se lo strato sotto è **più veloce**: l'onda incide sul rifrattore con un angolo particolare (angolo critico) e viaggia lungo il contatto. È il cuore del metodo — e la ragione della regola d'oro qui sotto.

### 2.2 La dromocrona (curva dei tempi)

Se metti in un grafico la **distanza** del geofono (asse X) contro il **tempo del primo arrivo** (asse Y), ottieni la **dromocrona**. È fatta di **tratti rettilinei**: ogni tratto è uno strato. La **pendenza** di un tratto è l'inverso della velocità di quello strato (più il tratto è "piatto", più lo strato è veloce). Il punto dove due tratti si incontrano è il **ginocchio** (o crossover).



*Dromocrona a due strati: due tratti rettilinei; il ginocchio separa lo strato 1 (lento) dal rifrattore (veloce).*

### Regola d'oro: le velocità devono CRESCERE con la profondità

$V_1 < V_2 < V_3 \dots$  È il requisito del metodo. Se l'elaborazione ti dà una velocità che *diminuisce* con la profondità, o valori **oltre ~6500 m/s** (non fisici in terreni naturali), **non è geologia: è un errore** — quasi sempre un tratto con troppi pochi punti. Va corretto, non interpretato.

## 2.3 Quale metodo? Dipende da quanti scoppi hai

In EasyRefract il metodo **non si sceglie da un menù**: è **derivato dal numero di acquisizioni** (scoppi) caricate.

| Acquisizioni         | Metodo                                        | Cosa ottieni                               |
|----------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1                    | Tempi di intercetta (o distanza critica)      | Modello a strati piani, indicativo         |
| 2 (andata + ritorno) | Reciproco                                     | Pendenza dei rifrattori                    |
| 3 o più              | <b>G.R.M.</b> (Generalized Reciprocal Method) | Rifrattori ondulati, il risultato migliore |

Vuoi il G.R.M. ma hai solo due scoppi? La soluzione non è cambiare un'impostazione: è **fare uno scoppio in più**.

## 2.4 I limiti del metodo (perché a volte "non torna")

- **Strato nascosto** (zona oscura): uno strato con contrasto di velocità troppo debole non produce un tratto proprio nella dromocrona e "scompare"; il suo spessore finisce sugli strati vicini. Non è un errore di picking, è un limite fisico.
- **Strato sottile**: se lo spessore è minore del passo dei geofoni, lo strato non è risolvibile; il risultato è solo indicativo.
- **Risoluzione** ↔ **passo geofoni**: passo fitto = più dettaglio ma minore profondità indagata a parità di stesa. È un compromesso, non un difetto.
- **Reciprocità**: il tempo dallo scoppio A al geofono in B deve uguagliare quello da B ad A. Uno scarto grande segnala **picking impreciso o geometria/posizione sorgente sbagliata** (vedi cap. 5).
- **Non-unicità**: con velocità che crescono in modo graduale, più modelli spiegano gli stessi dati. La soluzione non è unica: va detto.

## 3 · L'acquisizione in campagna: come si fa

Il 90% dei risultati sbagliati nasce qui, prima del software. Una buona acquisizione è metà del lavoro.

### 3.1 Lo stendimento (i geofoni)

- Disponi i geofoni **in linea, equispaziati** (il "passo", es. 3–5 m). Tipicamente 12 o 24 geofoni.
- Il passo decide il dettaglio: **passo piccolo** = più risoluzione superficiale; **stesa lunga** = più profondità indagata.
- **Accoppiamento**: infila bene il puntale nel terreno compatto (non su erba/sassi mobili): un geofono mal piantato dà primi arrivi sporchi.
- Annota le **quote Z** se il terreno è in pendenza: servono per profondità corrette.

### 3.2 Gli scoppi: laterali e centrale (stesa invertita)

Per il G.R.M. servono **almeno 3 scoppi**, distribuiti lungo la stesa: uno a un **estremo**, uno al **centro**, uno all'**altro estremo**. Questa è la **stesa invertita**: "vedi" il rifrattore da entrambi i lati e ne cogli le ondulazioni. Spesso gli scoppi di estremità si fanno **appena fuori** dalla stesa (off-end).



*Stesa invertita: scoppio a sinistra, al centro e a destra. È la configurazione minima per il G.R.M.*

#### La reciprocità: il tuo controllo di qualità in campo

Il tempo **scoppio-SX** → **geofono-DX** deve essere (quasi) uguale a **scoppio-DX** → **geofono-SX**: è lo stesso percorso al contrario. Se i due valori sono molto diversi, qualcosa non va nel picking o nelle posizioni. EasyRefract te lo segnala automaticamente.

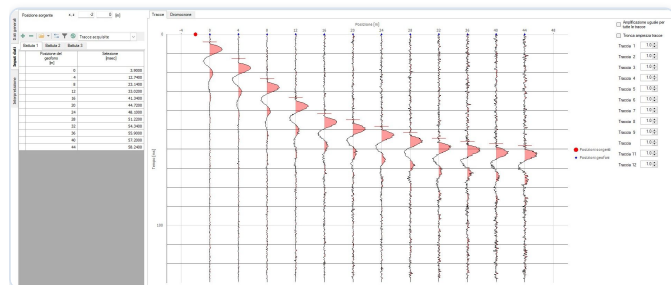
### 3.3 Buone pratiche

- **Ripeti e somma** più colpi sullo stesso punto (stacking): migliora il rapporto segnale/rumore.
- **Trigger** affidabile (geofono di start o interruttore sulla mazza): il tempo zero deve essere preciso.
- Evita **rumore** (vento, traffico, macchinari): sporca i primi arrivi lontani.
- Segna con cura **posizione di ogni scoppio** e **passo dei geofoni**: senza, il software non può ricostruire la geometria (vedi cap. 5).

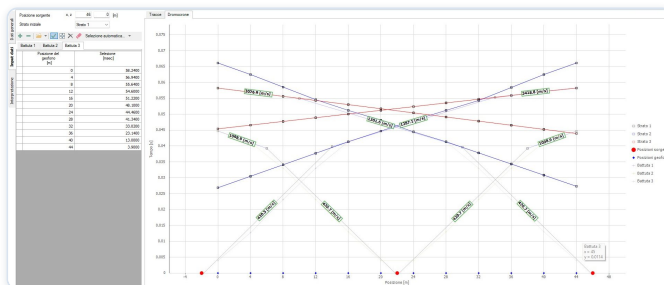
## 4 · EasyRefract passo-passo

Il percorso dall'apertura dei dati alla relazione. Usa il dataset di esempio incluso (cartella `Examples\SEG2\`, progetto TEST30) per esercitarti.

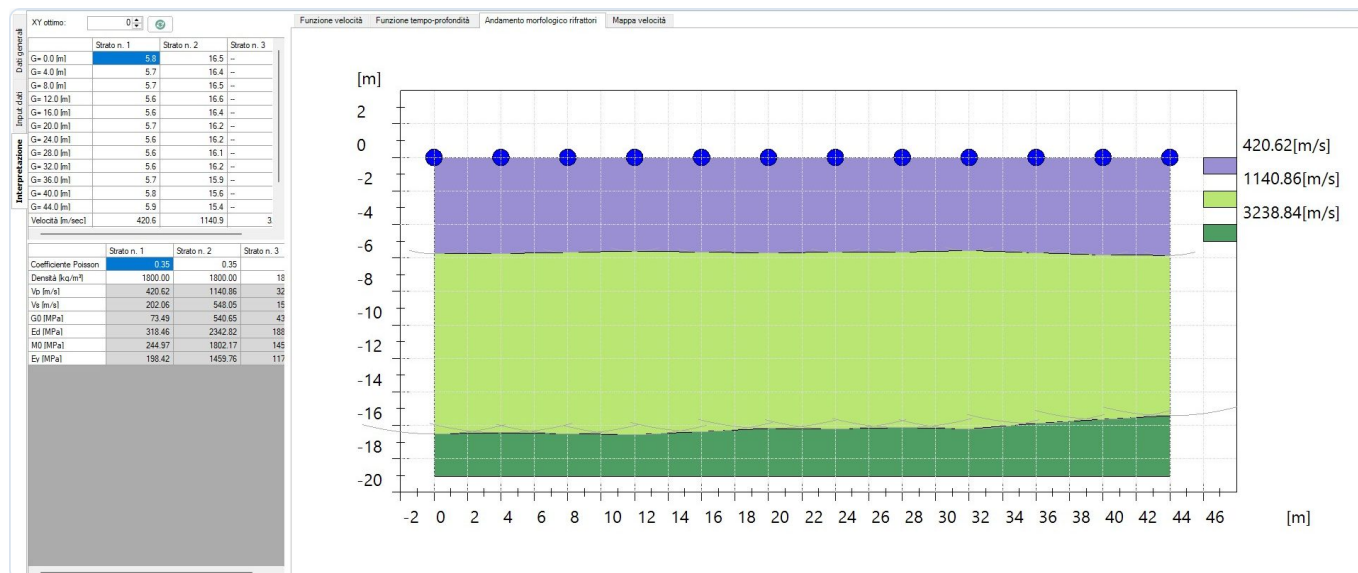
- 1 **Dati generali** — scheda *Progetto*: descrizione, committente, località. Utile per la relazione finale.
- 2 **Importa i sismogrammi** — scheda *Tracce* → apri i file (SEG-2, SEG-Y, ecc.). Ogni scoppio è un file. Nell'esempio: `TEST30_01/02/03.sg2`.
- 3 **Imposta la geometria** — per *ogni scoppio*: posizione della sorgente e posizioni/passo dei geofoni. **Attenzione: quasi sempre NON è nel file** — la imposti tu (vedi cap. 5).
- 4 **Picking dei primi arrivi** — segna il primo arrivo su ogni traccia. A mano (clic) o con il **Picking automatico**; poi **rivedi** sempre a occhio.
- 5 **Dromocrone** — controlla che i primi arrivi crescano regolari e che i tratti rettilinei siano coerenti col numero di strati.
- 6 **Interpretazione** — funzione velocità, XY ottimale del G.R.M., tempo-profondità. Il metodo è automatico (dipende dal n° di scoppi).
- 7 **Sezione / mappa di velocità** — la vista a colori del sottosuolo lungo la stesa.
- 8 **Relazione** — imposta le viste come le vuoi e genera il report.



Passo 2-4: le tracce di uno scoppio. I trattini rossi sono i primi arrivi pickati.



Passo 5: le dromocrone dei vari scoppi, con i tratti dei rifrattori.



Passo 7: la sezione con la morfologia dei rifrattori e le velocità di ogni strato — il prodotto finale.

### L'Assistente AI di EasyRefract

Non sostituisce il tuo giudizio, ma ti aiuta: apri l'**Assistente AI** e chiedi in linguaggio naturale — «questa interpretazione è attendibile?», «il picking è fatto bene?», «fai il picking automatico», «quanti strati vede la battuta centrale?». Ti spiega i controlli e **propone** le correzioni (le applichi tu). Non inventa mai i tempi: quando serve, lancia l'algoritmo di picking del programma.

## Passi che fanno la differenza (e che confondono all'inizio)

### Scegliere il numero di strati

Nella scheda Dromocrone, il menù «**Selezione automatica...**» (nella barra sopra le battute) rifà da solo i ginocchi per un modello a **2, 3, 4 o 5 strati**. Il numero giusto è quello che i dati reggono davvero — tratti con abbastanza punti e velocità fisiche. Se il rifrattore più profondo ha pochi punti, spesso **2 strati puliti valgono più di 3 forzati**.

### Picking automatico

Oltre al picking a mano c'è il **Picking automatico** (gruppo Tracce): un algoritmo che misura i primi arrivi. Puoi lanciarlo anche dall'AI («fai il picking automatico»). Attenzione: sugli arrivi lontani deboli può sbagliare — **rivedi sempre** a mano i punti dubbi.

### «XY ottimo»: cos'è

È il parametro chiave del **G.R.M.** — la **distanza di separazione** fra i geofoni i cui arrivi (andata e ritorno) si combinano per calcolare la profondità del rifrattore. L'**XY ottimo** è quello che rende la **funzione tempo-profondità più liscia** (rugosità minima): è lì che il rifrattore è ricostruito meglio. **XY = 0** significa automatico.

### Il passo che quasi tutti dimenticano: «Calcola dromocrone traslate»

Con il G.R.M., **Andamento morfologico dei rifrattori** e **Mappa di velocità** restano **vuote** finché non attivi «**Calcola dromocrone traslate**» (gruppo Elabora del ribbon) e premi il **refresh** (le frecce verdi accanto a «XY ottimo»). Il G.R.M. costruisce la sezione proprio da quelle dromocrone traslate: è il passo che «accende» il disegno. Se le due viste sono bianche, è quasi sempre questo.

## 5 · I problemi più comuni (e come risolverli)

Questi sono gli inciampi tipici di chi inizia — probabilmente gli stessi che stai incontrando tu.

### Problema 1 · «Ho importato i SEG-2 ma la geometria è sbagliata»

#### Causa

I file SEG-2 **non contengono** le posizioni di sorgente e geofoni (spesso sono a zero). Se non le imposti tu — con il **passo giusto** — tutto il resto è falsato.

#### Soluzione

Dopo l'import, per ogni scoppio inserisci la **posizione sorgente** e le **posizioni dei geofoni** reali (passo corretto). Nell'esempio TEST30: **12 geofoni, passo 4 m, da 0 a 44 m; sorgenti a -2, 22 e 46 m** (i due spari di estremità sono off-end, appena fuori stesa). I valori esatti sono nel file [LEGGIMI](#).

### Problema 2 · «La reciprocità è violata su tutte le coppie»

#### Causa

Con geometria o picking sbagliati, il controllo confronta tracce che **non si corrispondono** → scarti alti (anche >30%). Spesso è colpa del passo geofonico sbagliato o di pochi picking imprecisi.

#### Soluzione

(1) Verifica la geometria (passo e posizioni sorgente). (2) Ricontrolla il picking, in particolare della **battuta interna** (centrale), che di solito è la più critica. Finché la reciprocità non rientra in tolleranza, **l'interpretazione G.R.M. non è affidabile**: prima si sana il dato.

### Problema 3 · «Una velocità è enorme o diminuisce con la profondità»

#### Causa

Un tratto della dromocrona ha **troppi pochi punti**: la retta di regressione è quasi orizzontale e la velocità "esplode" (valori non fisici, oltre ~6500 m/s), oppure risulta minore dello strato sopra.

#### Soluzione

**Sposta il ginocchio** di quella battuta così il tratto raccoglie più punti, oppure aggiungi/togli un ginocchio. Ricorda la regola d'oro: V deve crescere con la profondità.

### Problema 4 · «Non capisco quale scoppio è quello di destra»

#### Come riconoscerlo

Il geofono con il **primo arrivo più precoce** (tempo minimo) è quello **più vicino alla sorgente**. Se il minimo è all'estremo destro, quello è lo scoppio destro. È il dato — non l'impressione visiva — a dirtelo.

### Problema 5 · «Posso farmi dare i tempi di picking dall'AI da incollare?»

### No — e per una buona ragione

L'AI **non vede le tracce grezze**: se ti "desse" i tempi, sarebbero **inventati**, e incollarli produrrebbe un dataset plausibile ma falso. La regola n.1 dell'assistente è «mai inventare i primi arrivi».

### La cosa giusta

Usa il **Picking automatico** (algoritmo deterministico che misura davvero i primi arrivi) — anche chiedendolo all'AI: «*fai il picking automatico*». Poi **rivedi** a mano i punti dubbi.

## Problema 6 · «Ho importato un file ma le tracce si vedono male / schiacciate»

### Causa

Il campo "**Max. time displayed [ms]**" è impostato su tutto il record (es. 500 ms), mentre i primi arrivi stanno nei primi ~100–150 ms: il segnale viene compresso in cima e diventa un blocco illeggibile.

### Soluzione

Riduci "**Max. time displayed**" alla finestra utile (es. ~70 ms per l'esempio TEST30, i cui primi arrivi arrivano fino a ~60 ms), oppure usa lo zoom sul tempo. Le tracce si "aprono" e tornano leggibili. Non è un problema del file: lo stesso dato, con la vista giusta, si legge benissimo.

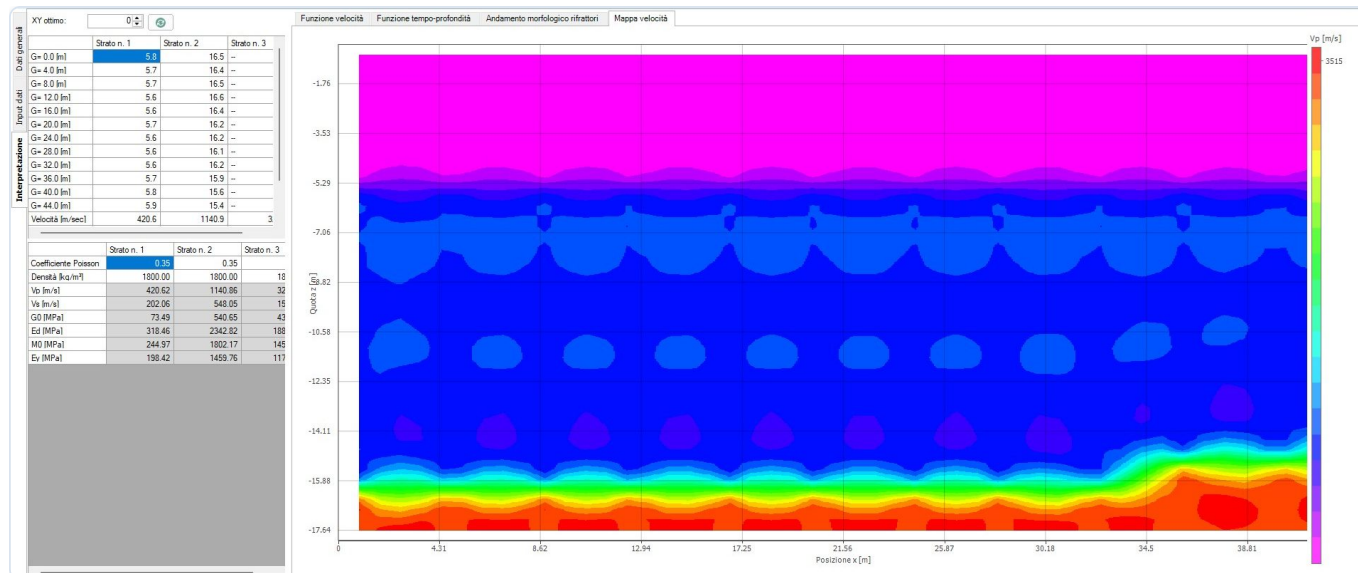
## Problema 7 · «Morfologia dei rifrattori e Mappa di velocità sono vuote»

### Causa

È l'inciampo più comune. Con il G.R.M. la sezione si calcola dalle **dromocrone traslate**: se il comando «**Calcola dromocrone traslate**» è spento, quelle due viste restano bianche *anche con un'interpretazione corretta*. (Funzione velocità e Tempo-profondità invece si vedono, perché non dipendono da quel passo.)

### Soluzione

Attiva «**Calcola dromocrone traslate**» (gruppo Elabora) e premi il **refresh** (freccie verdi accanto a «XY ottimo»): la sezione compare. Nelle versioni recenti l'attivazione del comando ridisegna subito la sezione, e se apri Morfologia/Mappa col comando spento il programma ti avvisa.



La mappa di velocità (Vp): il campo di velocità interpolato lungo la sezione — dal viola (lento, copertura ~400 m/s) al rosso (substrato veloce). Un risultato pulito e a strati orizzontali conferma geometria e picking corretti.

# 6 · Checklist rapida e glossario

## Checklist prima di considerare chiusa l'elaborazione

| # | Controllo                                                                  | Dove                      |
|---|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1 | Numero, posizione e passo dei geofoni corrispondono alla stesa reale       | Tracce → geometria        |
| 2 | Le quote Z dei geofoni sono inserite (se il terreno è in pendenza)         | Geometria                 |
| 3 | Ogni scoppio ha la sua posizione sorgente corretta                         | Geometria                 |
| 4 | I primi arrivi crescono in modo regolare allontanandosi dalla sorgente     | Tracce / Dromocrone       |
| 5 | Il numero di strati è giustificato dai tratti rettilinei della dromocrona  | Dromocrone                |
| 6 | La reciprocità rientra in tolleranza (scarti piccoli)                      | Controlla interpretazione |
| 7 | Le velocità crescono con la profondità e sono fisiche ( $< \sim 6500$ m/s) | Funzione velocità         |
| 8 | La sezione finale è geologicamente plausibile                              | Morfologia rifrattori     |

## Glossario essenziale

| Termine               | Significato                                                                                  |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Primo arrivo          | L'istante in cui l'onda raggiunge per la prima volta un geofono.                             |
| Picking               | L'operazione di marcare i primi arrivi su ogni traccia.                                      |
| Dromocrona            | Grafico distanza–tempo dei primi arrivi; i suoi tratti sono gli strati.                      |
| Ginocchio (crossover) | Punto d'incontro fra due tratti della dromocrona: separa due rifrattori.                     |
| Rifrattore            | Il contatto fra due strati a velocità diversa da cui "risalgono" le onde di testa.           |
| Stesa invertita       | Acquisizione con scoppi ai due estremi (+ centrale): necessaria per il G.R.M.                |
| Reciprocità           | Uguaglianza dei tempi $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow A$ ; controllo di qualità del dato. |
| G.R.M.                | Generalized Reciprocal Method: interpreta rifrattori ondulati da 3+ scoppi.                  |
| XY                    | Parametro del G.R.M.; l'XY "ottimale" rende più regolare la funzione tempo–profondità.       |
| Battuta / scoppio     | Una singola energizzazione (un file di acquisizione).                                        |

### Per approfondire

Manuale completo e tutorial: [help.geostru.io/easyrefract](https://help.geostru.io/easyrefract). Dentro il programma, usa l'**Assistente AI** e il comando **Controlla interpretazione** ogni volta che hai un dubbio.