

# **CORSO IN GEOFISICA**

**Caratterizzazione dei suoli con varie tecniche attive e passive**

**Albornoz Palace Hotel  
Viale Giacomo Matteotti, Spoleto (PG)  
2 – 3 Dicembre 2016**

## **Principi di sismica a riflessione**

**Dott. Geol. Francesco Fiera**

*Geo-Ernergizers s.n.c*  
*Via C. Battisti, 38 – 56021 Cascina (PI)*  
[www.geoenergizers.it](http://www.geoenergizers.it)  
393-9043743

# Acquisizione Sismica a Riflessione per esplorazioni superficiali

Obiettivo della **sismica a riflessione** è la ricostruzione delle strutture geologiche sepolte, attraverso la raccolta, la registrazione e la successiva elaborazione (**processing**) delle informazioni contenute negli echi di onde elastiche generate artificialmente in prossimità della superficie.

La tecnica della sismica a riflessione è largamente **impiegata** nella ricerca di **strutture nel sottosuolo**. La riflessione delle onde sismiche consente di determinare con grande dettaglio la **profondità e la pendenza** delle discontinuità geologiche.

E' il solo sistema che restituisce un **immagine completa** del sottosuolo. Fino ad ora, tra tutti i sistemi geofisici, è quello che fornisce la **miglior risoluzione**.

Permette la mappatura delle rocce in relazione alla loro **porosità e permeabilità** e **presenza di gas o fluidi**. Richiede **sforzi logistici** significativi rispetto alle altre metodologie. Si basa su un **esteso processamento** del dato sismico (anche settimane!).

## COME FUNZIONA?

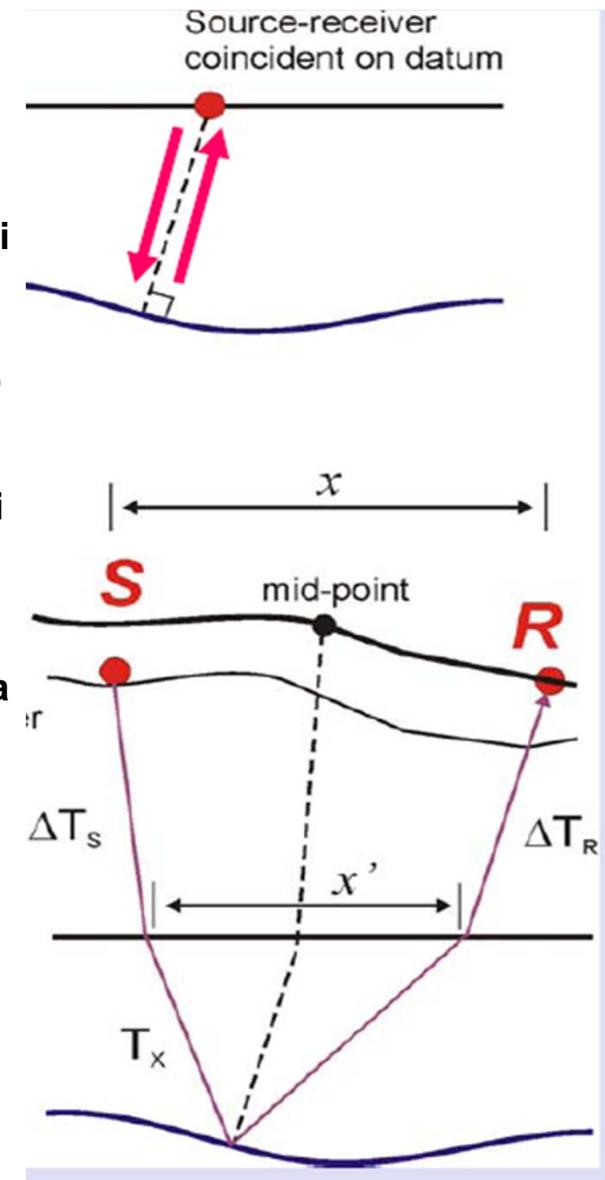
La **prospezione sismica** consiste nel generare impulsi di breve durata e ampiezza limitata utilizzando apposite **sorgenti**; i segnali riflessi sono successivamente raccolti e registrati da opportuni **sensori** organizzati secondo determinate configurazioni spaziali.

L'insieme di tutti i segnali e del rumore registrati dal sensore nel tempo, formano una **traccia sismica**. Le tracce sismiche registrate simultaneamente in risposta a una singola energizzazione (*shot*) formano un record sismico (*shot gather*). Un gruppo di *shot* collezionati lungo una determinata direzione costituisce a sua volta un profilo sismico.

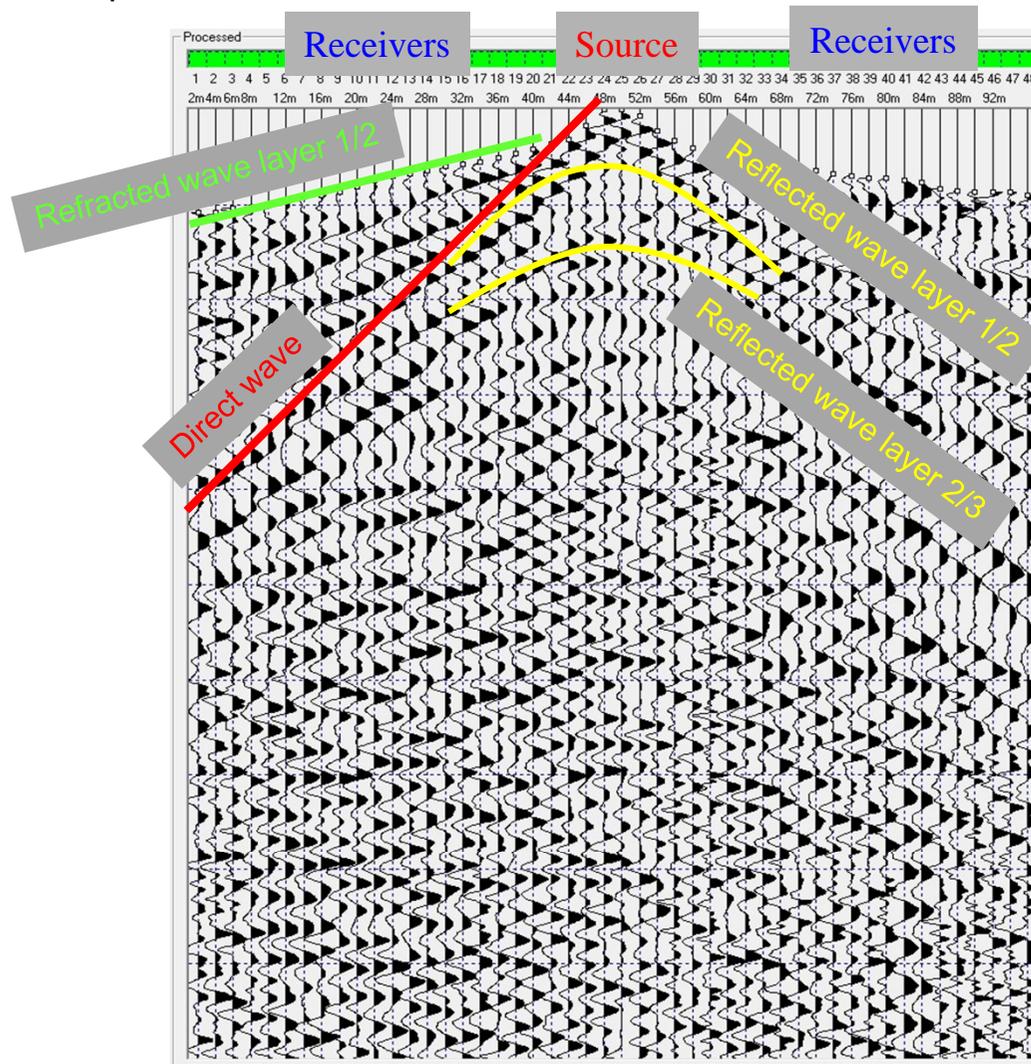
La sorgente (di **pressione o taglio**) acustica viene posizionata vicino alla superficie. Le onde si propagano in tutte le direzioni dalla sorgente.

L'energia è registrata da **geofoni** o **accelerometri** posti in superficie o in foro. I tempi e le ampiezze delle riflessioni sono usate per **interpretare il sottosuolo**.

Operazioni di processamento tramite software appositi sono infine utilizzati per rappresentare un immagine **1D, 2D o 3D** delle strutture del sottosuolo.



Dall'interazione tra il segnale sismico generato dalla sorgente e il terreno si ottiene il DATO SISMICO, costituito da un **insieme di tracce** che rappresentano la misura del movimento delle particelle in superficie nel tempo.



Dell'energia presente in una registrazione sismica solo una piccola percentuale è rappresentata dal **segnale primario riflesso**, il resto è per lo più costituito da **rumore**, organizzato o no. In generale, tutti gli arrivi che non sono riconducibili a una riflessione vengono considerati alla stregua di *rumore*. Vanno incluse in questa categoria le **onde rifratte** e quelle di **superficie**.

Uno dei principali obiettivi dell'elaborazione è quello di ripulire il *record* da questi disturbi generati dalla sorgente ed esaltare così gli **eventi riflessi**.

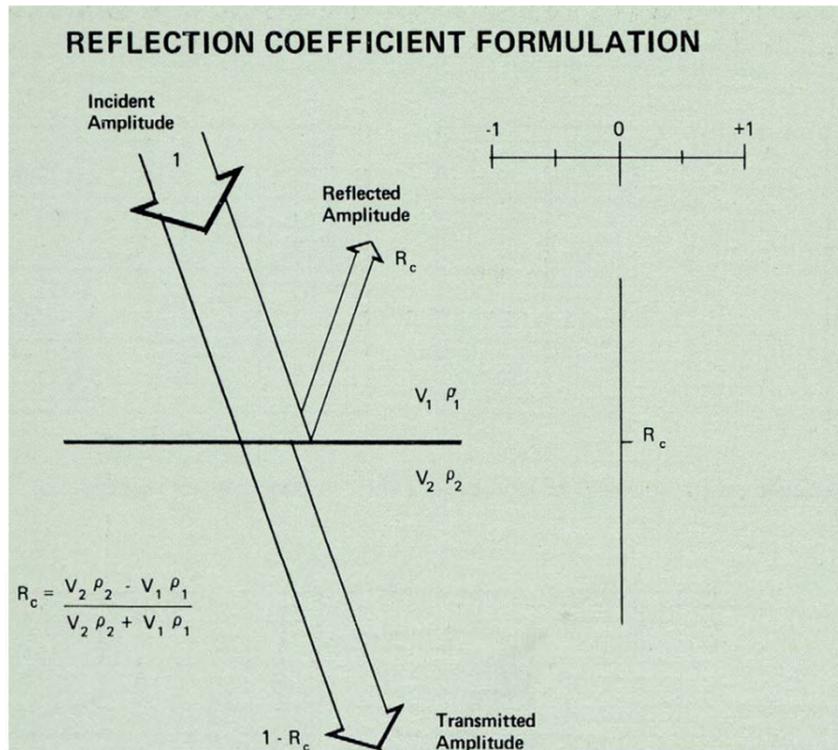
In un record sismico si possono individuare:

- onde riflesse;
- onde di superficie;
- onde dirette e onde rifratte;
- l'onda d'aria;
- multiple, riverberazioni ed eventi *ghost*.
- rumore ambientale.

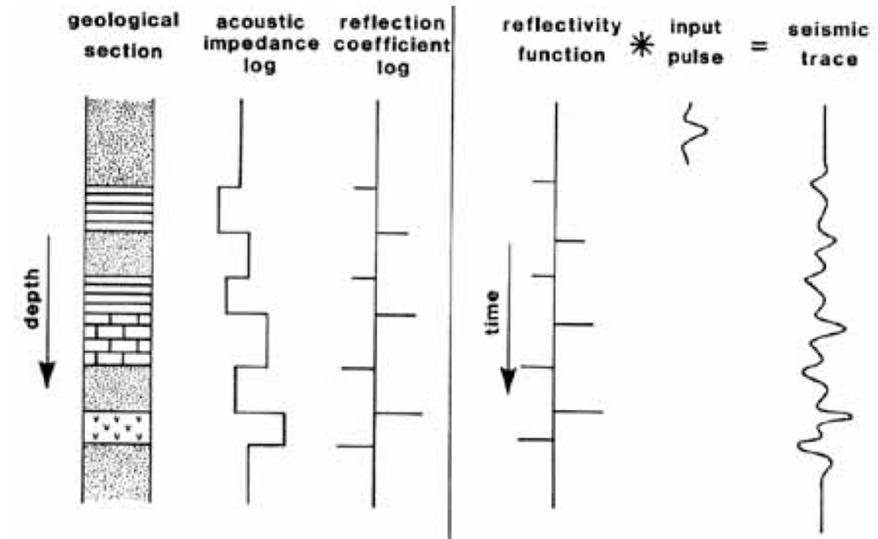
Come ogni metodo geofisico, la **sismica a riflessione** è sensibile solo ad una proprietà fisica della roccia.

Questa proprietà è chiamata **Impedenza Acustica**:  $I = \rho V$  (densità x velocità)

L'ampiezza della riflessione sismica è proporzionale al **contrasto d'impedenza** relativo attraverso un contatto tra due strati:



$$R = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$



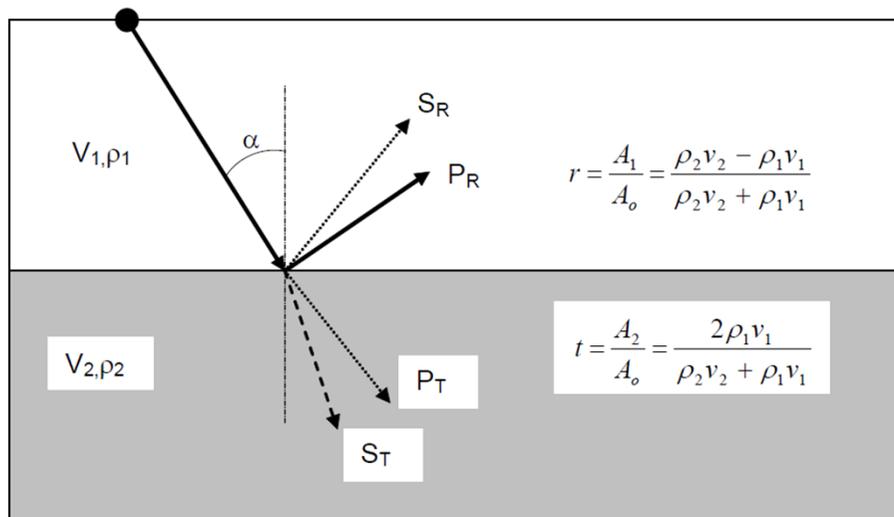
L'energia sismica irradiata dalla **sorgente** è composta da onde di volume (**compressionali – P** e di taglio – **S**) e di superficie. Quando il fronte d'onda compressionale incide una superficie di separazione tra due mezzi caratterizzati da proprietà fisiche differenti, una parte dell'energia incidente viene **riflessa** e una parte **trasmessa**.

Le leggi che governano questi fenomeni furono formalizzate da **Knott e Zoeppritz** e mettono in relazione ampiezza e angolo d'incidenza per ciascuna delle onde P ed S riflesse e trasmesse in mezzi caratterizzati da velocità e densità.

La sismica a riflessione studia gli **echi delle onde a basso angolo di incidenza (10°-20°)**.

In questo caso le equazioni di Zoeppritz possono essere **ridotte a una forma semplificata** che conduce alla definizione dei **coefficienti di riflessione e di trasmissione per incidenza normale**.

Definite  $A_0$  l'ampiezza dell'onda incidente,  $A_1$  quella dell'onda riflessa e  $A_2$  quella dell'onda trasmessa, i coefficienti di riflessione  $r$  e trasmissione  $t$  sono dati dalle espressioni riportate nella figura.



Poichè  $A_1 + A_2 = A_0$ , tra il coefficiente di riflessione  $r$  e quello di trasmissione  $t$  deve essere che:

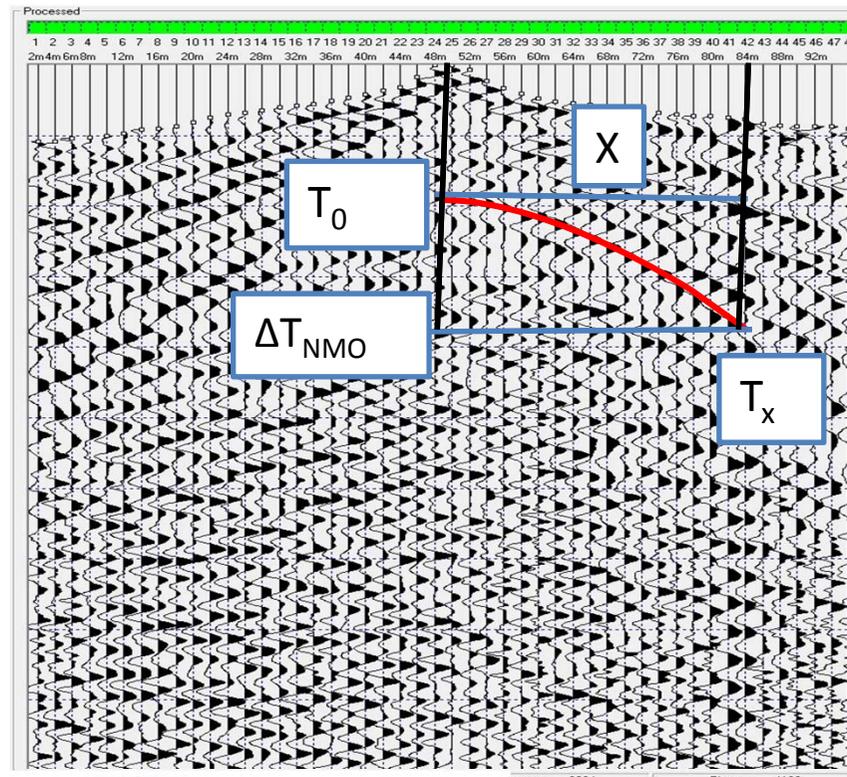
$$t + r = 1$$

Gli eventi sismici riflessi si dispongono sul record lungo **traiettorie iperboliche** secondo la nota relazione:

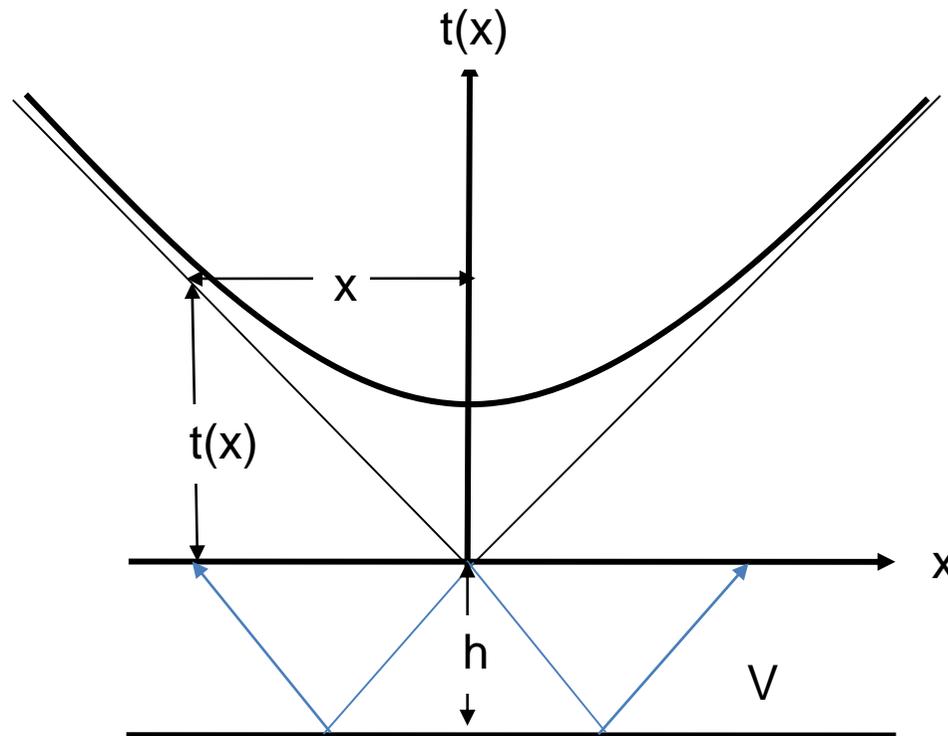
$$T_x^2 = T_0^2 + X^2 / V^2$$

$X$  = distanza sorgente – ricevitore (offset);  $T_x$  = tempo di arrivo della riflessione all'offset  $X$ ;  $T_0$  = tempo di arrivo (teorico) della riflessione all'offset 0 (sorgente=ricevitore);  $V$  = velocità del dominio al di sopra del riflettore.

La differenza in tempi tra l'arrivo a offset = 0 e quello a offset =  $X$  è definito **Normal Move Out (NMO)**. Il NMO **varia con l'offset e con la velocità**: in particolare, dato l'incremento della velocità con la profondità, riflessioni provenienti da profondità elevate esibiscono NMO inferiori rispetto a quelle più superficiali a parità di offset.



# Iperbole di riflessione

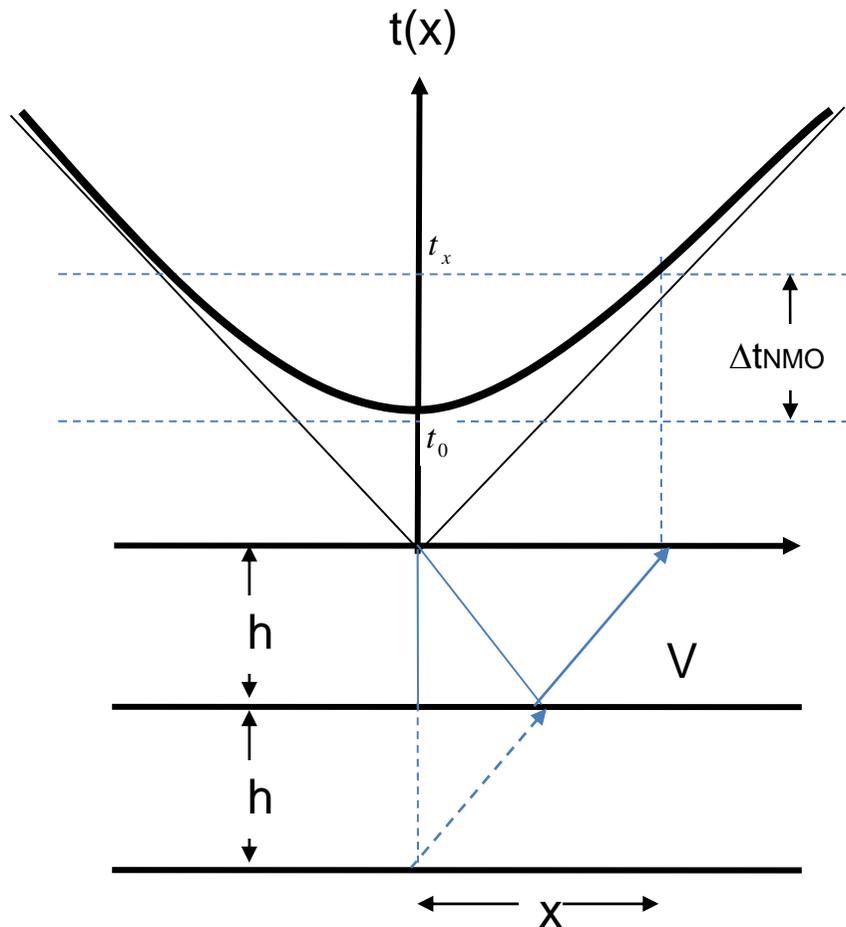


for  $x=0$ :  $t^2 v^2 = 4h^2$

$$t_{(x=0)} = t_0 = 2h/V$$

oppure  $h = t_0 V / 2$

# Normal MoveOut (NMO)



$$\Delta t = t_x - t_0 \quad t(x)^2 = t_0^2 + \frac{x^2}{V^2}$$

Risolvendo per  $t_x$  nella (2) e sostituendo nella (1) otteniamo:

$$t_x = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x}{V}\right)^2}$$

$$\Delta t = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x}{V}\right)^2} - t_0 \quad \text{espressione del NMO}$$

$$(t_0 + \Delta t)^2 = t_0^2 + \left(\frac{x}{V}\right)^2$$

$$\cancel{t_0^2} + \Delta t^2 + 2t_0\Delta t = \cancel{t_0^2} + \left(\frac{x}{V}\right)^2$$

trascurabile

Approssimazione per piccoli offset

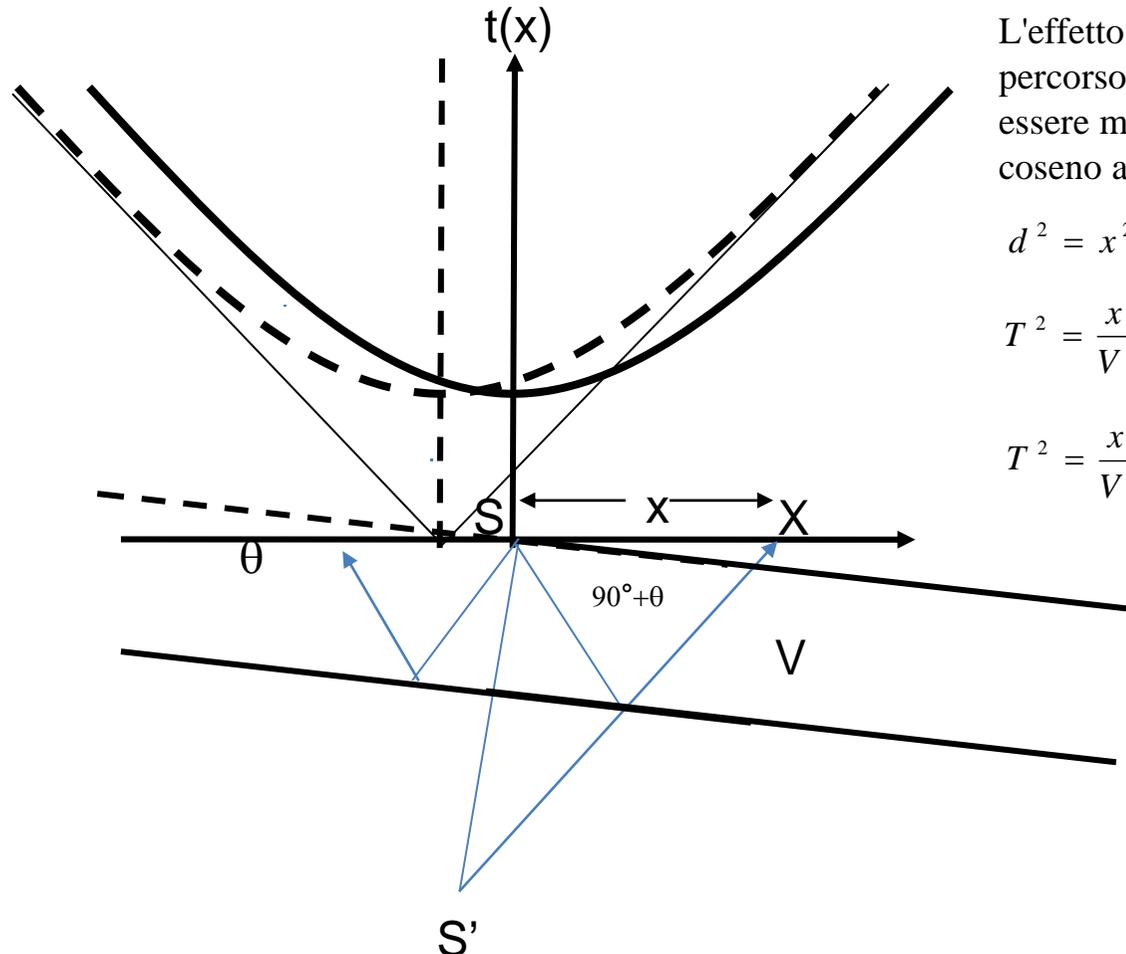
$$\Delta t \approx \frac{x^2}{2t_0V^2}$$

Note: NMO proporzionale al quadrato dell'offset

NMO inversamente proporzionale al quadrato della velocità

NMO inversamente proporzionale a  $t_0$  (profondità)

# Iperbole di riflessione da una interfaccia inclinata



L'effetto generale della pendenza sul percorso traveltime di una riflessione può essere mostrato applicando la legge del coseno al triangolo SS'X

$$d^2 = x^2 + (2h)^2 - 2(2h)x \cos(90^\circ + \theta);$$

$$T^2 = \frac{x^2}{V^2} + \frac{4h^2}{V^2} - 2\left(\frac{2h}{V}\right)\left(\frac{x}{V}\right)\cos(90^\circ + \theta);$$

$$T^2 = \frac{x^2}{V^2} + \frac{4h^2}{V^2} + \frac{4hx}{V^2}\sin \theta;$$

$$T^2 V^2 = x^2 + 4h^2 + 4hx \sin \theta;$$

$$T_{dip} = t_{(x)} - t_{(-x)} = \frac{2x}{V} \sin \theta;$$

# RISOLUZIONE

La risoluzione è la capacità di **distinguere in profondità due riflettori** molto vicini tra loro.

La **risoluzione sismica è controllata dalla larghezza di banda** del segnale, che tipicamente varia tra  $f=30-140$  Hz per le indagini profonde e  $f=80-600$  Hz per quelle superficiali.

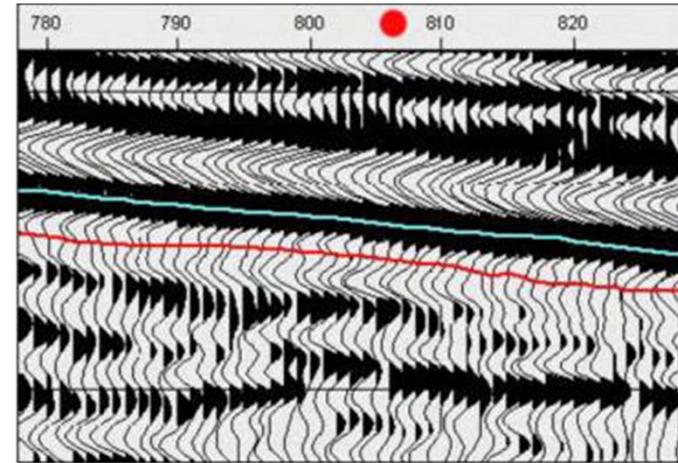
La **frequenza delle riflessioni diminuisce con la profondità** a causa della attenuazione delle onde sismiche e ciò produce anche una diminuzione della risoluzione.

La **risoluzione verticale** è stimata come  $\delta z \approx \lambda/4$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda dominante:  $\lambda = V/f$  (Velocità/frequenza).

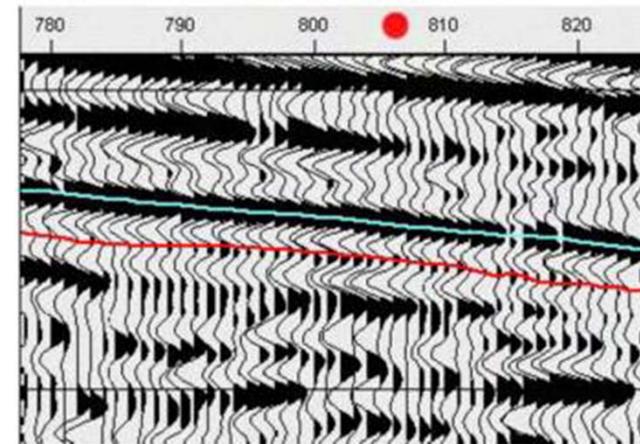
La **risoluzione orizzontale** è stimata come  $\delta x \approx (z\lambda/2)^{0,5}$  e anch'essa diminuisce con la profondità.

## Risoluzione Verticale

Effetto della frequenza dominante  
sulla risoluzione verticale



Original section from a 3D survey.



Reconstruction with wavelets of dominant frequencies larger than 39 Hz.

## Risoluzione Laterale

**distanza laterale minima** tra due punti riflettenti: rappresenta il limite per cui i punti stessi possano essere riconosciuti individualmente in un profilo sismico.

La risoluzione laterale dipende dalle caratteristiche dell' "esperimento sismico" condotto, in particolare: **CAMPIONAMENTO SPAZIALE** (intervallo tra le tracce) e **CARATTERISTICHE DEL SEGNALE UTILIZZATO** ( $f, \lambda, t$  di arrivo)

