

NUOVE FRONTIERE PER LA GEOFISICA APPLICATA

**NOVITÀ TECNOLOGICHE E DI ELABORAZIONE ILLUSTRATE CON
PRESENTAZIONI IN MUSEO E DIMOSTRAZIONI PRATICHE
PRESSO SPERIMENTAREA**

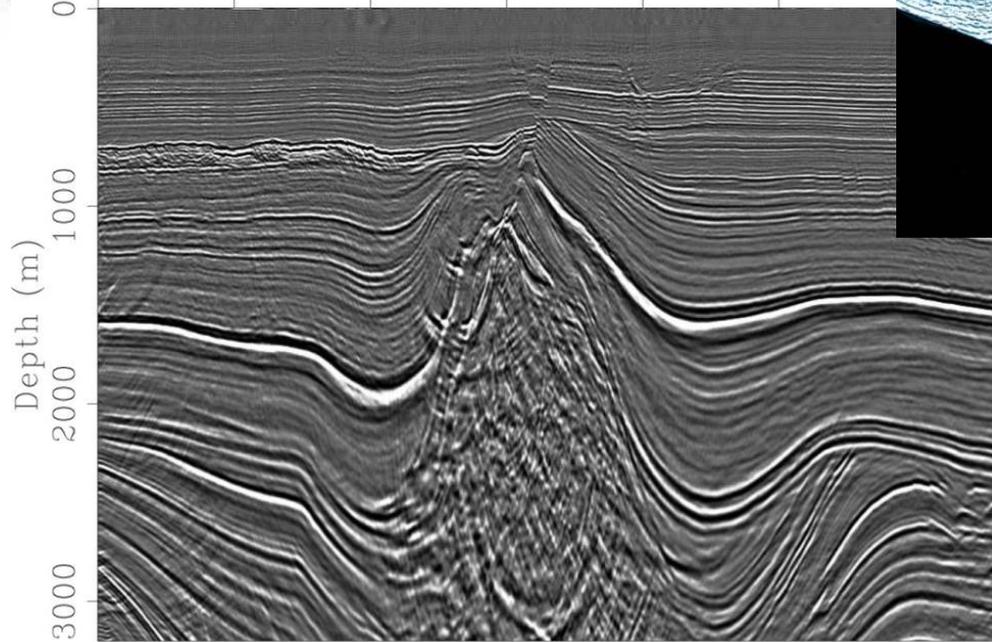
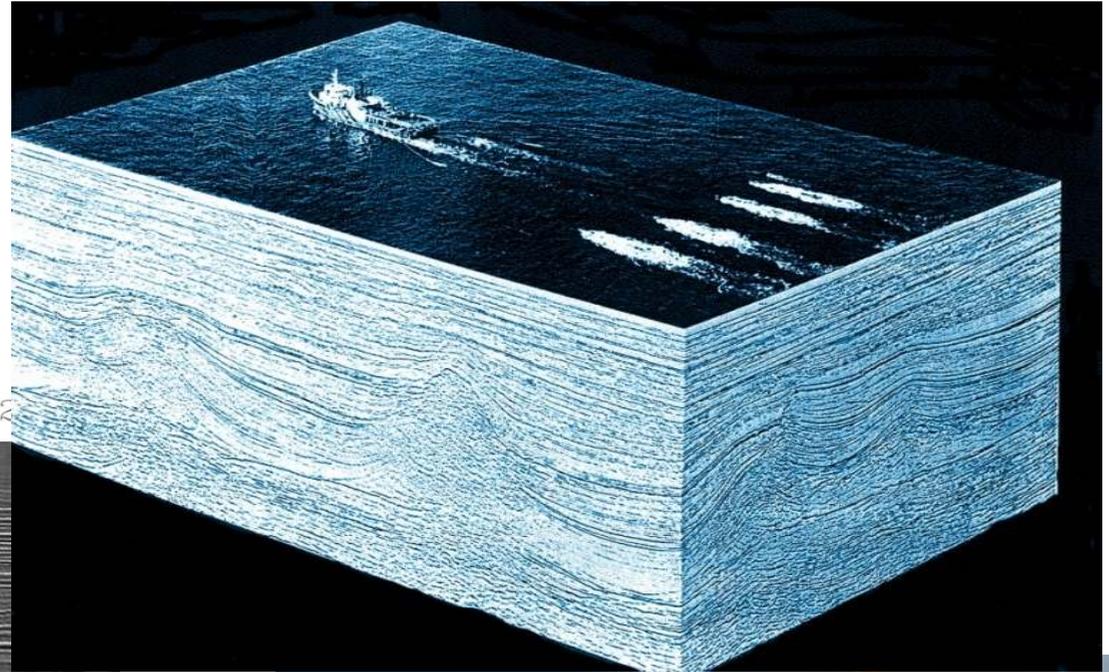
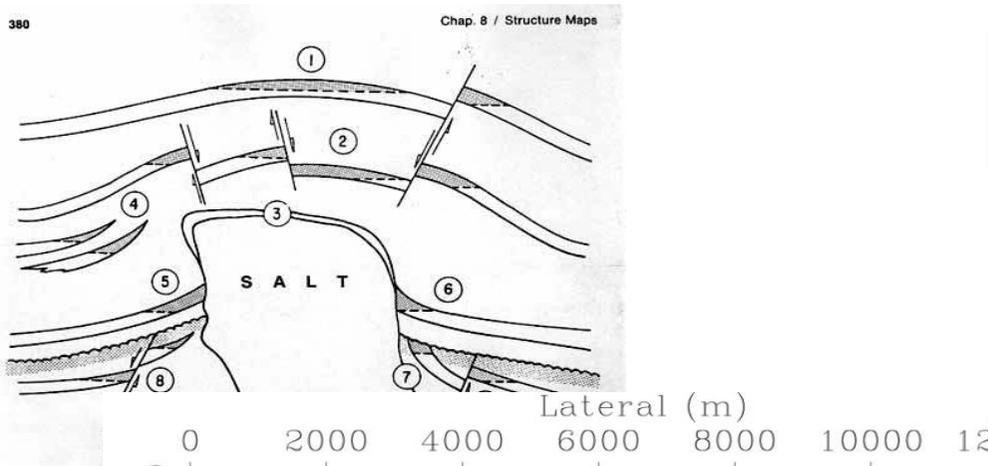
POTENZIALITÀ E LIMITI DELLA SISMICA A RIFLESSIONE PER ONDE SH

GIAN PIERO DEIDDA

ROVERETO, 25-26 GIUGNO 2009

CAMPI DI APPLICAZIONE DEI METODI SISMICI

Ricerca petrolifera

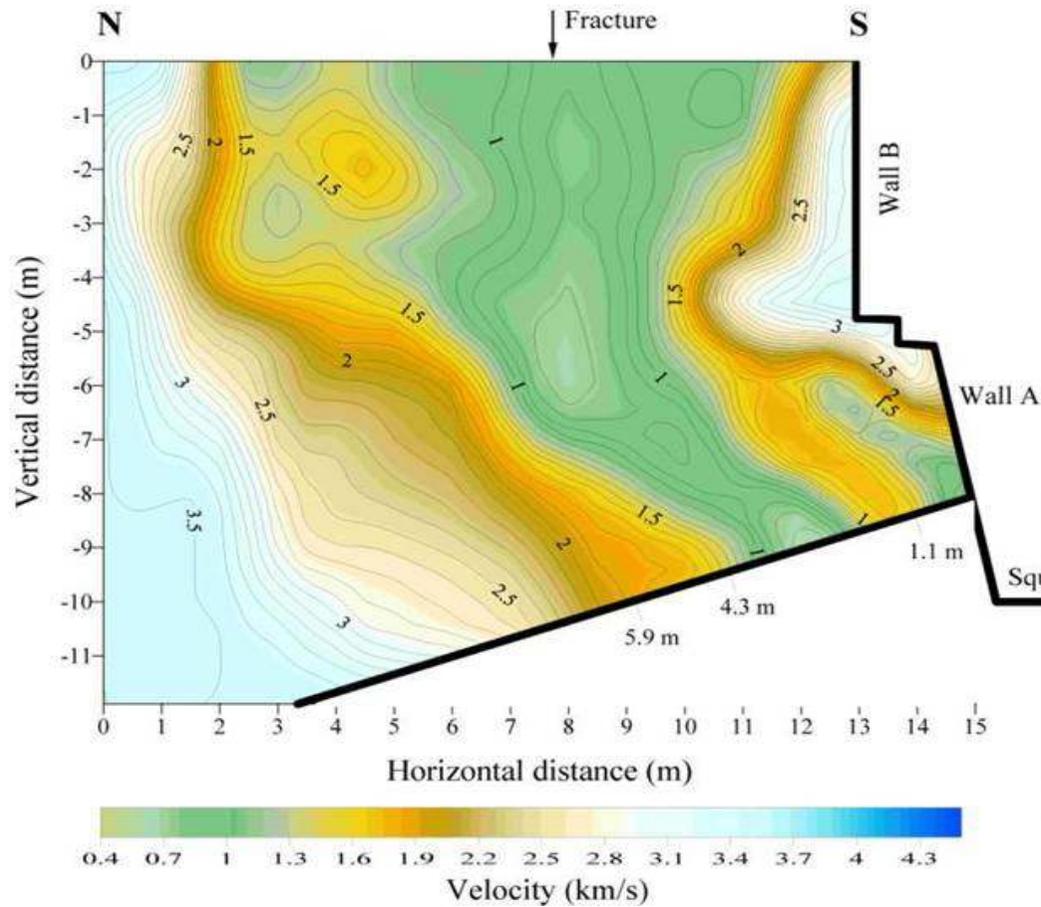


Post-Stack Depth Migration



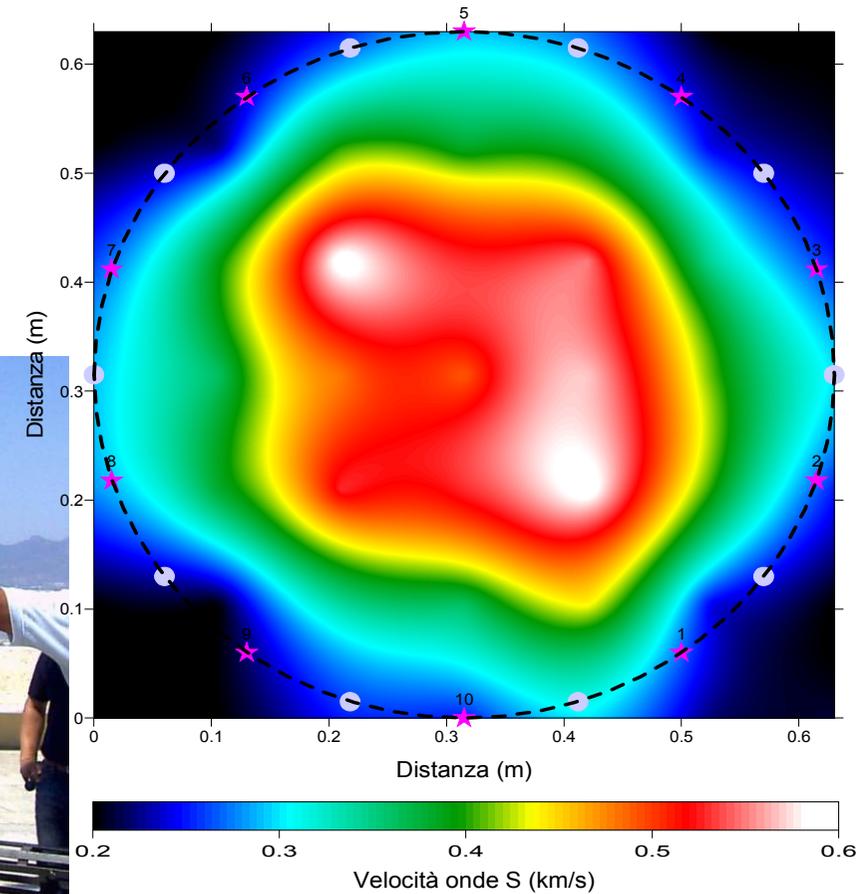
CAMPI DI APPLICAZIONE DEI METODI SISMICI

Ingegneria geotecnica



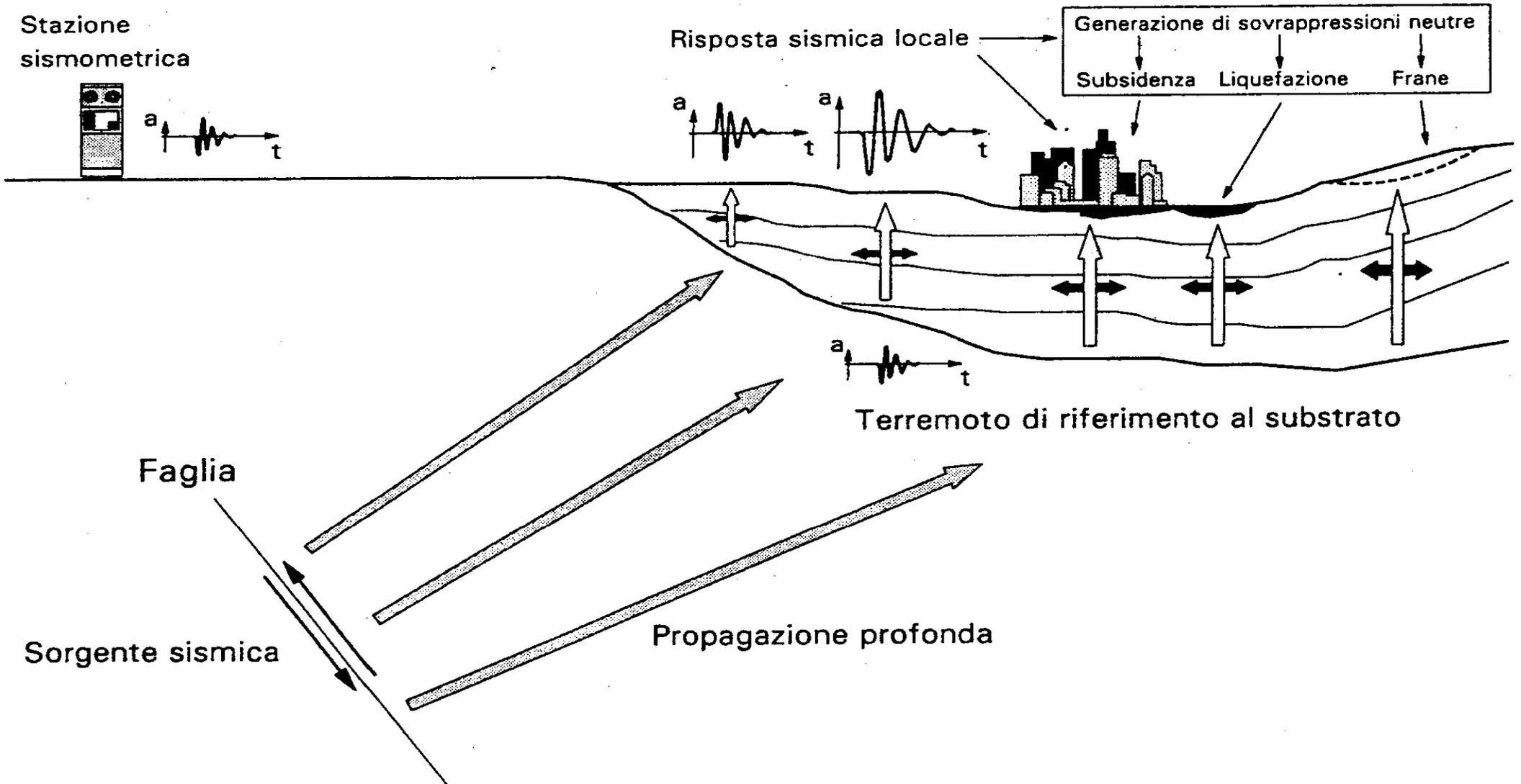
CAMPI DI APPLICAZIONE DEI METODI SISMICI

Indagini non distruttive



CAMPI DI APPLICAZIONE DEI METODI SISMICI

Ingegneria sismica: Effetti di Sito



UTILITÀ DEI METODI SISMICI

Informazioni ottenibili

Informazioni Geometriche

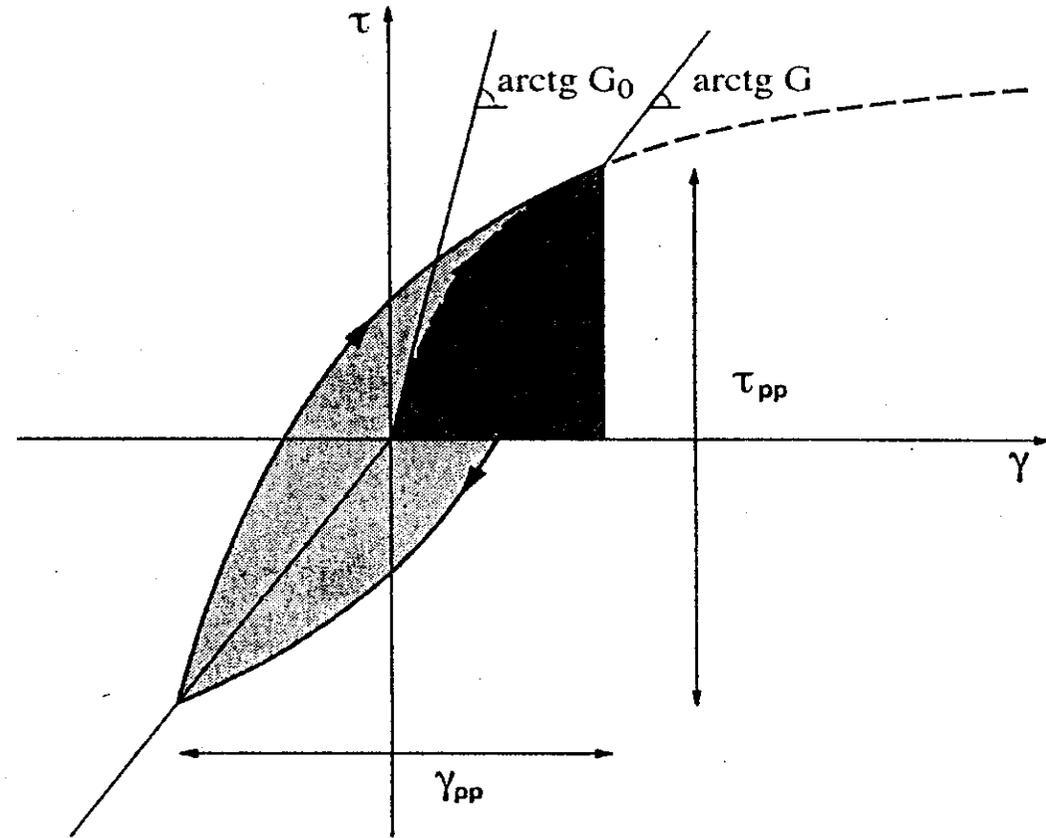
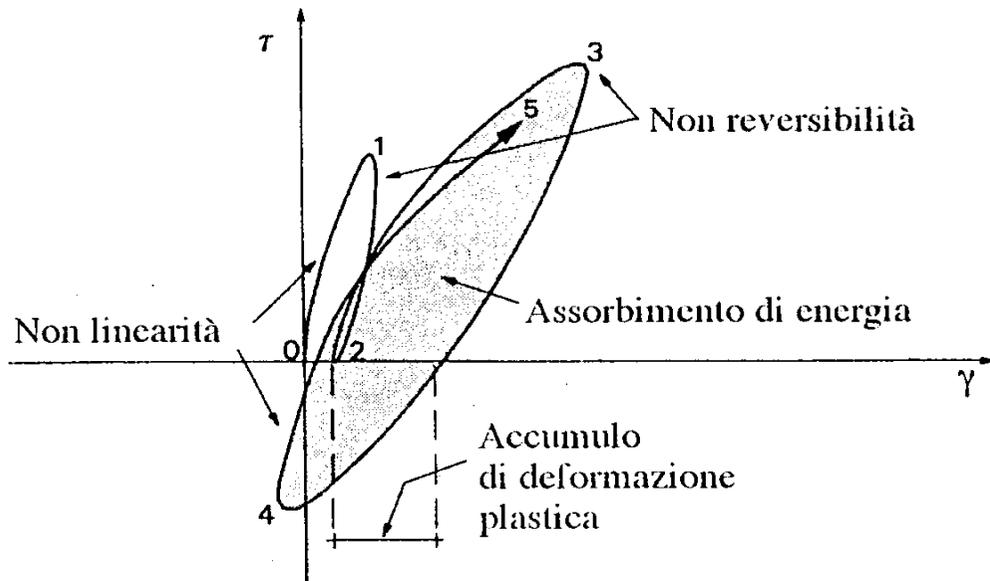
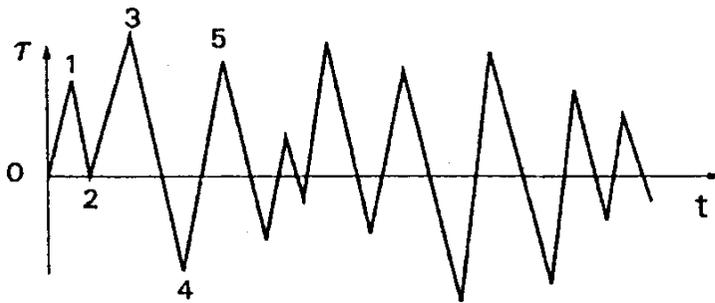
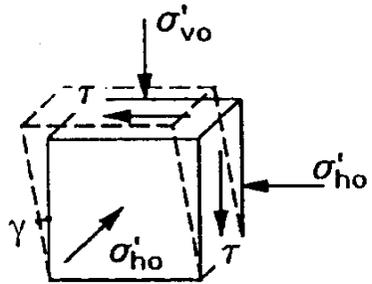
- 1- Profondità del basamento
- 2- Localizzazione di faglie e zone di fratturazione
- 3- Rigetto delle faglie
- 4- Localizzazione di paleovalvi
- 5- Stratigrafia
- 6-

Informazioni fisiche

- 1- Velocità delle onde sismiche e moduli elastici
- 2- Attenuazione (Q or D)
- 3- Frequenza di risonanza di un sito
- 4- Anisotropia
- 5- Porosità
- 6-

PROPRIETÀ GEOTECNICHE DEI TERRENI

Modulo di Taglio e Rapporto di Smorzamento

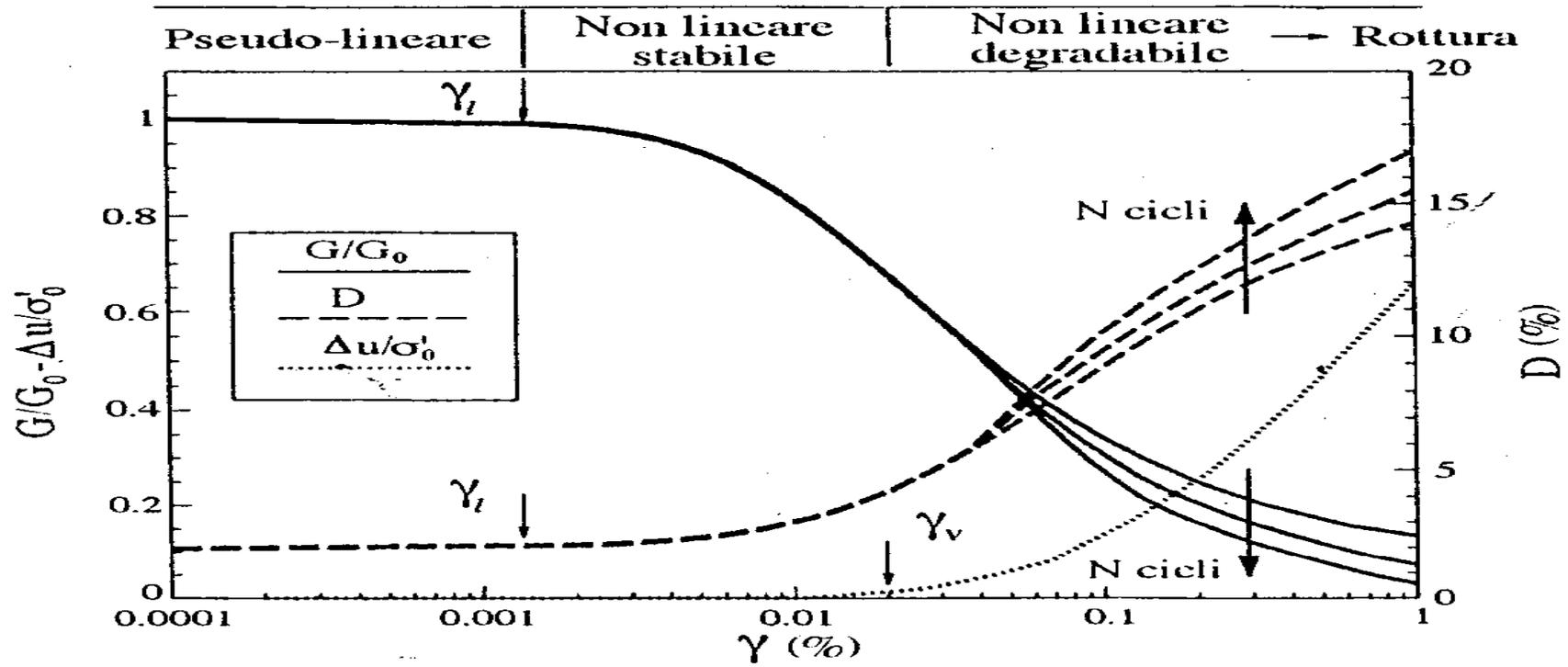


$$G = \frac{\tau_{pp}}{\gamma_{pp}} \quad D = \frac{W_D}{4\pi W_S}$$

$W_D = \text{Area}$  = Energia dissipata nel ciclo
 $W_S = \text{Area}$  = Energia accumulata nel 1° carico

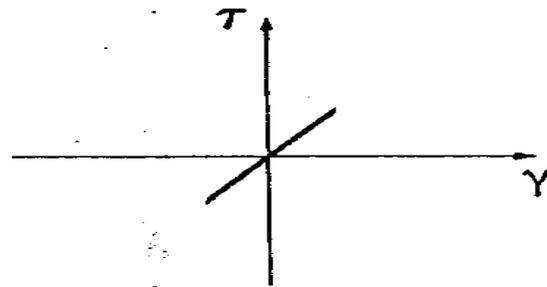
PROPRIETÀ GEOTECNICHE DEI TERRENI

Curve di degradazione



$$\gamma < \gamma_l$$

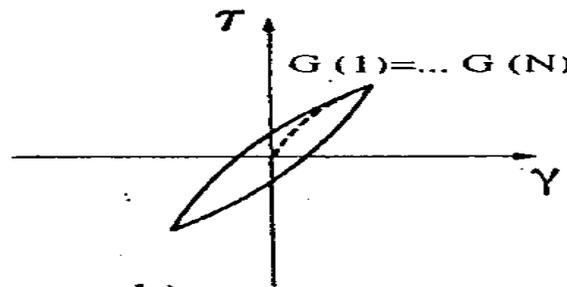
piccole deformazioni



a)

$$\gamma_l < \gamma < \gamma_v$$

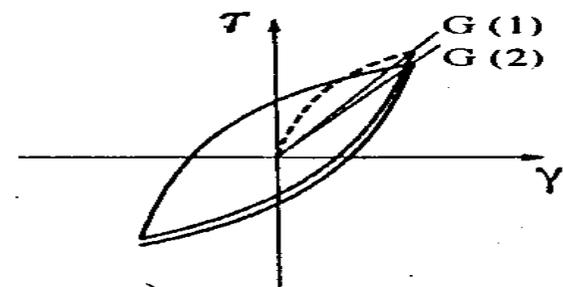
medie deformazioni



b)

$$\gamma > \gamma_v$$

grandi deformazioni



c)

METODI SISMICI PER ONDE S

METODI INVASIVI

Crosshole e Downhole

Seismic Cone Penetration Test

PS logging

METODI NON INVASIVI

Sismica a rifrazione

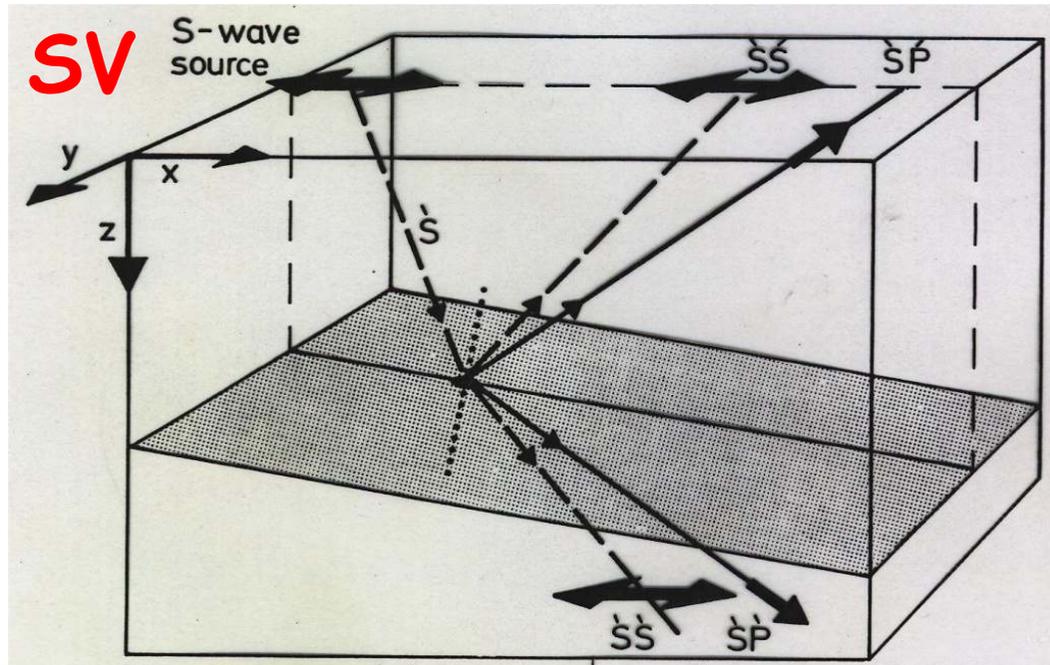
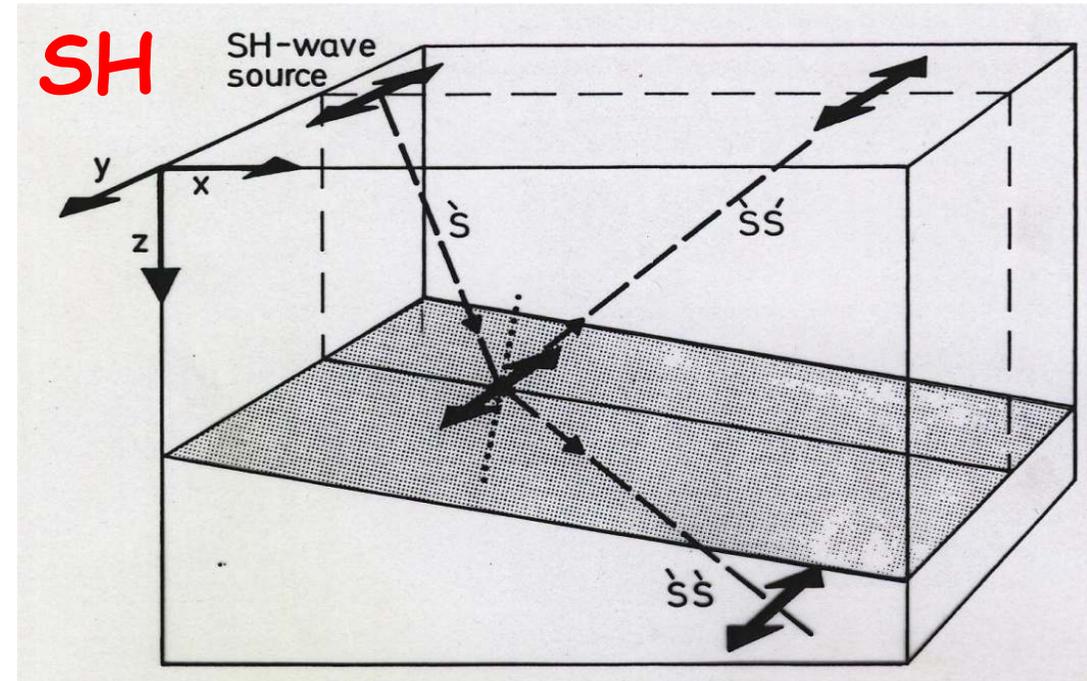
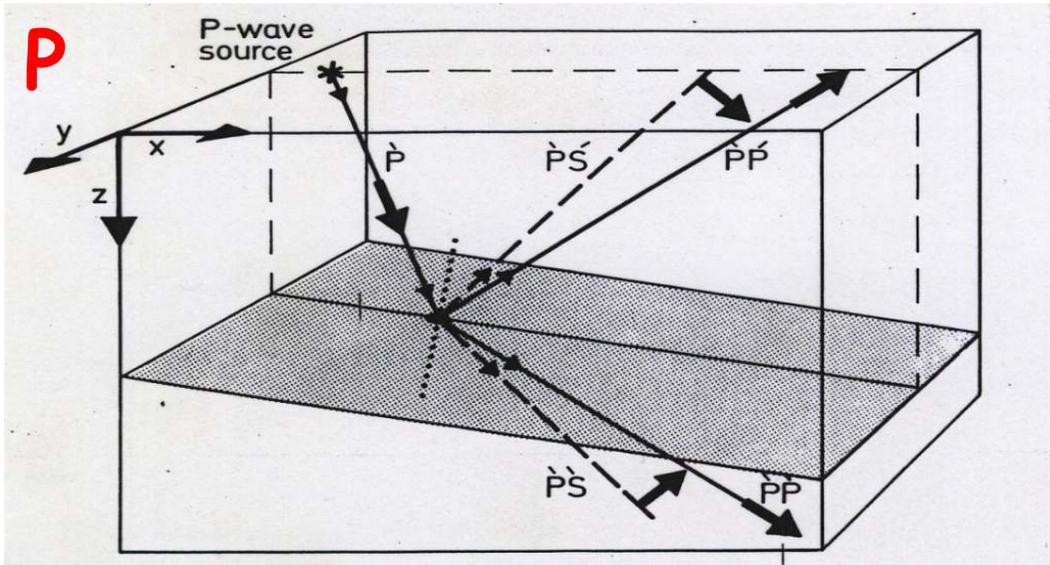
Onde superficiali

metodi attivi (p.e., SASW e MASW)

metodi passivi (p.e., microtremori)

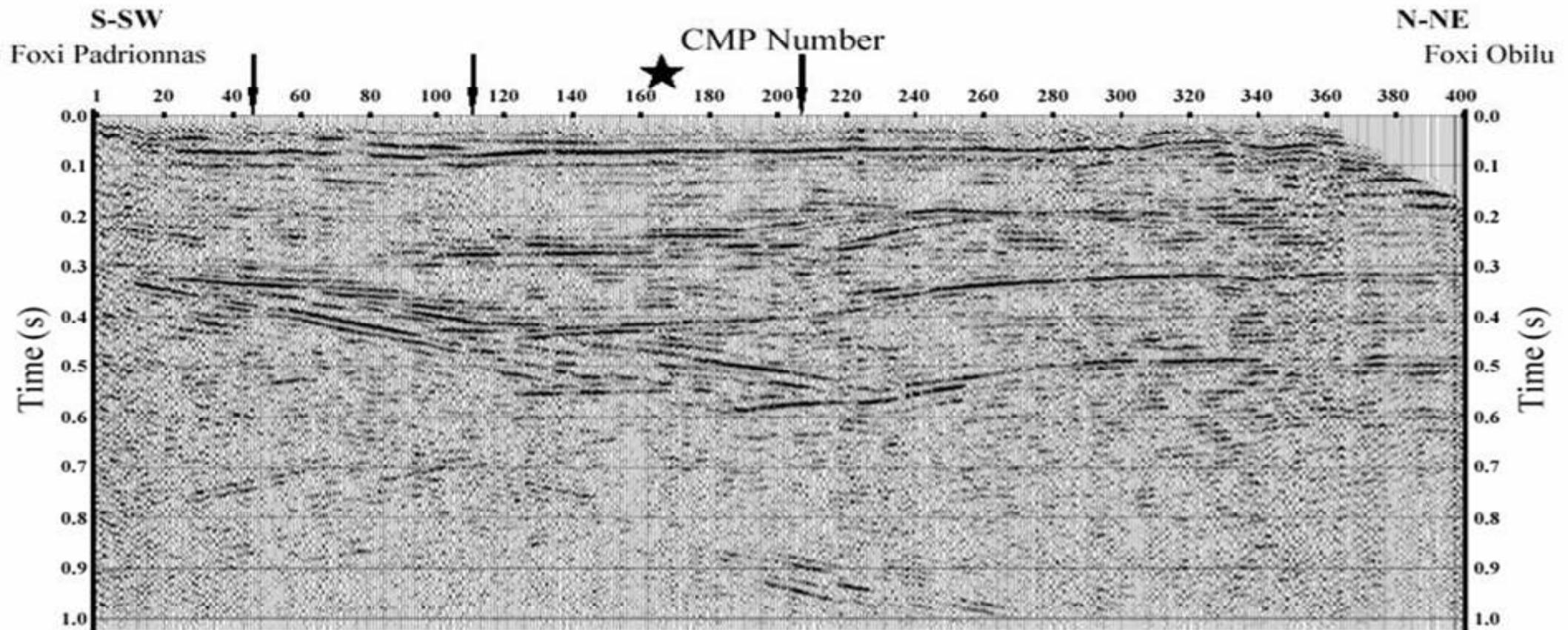
SISMICA A RIFLESSIONE SH

PERCHÉ LE ONDE SH?



SISMICA A RIFLESSIONE = TECNICA DI "IMAGING"

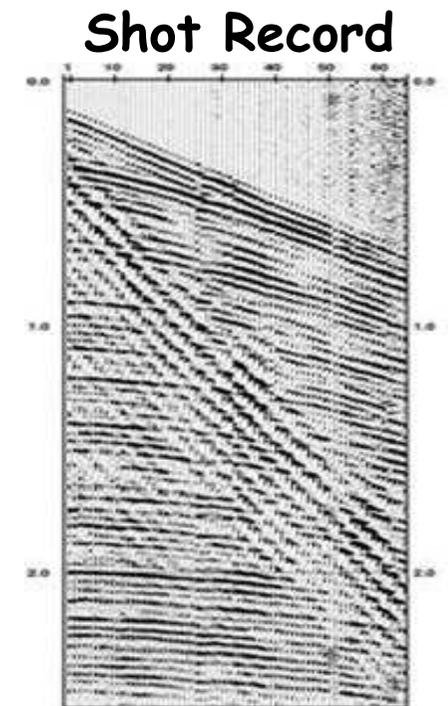
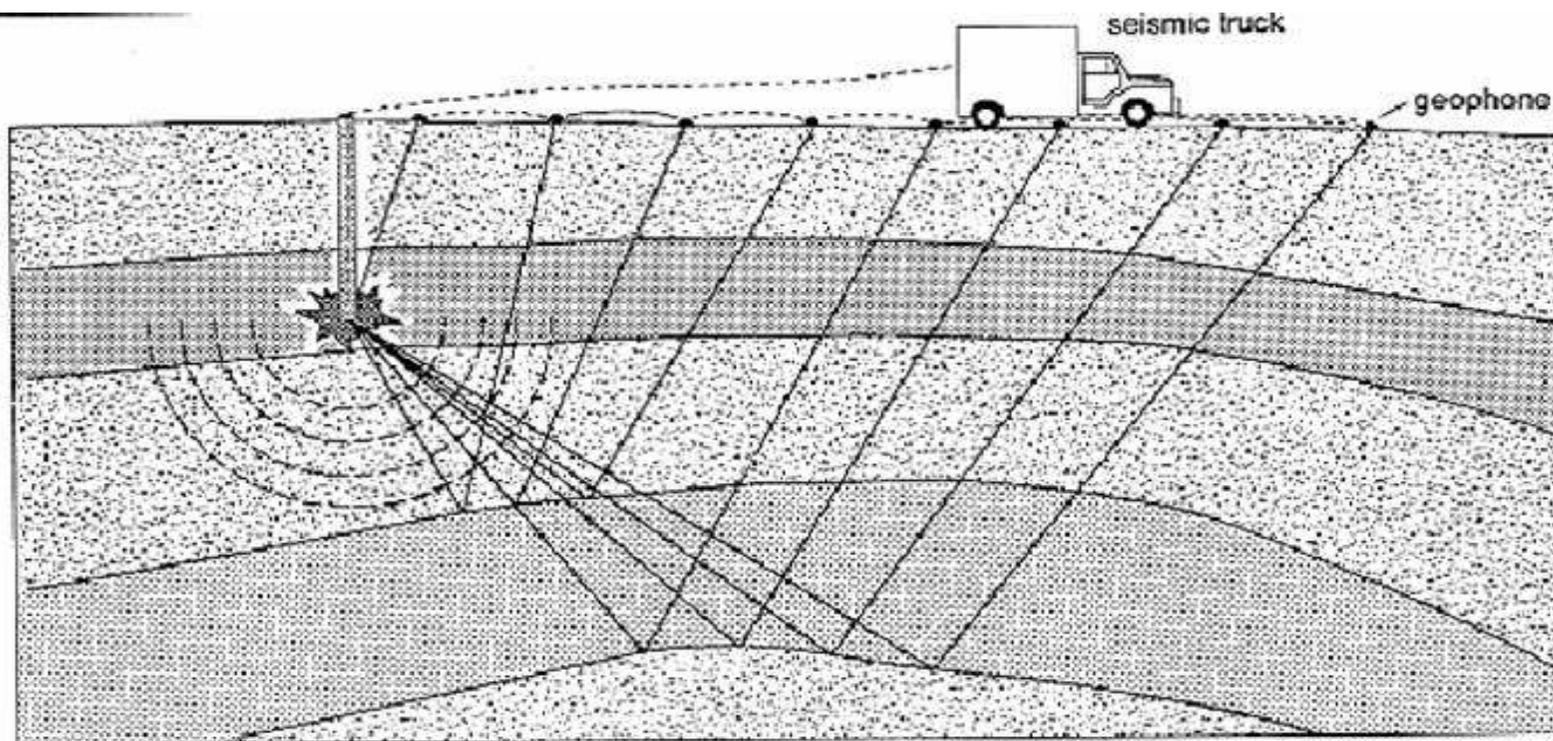
Grazie all'esteso utilizzo nell'esplorazione petrolifera, la sismica a riflessione è il metodo geofisico più "evoluto". Esso viene comunemente utilizzato per produrre immagini del sottosuolo.



METODO SISMICO A RIFLESSIONE

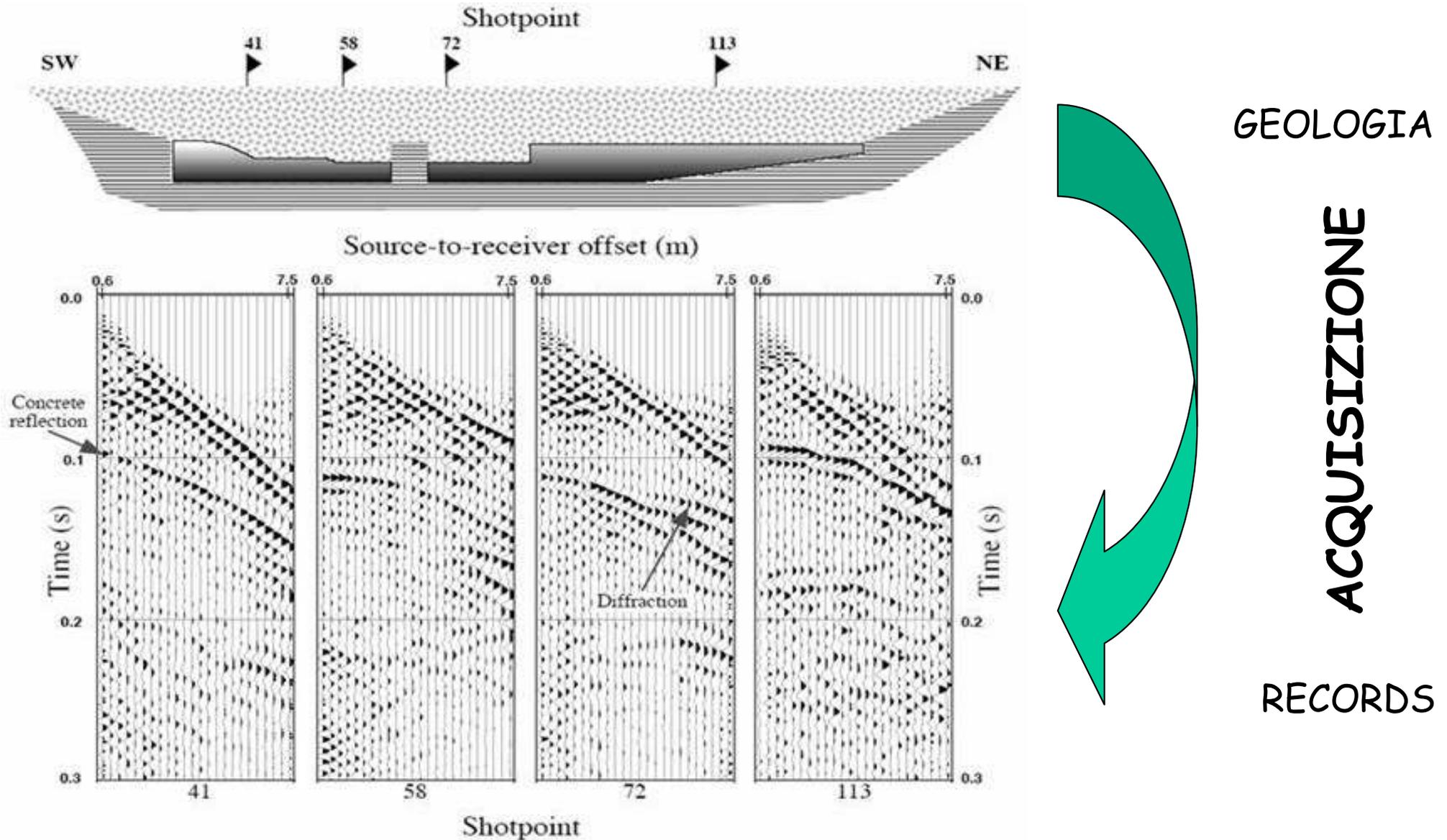
Principio di funzionamento

Una sorgente sismica genera energia meccanica che si propaga nel sottosuolo mediante onde sferiche. Sulla base del principio di Fermat, dopo aver subito fenomeni di rifrazione e riflessione, le onde sismiche vengono captate in superficie da uno stendimento di geofoni. I segnali elettrici provenienti dai geofoni vengono quindi registrati da un sismografo digitale in uno Shot Record.



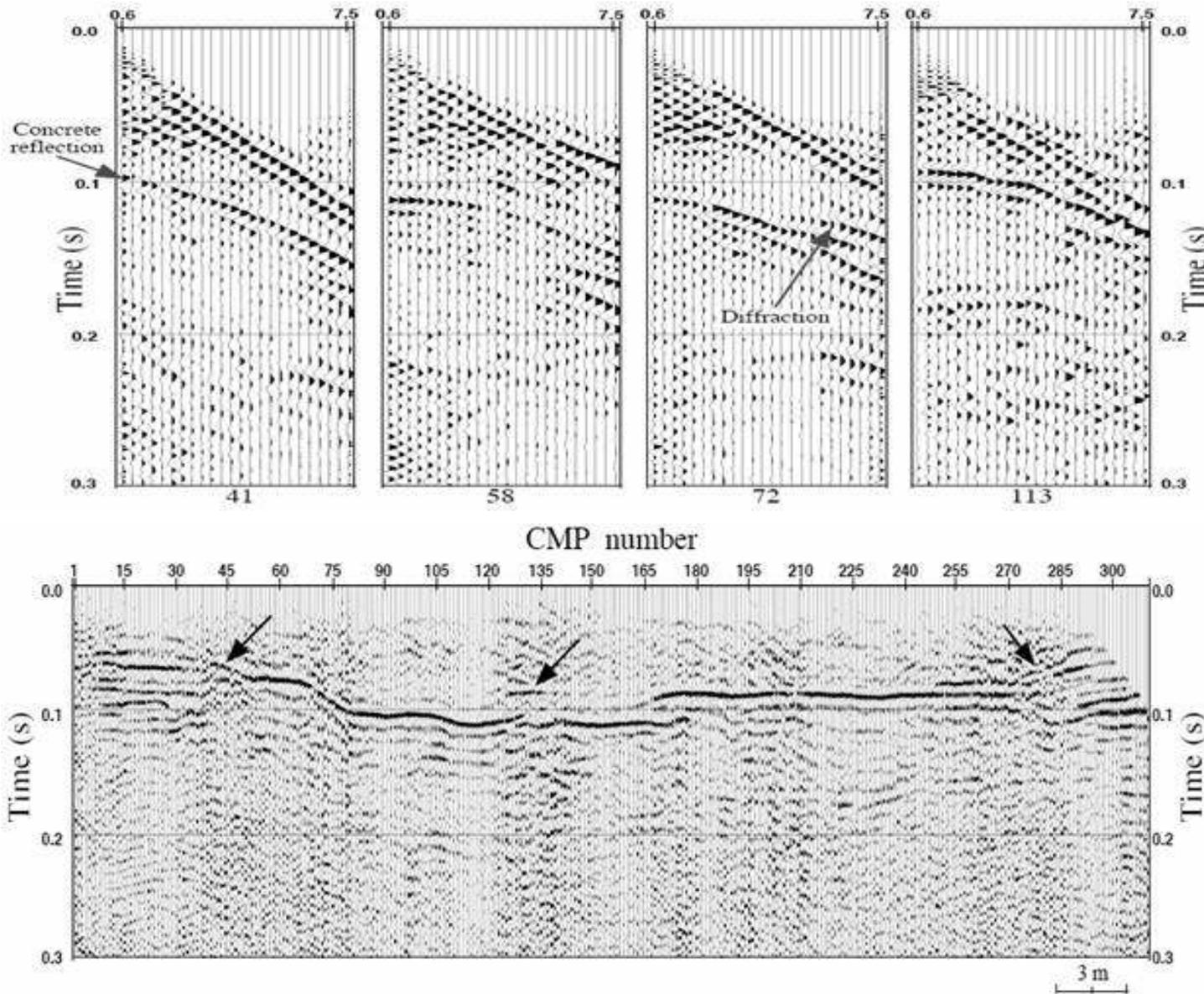
METODO SISMICO A RIFLESSIONE

Imaging sismico 2D: dalla Geologia alla Sezione Sismica



METODO SISMICO A RIFLESSIONE

Imaging sismico 2D: dalla Geologia alla Sezione Sismica



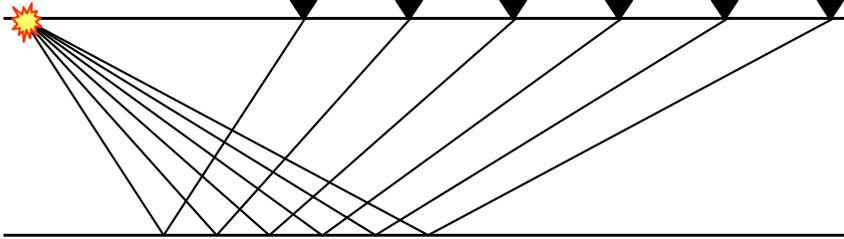
RECORDS

ELABORAZIONE

SEZIONE
SISMICA

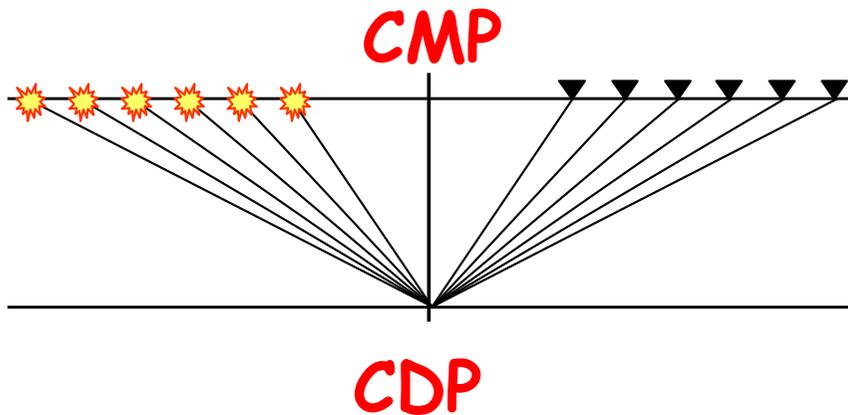


Acquisizione multicanale



Common Shot gather

Le tracce di questa famiglia hanno in comune una stessa posizione di sorgente. I dati a riflessione vengono acquisiti in questa modalità

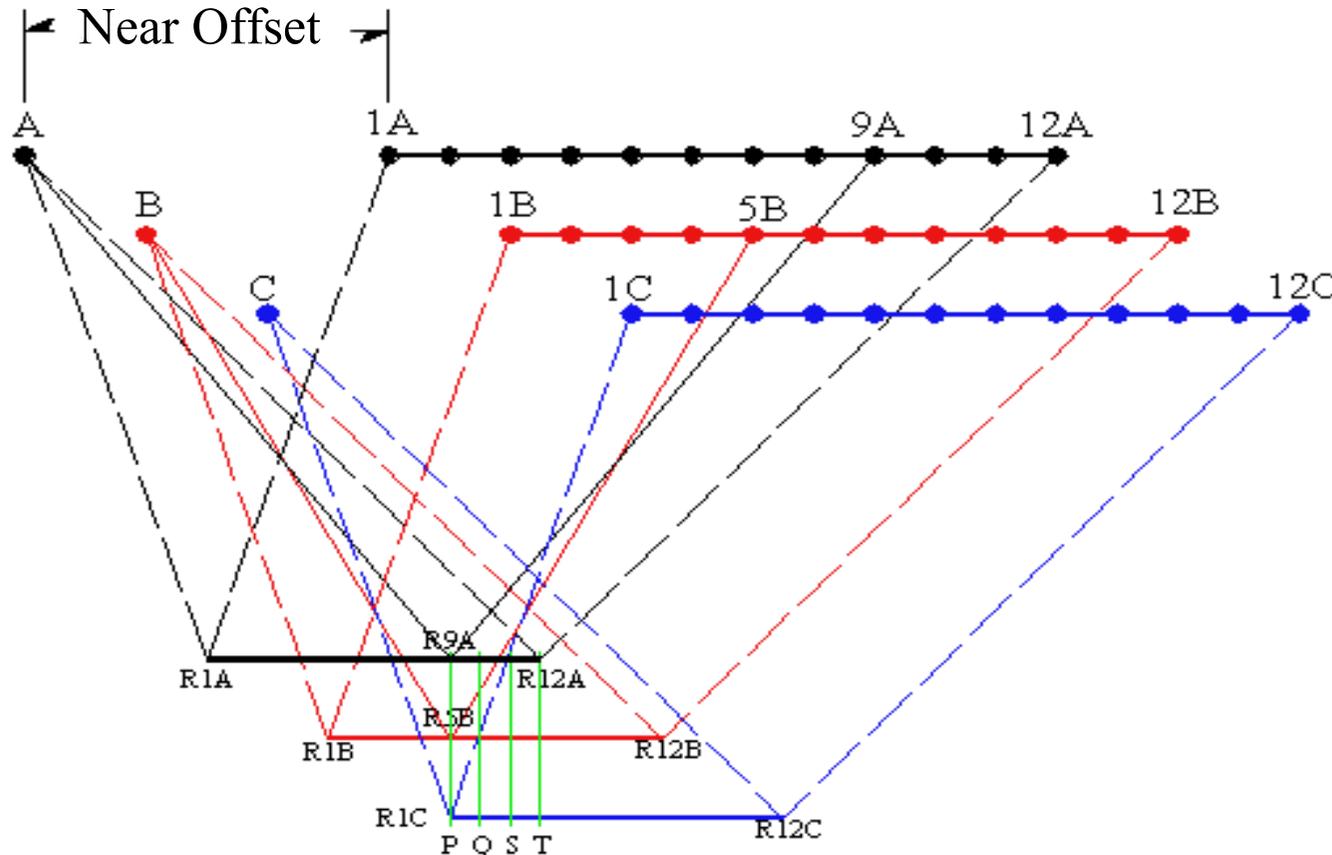


Common Mid Point (CMP) gather

Lo stesso punto CMP è comune a tutte le tracce

ACQUISIZIONE : COPERTURA MULTIPLA

Lo stendimento può essere spostato lungo la linea sismica in modo da campionare più volte i punti sui riflettori. Per esempio, il punto P viene campionato dalla traccia sismica 9 dello "shot record" A, dalla traccia 5 dello "shot record" B, e dalla traccia 1 dello "shot record" C. Questo punto del riflettore, così come i punti Q, S, and T, è detto **CRP** o **CDP**



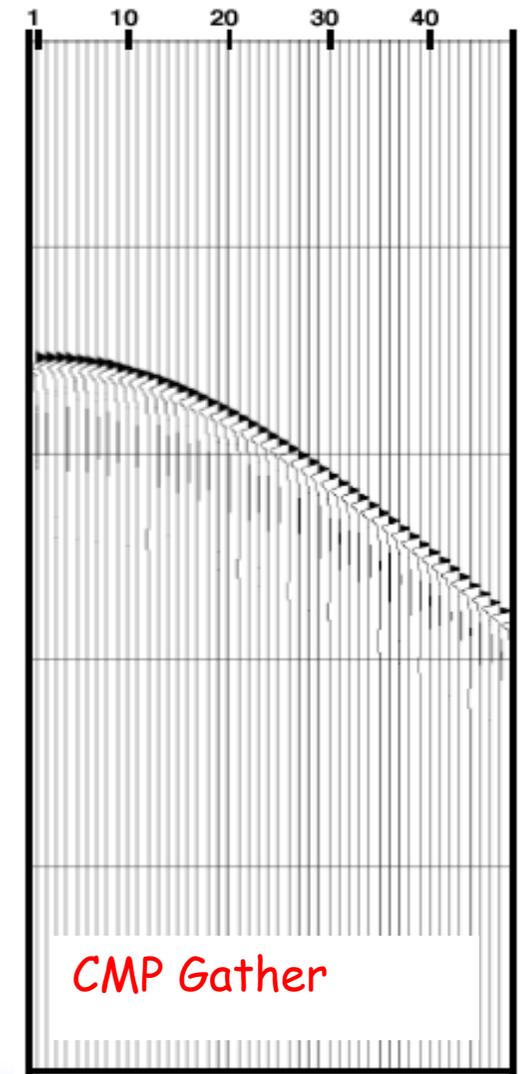
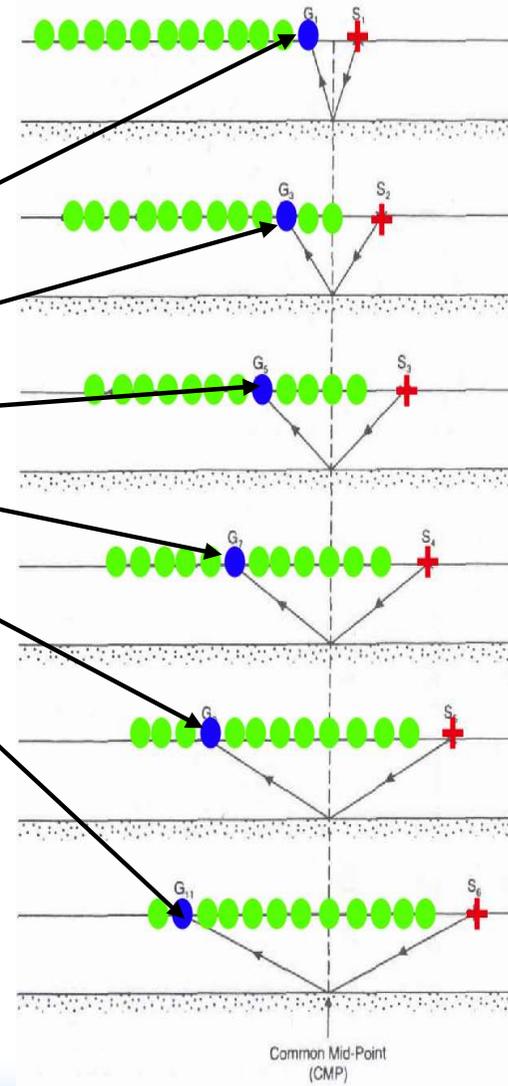
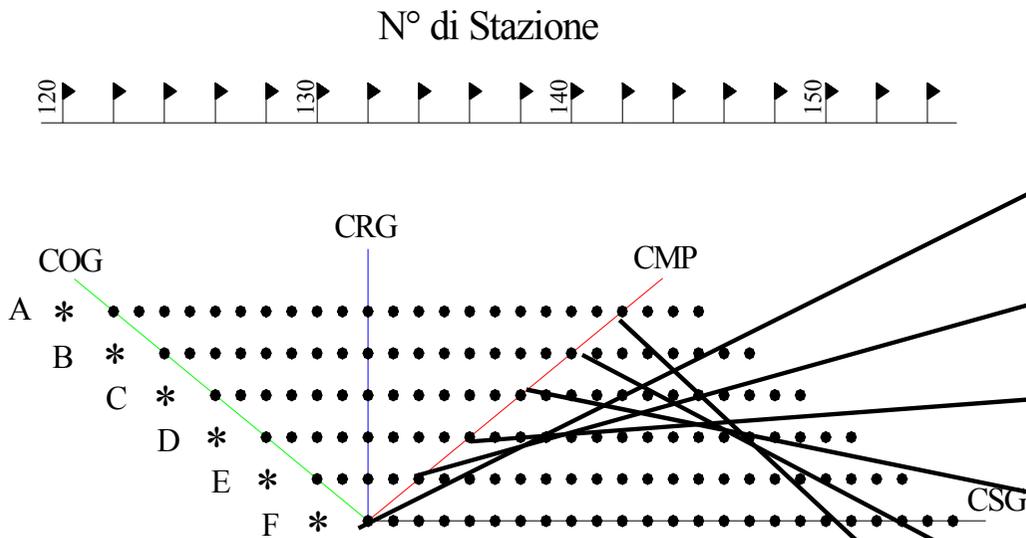
(Common Reflection Point o Common Depth Point).

Il punto sulla superficie coincidente con il punto medio tra sorgente e geofono è detto **CMP** (Common Mid Point).

Il numero di tracce che campionano un CRP definisce la "copertura multipla **CMP**".

CMP Sorting

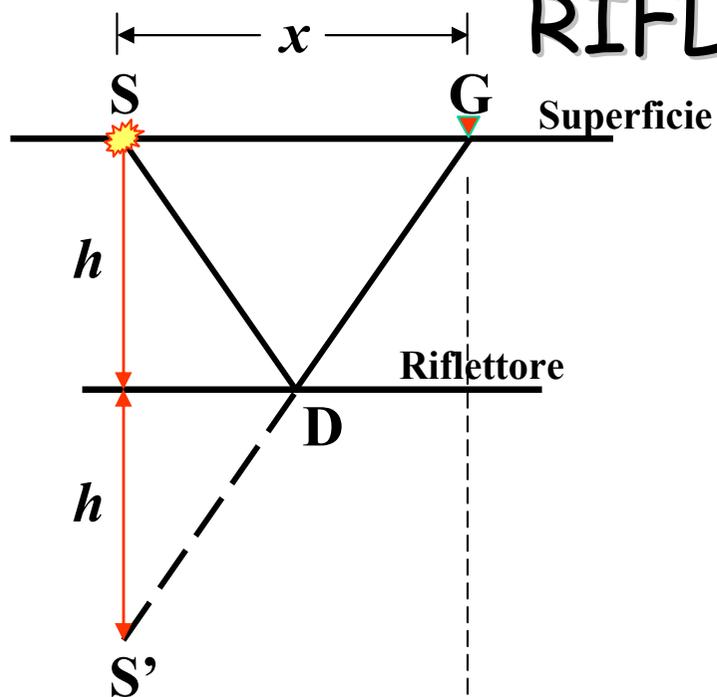
Stacking Chart



CSG = Common Shot Gather
CRG = Common Receiver Gather
COG = Common Offset Gather
CMP = Common Mid Point Gather

CMP Gather

DROMOCRONA ONDA RIFLESSA



$$SD = S'D$$

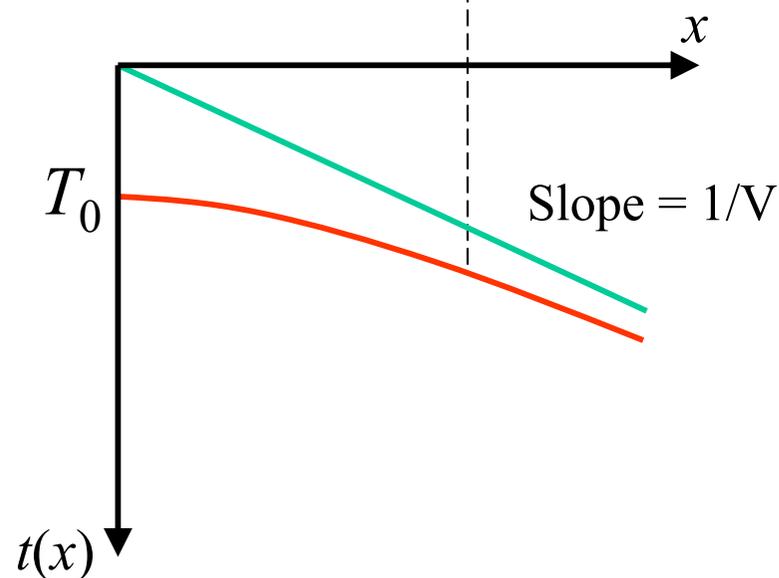
$$SD + DR = S'D + DR$$

Teorema di Pitagora

$$(S'D + DR)^2 = x^2 + (2h)^2$$

$$[V \cdot t(x)]^2 = x^2 + (2h)^2$$

$$t^2(x) = \frac{x^2}{V^2} + \left(\frac{2h}{V}\right)^2 = \frac{x^2}{V^2} + T_0^2$$

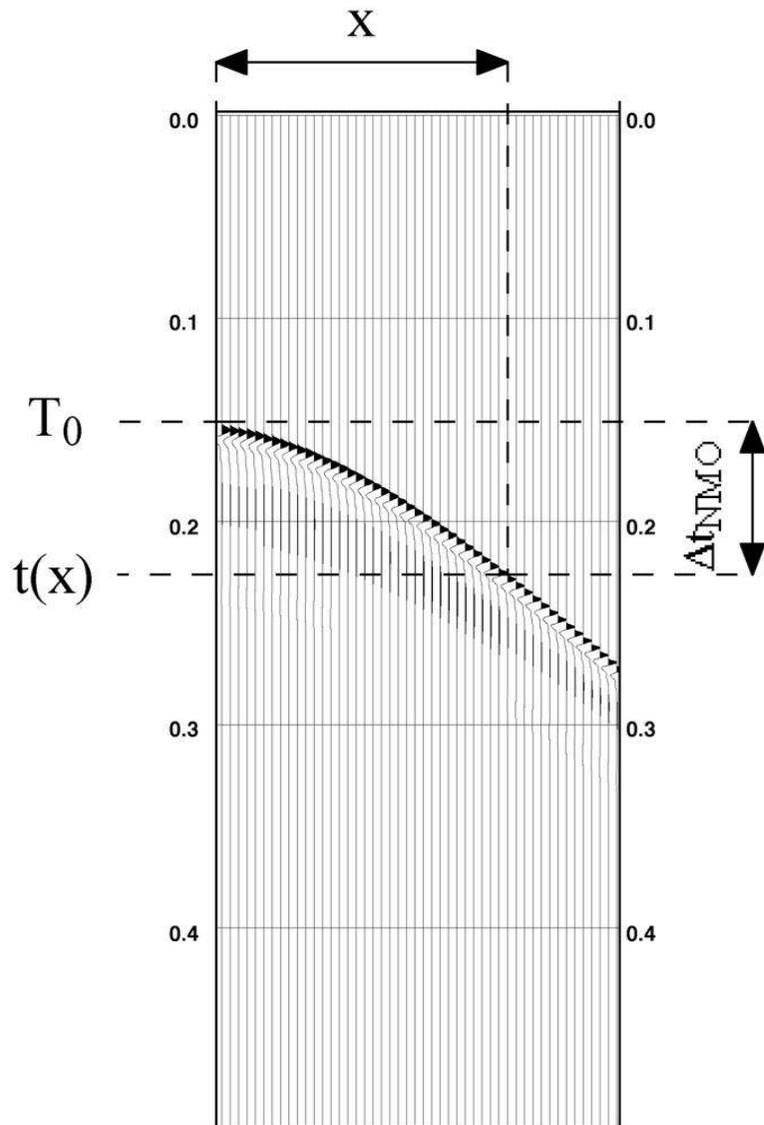


$$t(x) = \sqrt{\frac{x^2}{V^2} + T_0^2}$$

Nel caso di un singolo riflettore la dromocrona è un'iperbole

ESPRESSIONE DEL NORMAL MOVE OUT

Normal Move Out (NMO)



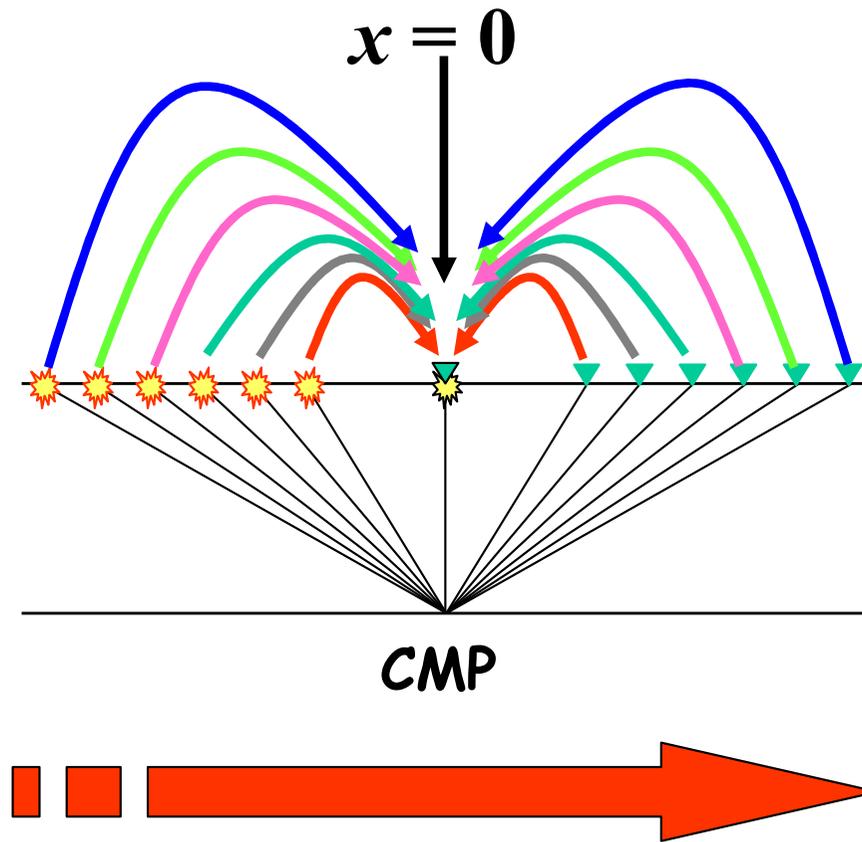
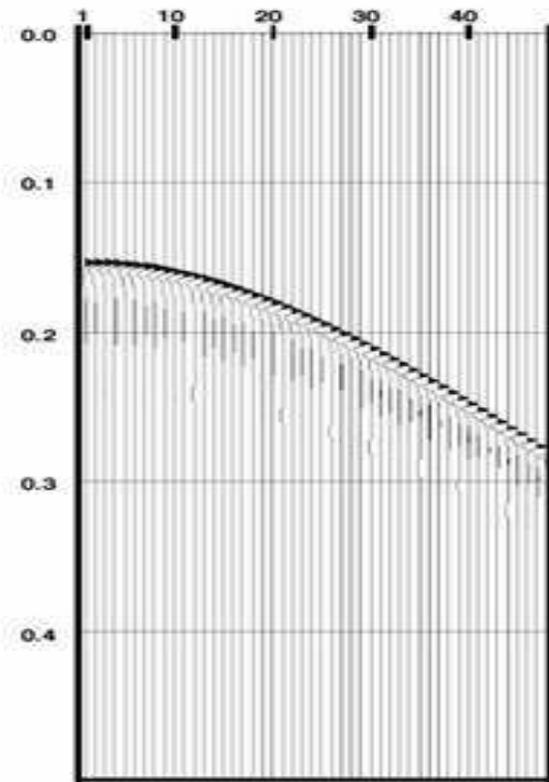
$$\Delta t_{NMO} = t(x) - T_0 = T_0 \left[\sqrt{1 + \left(\frac{x}{V_{NMO} T_0} \right)^2} - 1 \right]$$

Il NMO è la differenza tra il tempo di arrivo di un segnale riflesso ad un offset x , $t(x)$ e il tempo di andata e ritorno ad offset zero, T_0 . Per piccoli offsets esso può essere approssimato da

$$\Delta t_{NMO} \approx \frac{x^2}{2 \cdot V_{NMO}^2 \cdot T_0}$$

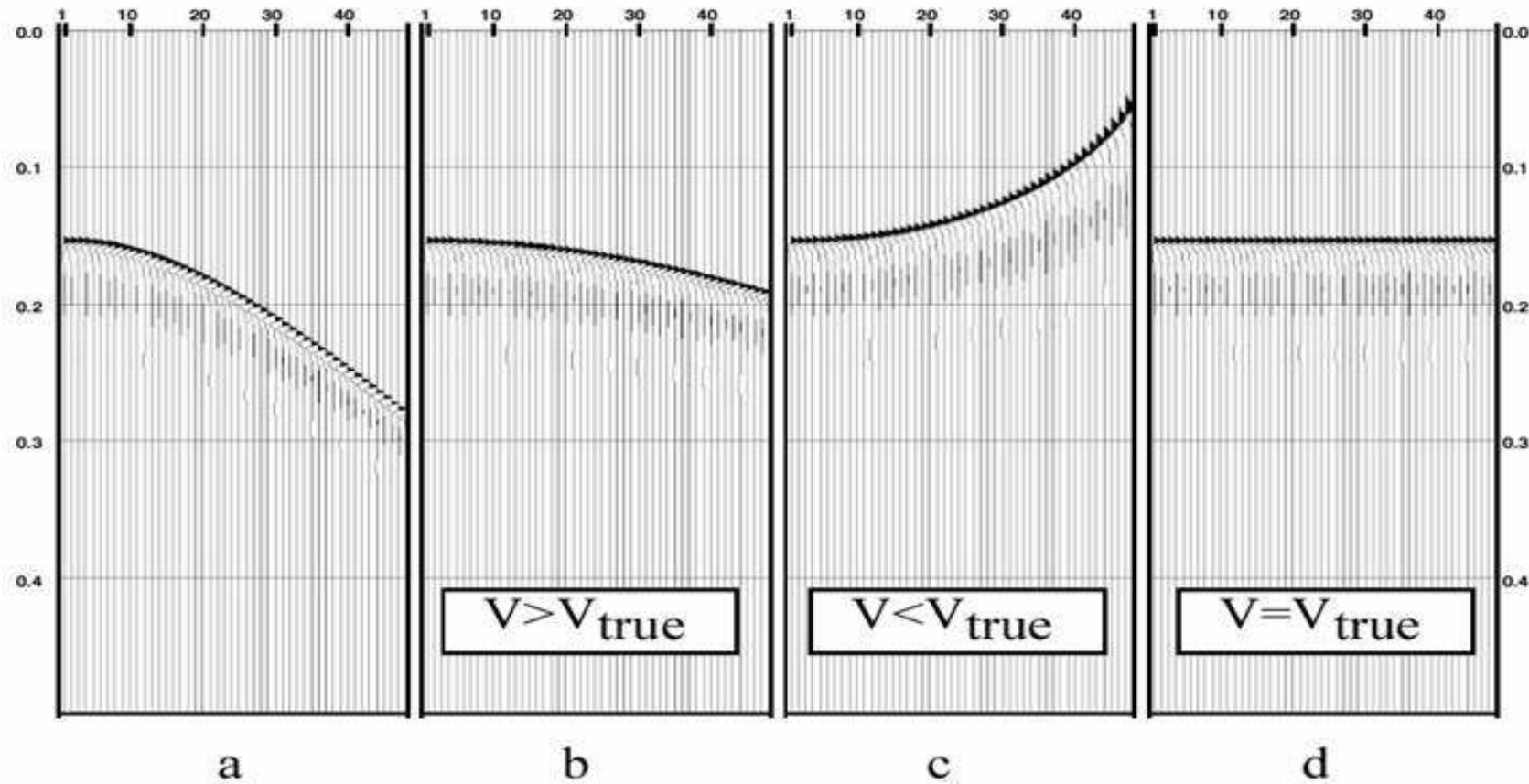
CORREZIONE per NMO

Multi-Offset \rightarrow Zero-Offset



Senza correzione NMO

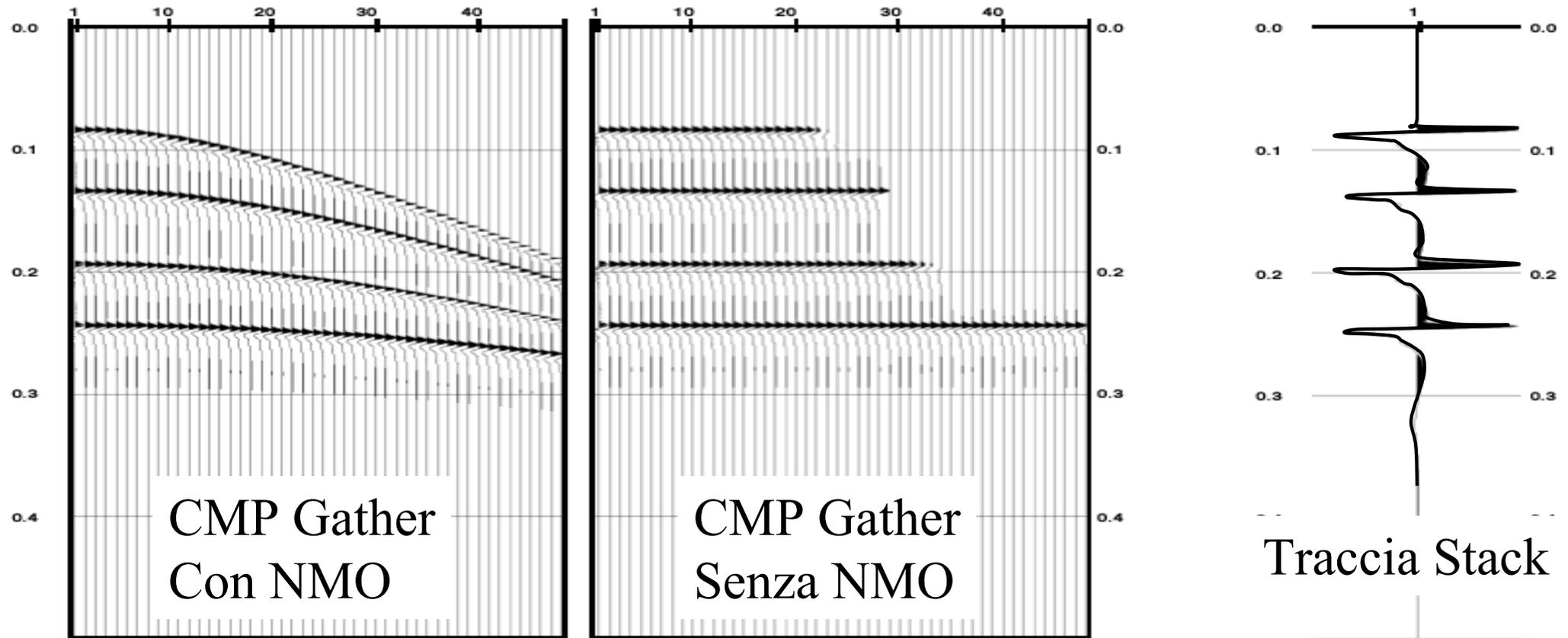
CORREZIONE PER NMO



- a) Riflessione con NMO
- b) Correzione con velocità troppo alta
- c) Correzione con velocità troppo bassa
- d) Correzione con velocità esatta

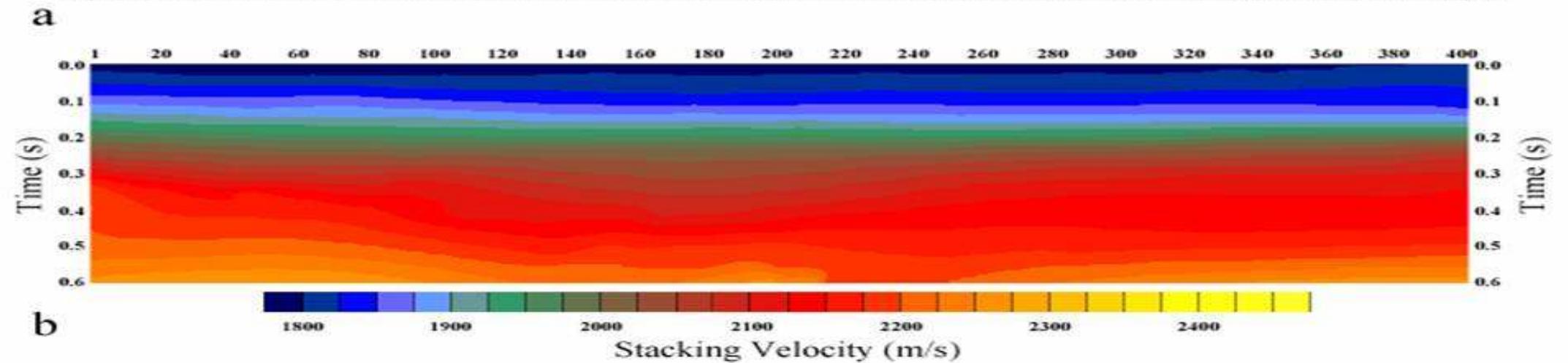
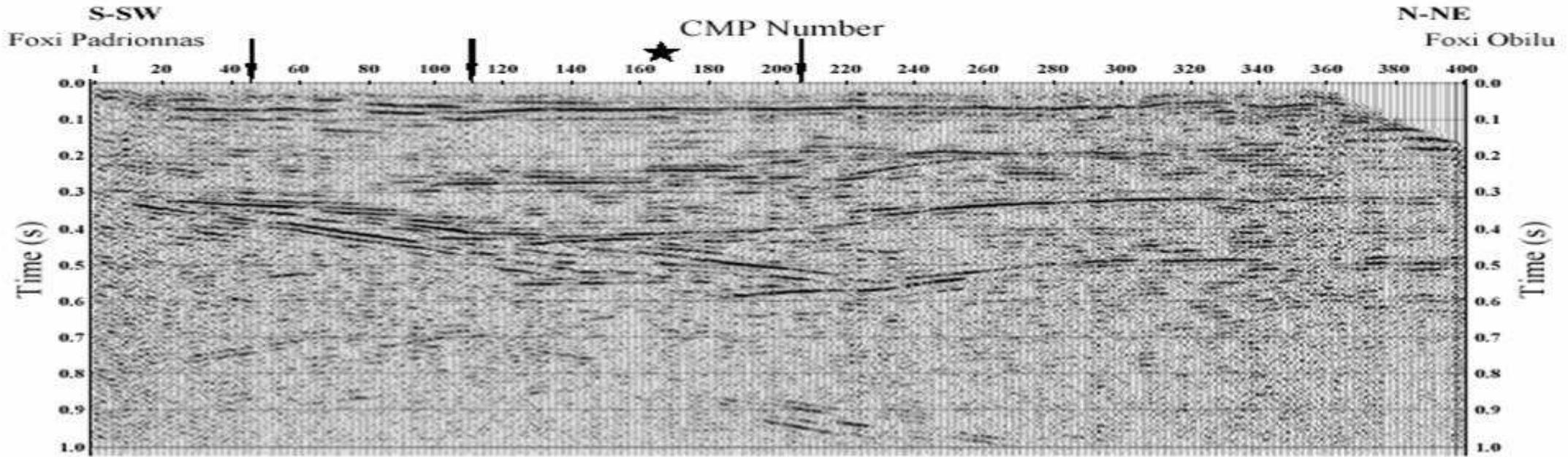
CMP STACKING

Eseguita la correzione per NMO e applicate le correzioni statiche residue le tracce di una famiglia CMP vengono sommate producendo una singola traccia stack con un elevato rapporto segnale/rumore.



L'insieme di tutte le tracce stack, una per ogni posizione CMP, costituisce la Sezione Stack o Sezione zero-offset

ESEMPIO DI SEZIONE SISMICA CON CAMPO DI VELOCITÀ

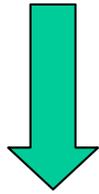


POTENZIALITÀ DELLA SISMICA A RIFLESSIONI

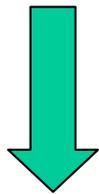
Velocità di propagazione negli strati

Analisi del legame spazio-tempo dei segnali riflessi

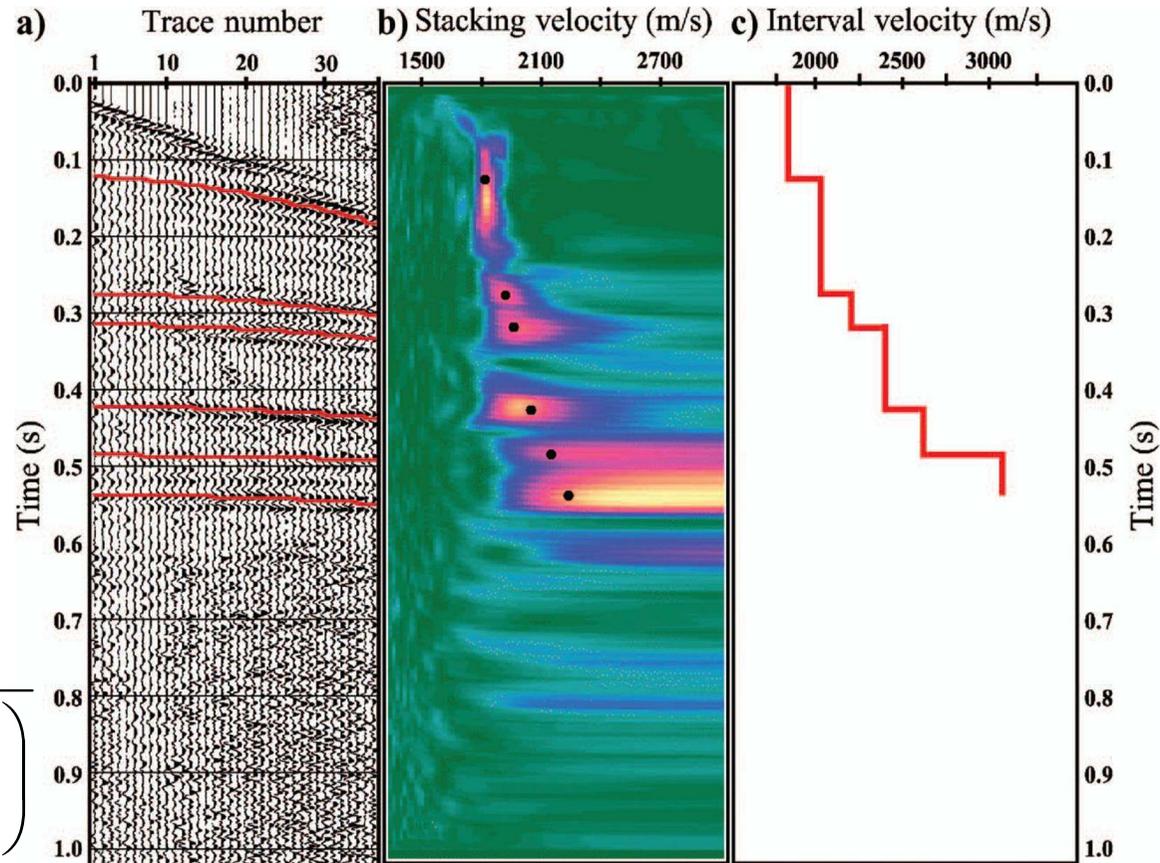
$$t(x) = \sqrt{\frac{x^2}{V^2} + T_0^2}$$



Velocità di Stack



Velocità di Intervallo
(formula di DIX)

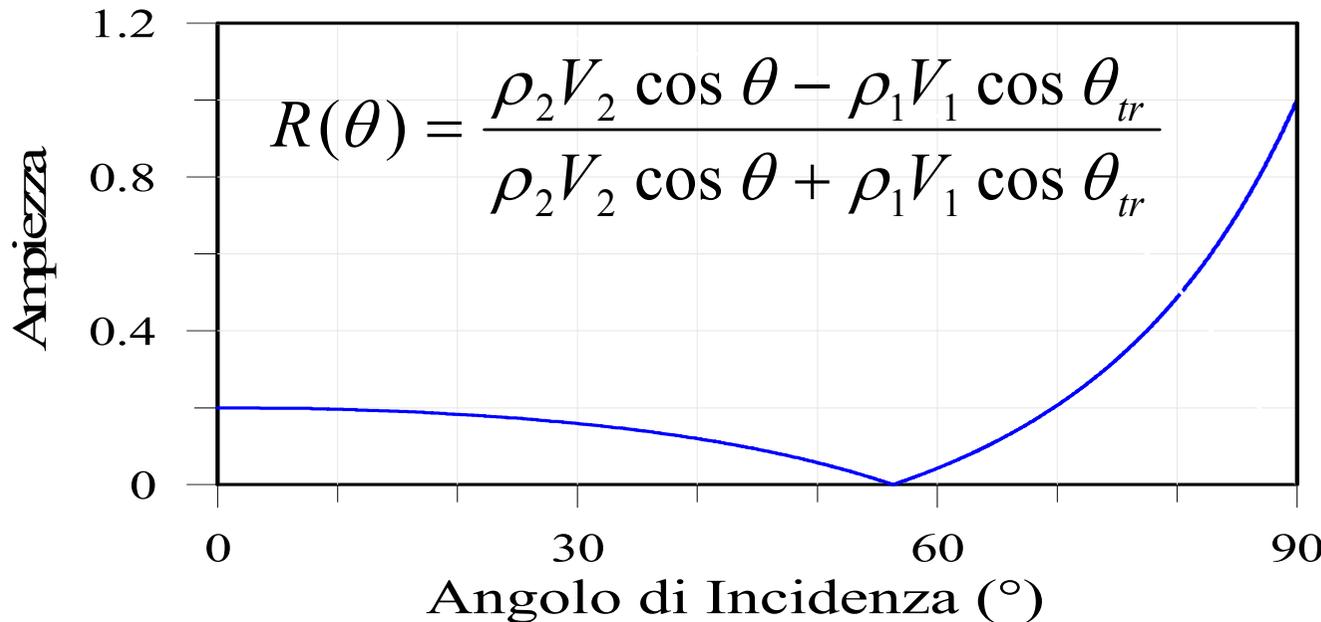
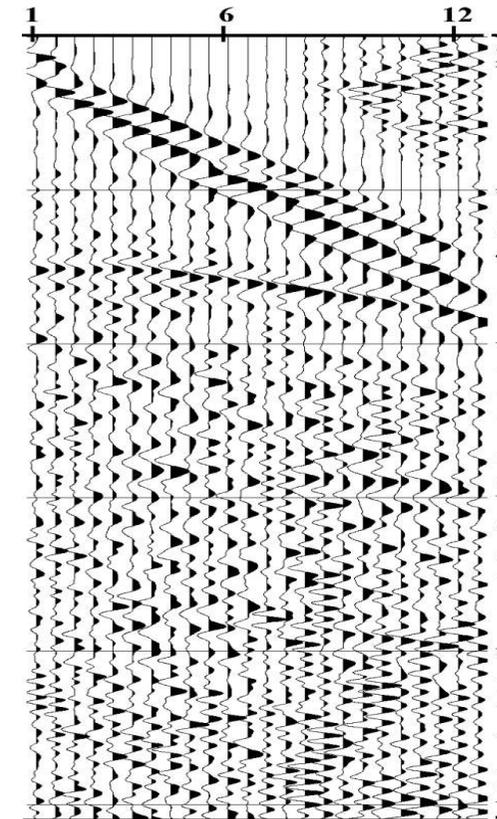
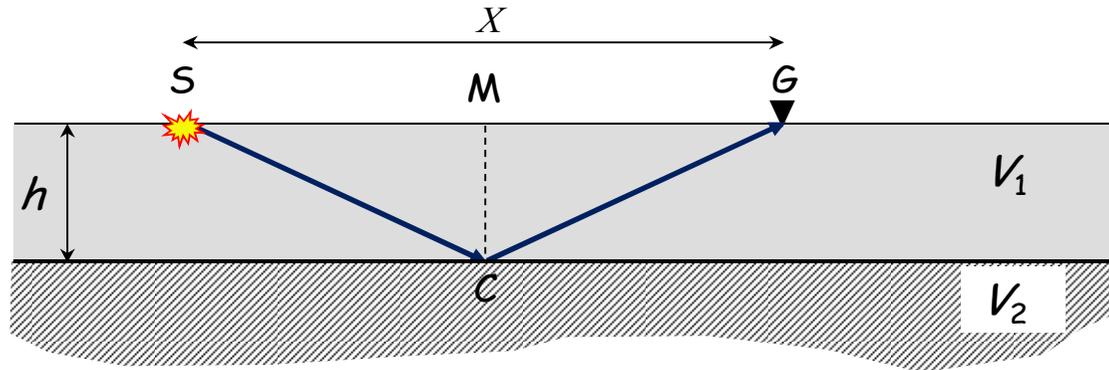


$$V_k \cong \sqrt{\frac{1}{\Delta t_k} \left(V_{stack(k)}^2 \sum_{i=1}^k \Delta t_i - V_{stack(k-1)}^2 \sum_{i=1}^{k-1} \Delta t_i \right)}$$

POTENZIALITÀ DELLA SISMICA A RIFLESSIONI

Velocità di propagazione nel substrato

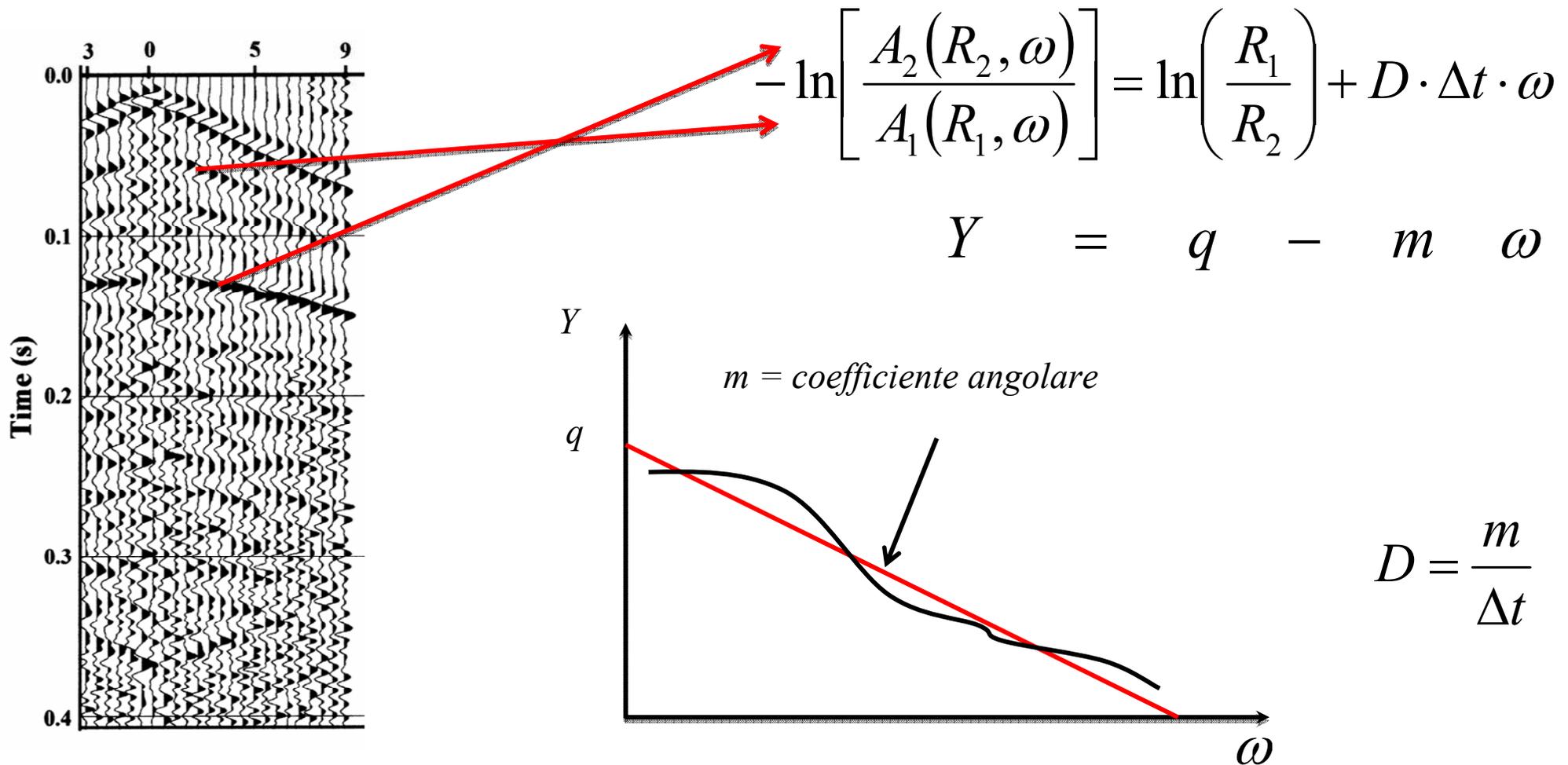
Analisi delle ampiezze: tecnica AVO



POTENZIALITÀ DELLA SISMICA A RIFLESSIONI

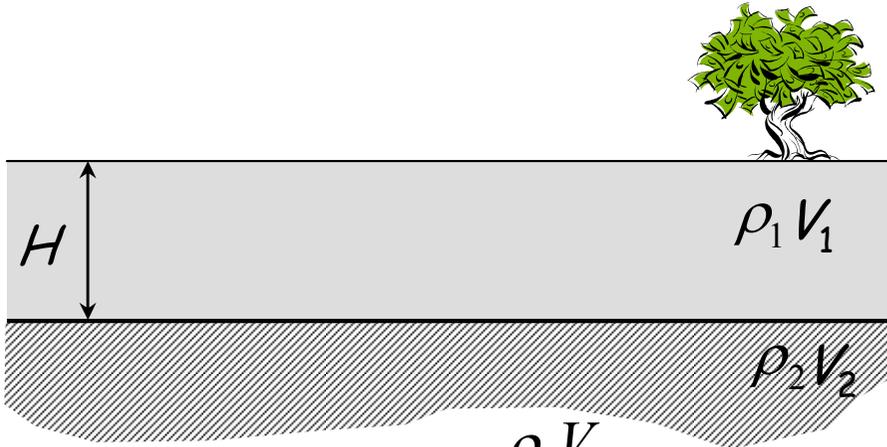
Attenuazione anelastica: rapporto di smorzamento D

Analisi spettrali delle ampiezze



POTENZIALITÀ DELLA SISMICA A RIFLESSIONI

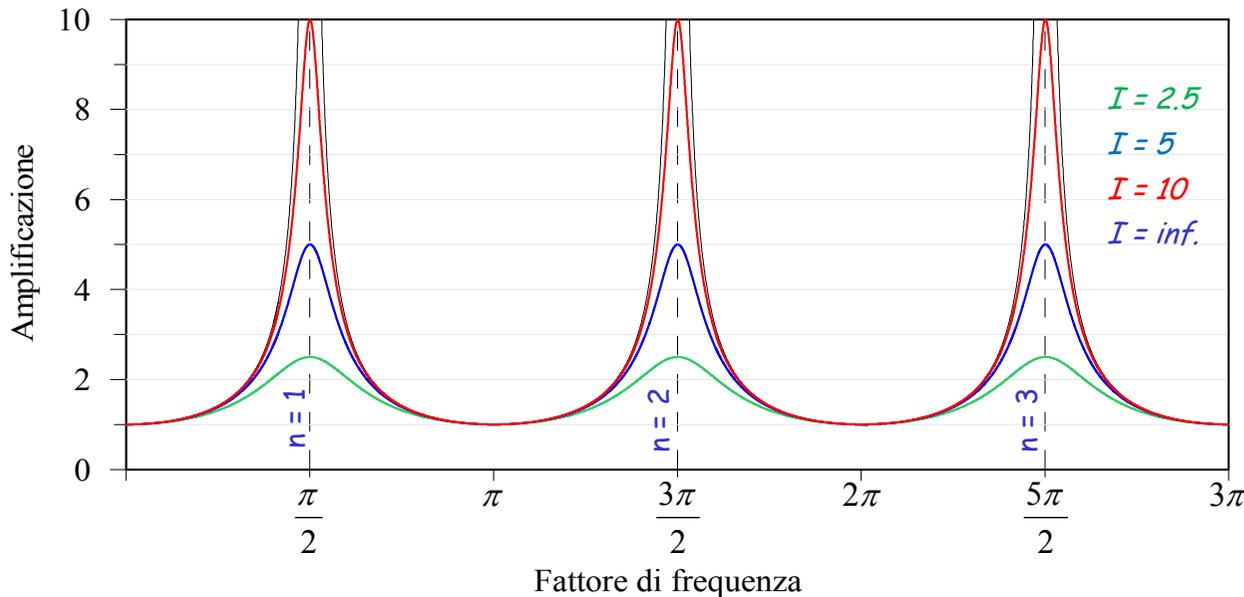
Effetti di sito: periodo di risonanza



$$I = \frac{\rho_2 V_2}{\rho_1 V_1}$$

Funzione di Trasferimento

$$|H(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\cos^2\left(\frac{\omega H}{V_S}\right) + \frac{1}{I^2} \sin^2\left(\frac{\omega H}{V_S}\right)}}$$

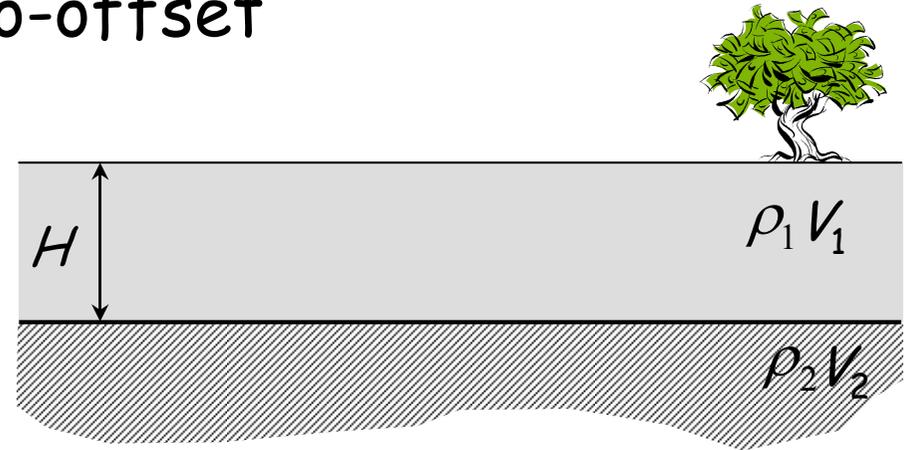
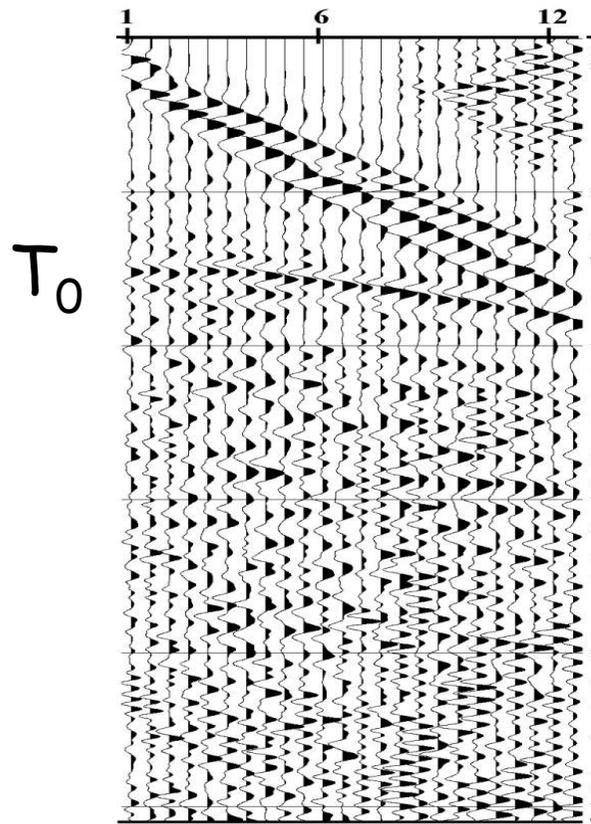


$$T_{fond} = \frac{4H}{V_S}$$

POTENZIALITÀ DELLA SISMICA A RIFLESSIONI

Effetti di sito: periodo di risonanza

Analisi dei tempi di riflessione zero-offset



$$T_0 = \frac{2H}{V_s}$$

$$T_{fond} = \frac{4H}{V_s} = 2T_0$$

...È la tecnica d'indagine
maggiormente utilizzata
nella ricerca petrolifera...

... ha grandi potenzialità ...

Perché è scarsamente
utilizzata in ambito
ingegneristico?



Costi di acquisizione ed elaborazione



Strumentazione:
Registratori
Sorgenti
Ricevitori



Celerità di acquisizione

Novità nell'acquisizione dei dati

Land Streamers



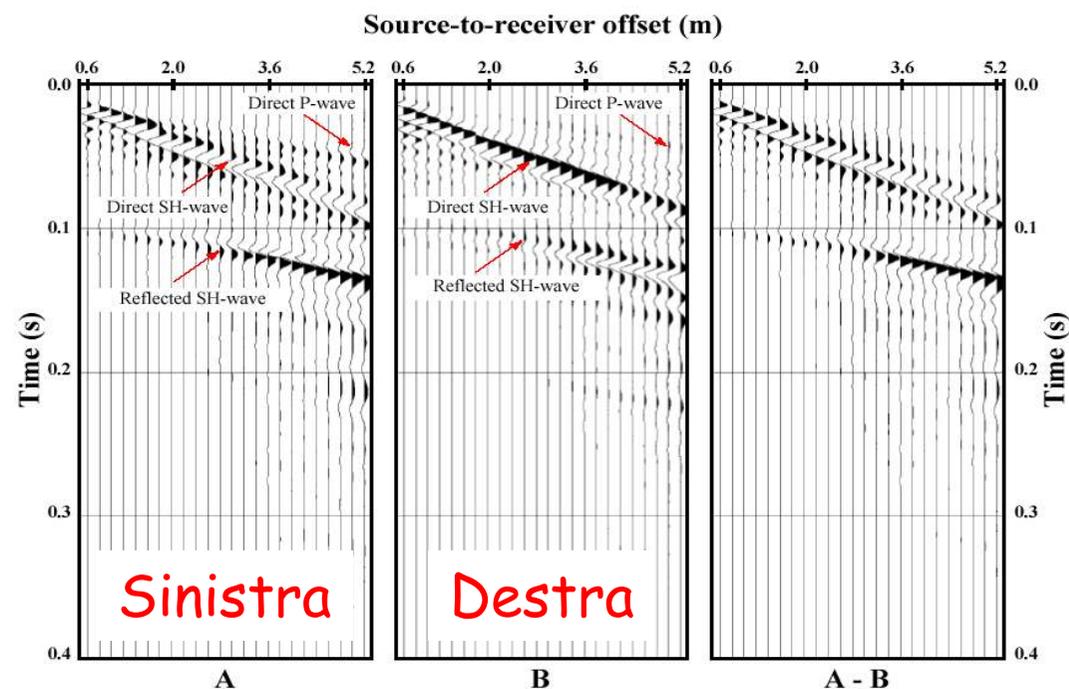
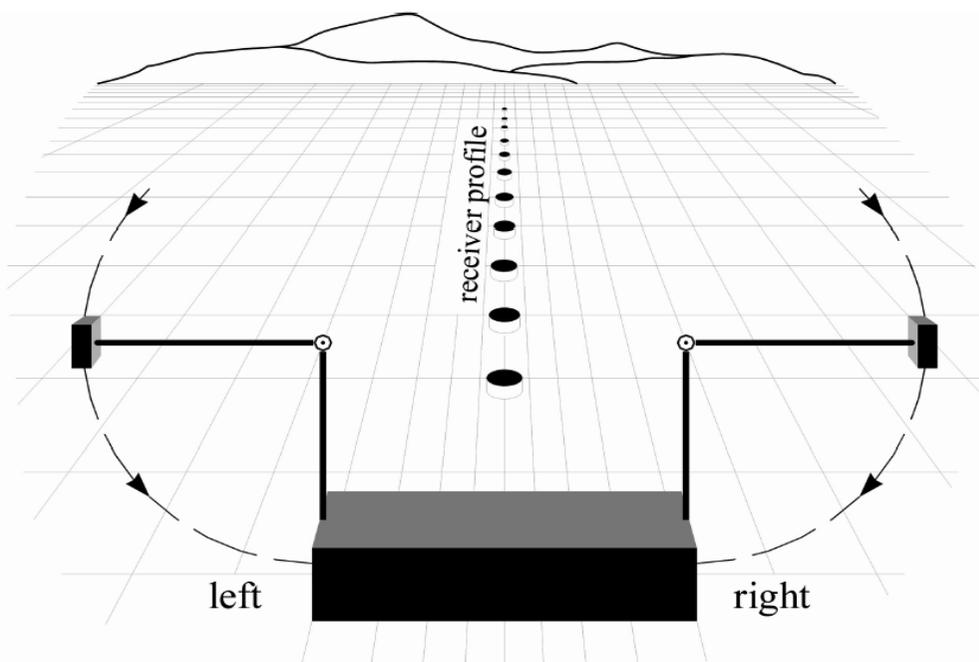
Sorgenti Vibranti

Novità nell'acquisizione dei dati

Procedure

Le registrazioni SH richiedono due Scoppi con versi opposti che devono essere sottratti per attenuare le onde P.

Inoltre, un'attenuazione ottimale delle onde P richiede l'equalizzazione delle ampiezze e la rimozione delle variazioni del tempo zero (determinate mediante crosscorrelazione) delle registrazioni prima della sottrazione.

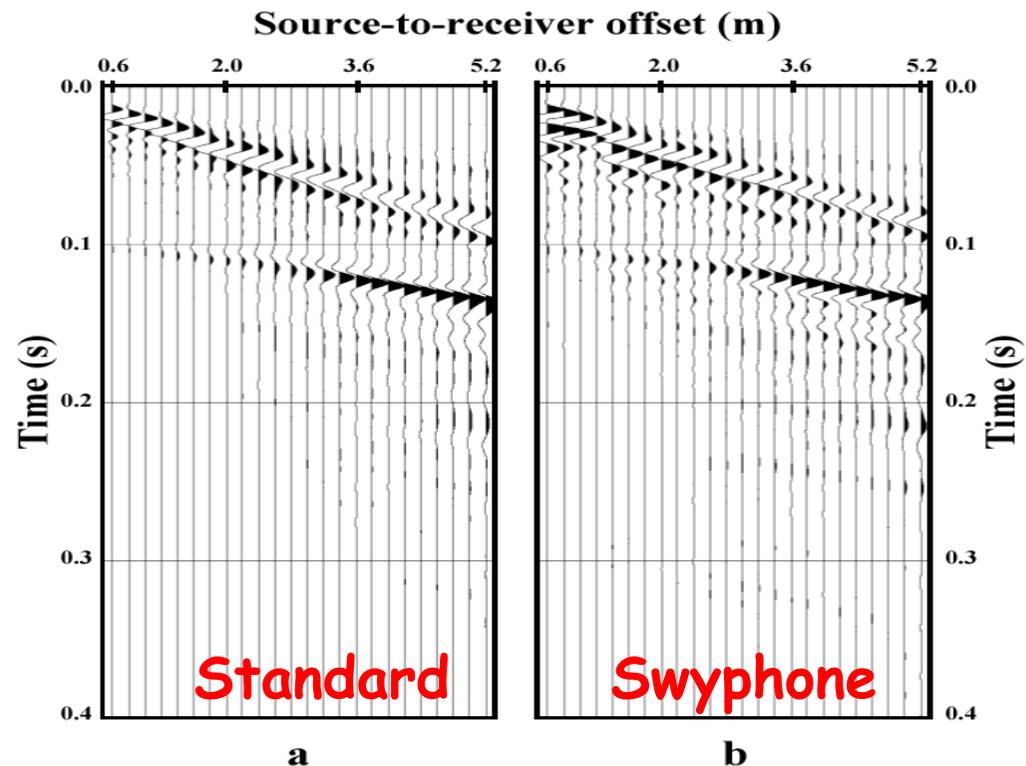
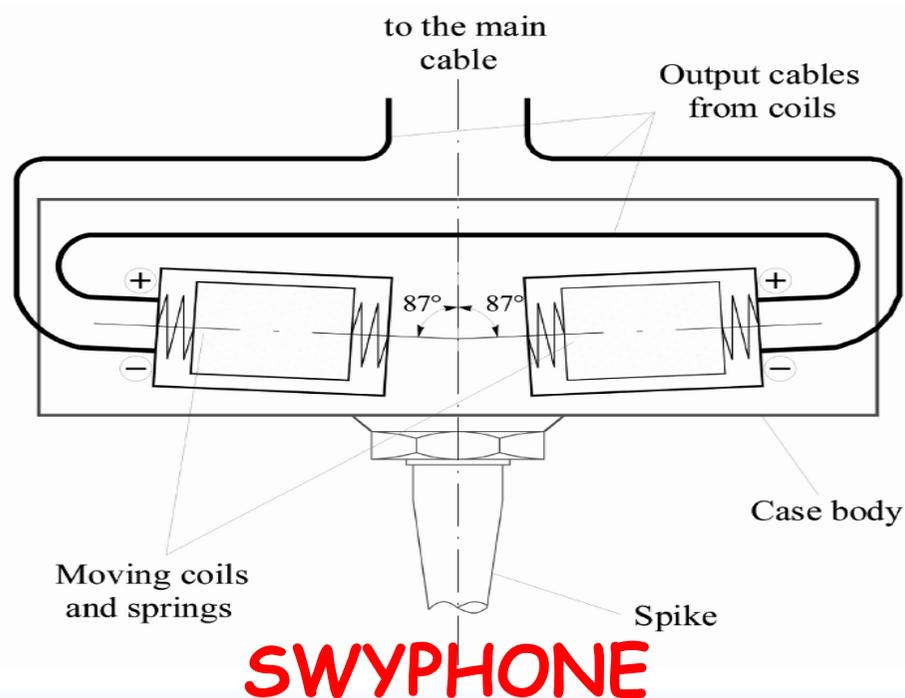


Novità nell'acquisizione dei dati

Procedure

SWYPHONE è un ricevitore orizzontale che rende più rapida l'acquisizione ed elimina alcune fasi di preprocessing sulle registrazioni. Con questo ricevitore è possibile acquisire segnali SH con poca contaminazione di onde P, e con una sola energizzazione.

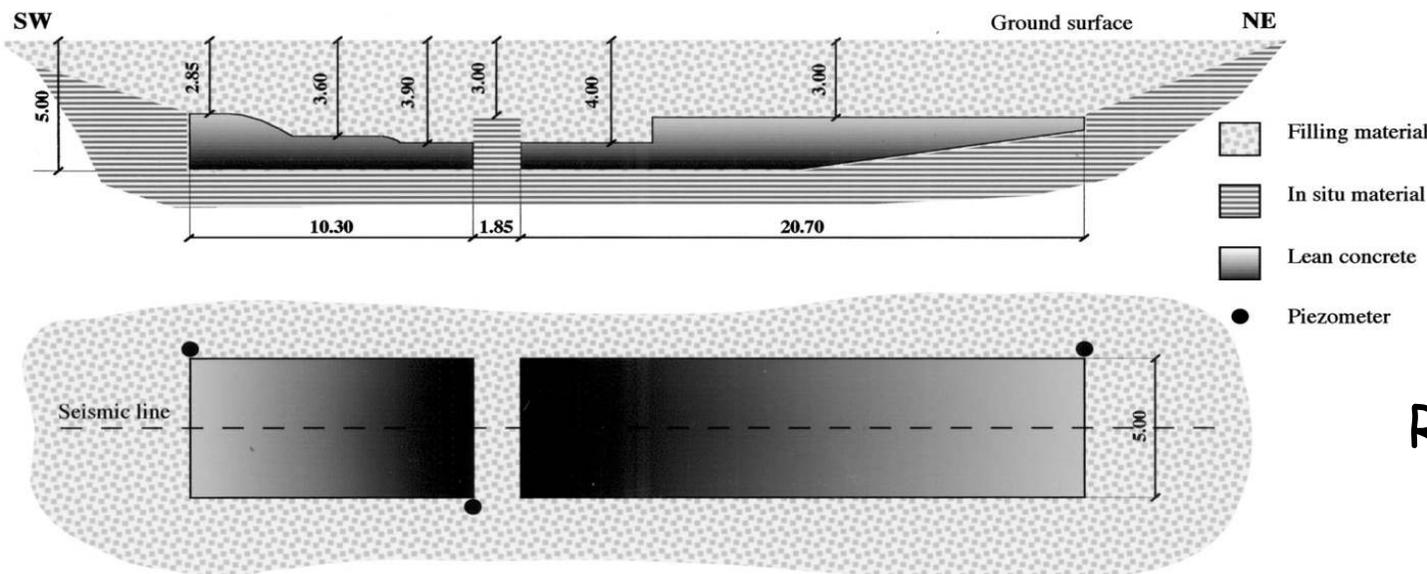
(a) Registrazione ottenuta con geofoni standard e procedura tradizionale. (b) Registrazione ottenuta con swyphones con una sola direzione di energizzazione, cioè con metà dell'energia.



SISMICA A RIFLESSIONE PER ONDE SH

Un esperimento "ultra-shallow"

Deidda, G.P., and Balia, R., (2001); *An ultra-shallow SH-wave seismic reflection experiment on a subsurface ground model. Geophysics, 66, 1097-1104.*



ACQUISIZIONE

Registratore : Geometrics
ES2420, A/D = 16 bit,
24 ch

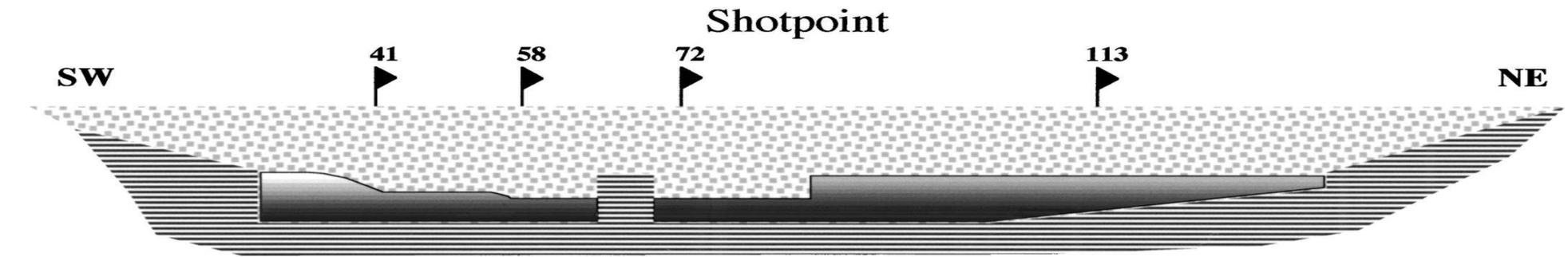
$$\Delta x = 30 \text{ cm}$$

$$\Delta s = 30 \text{ cm}$$

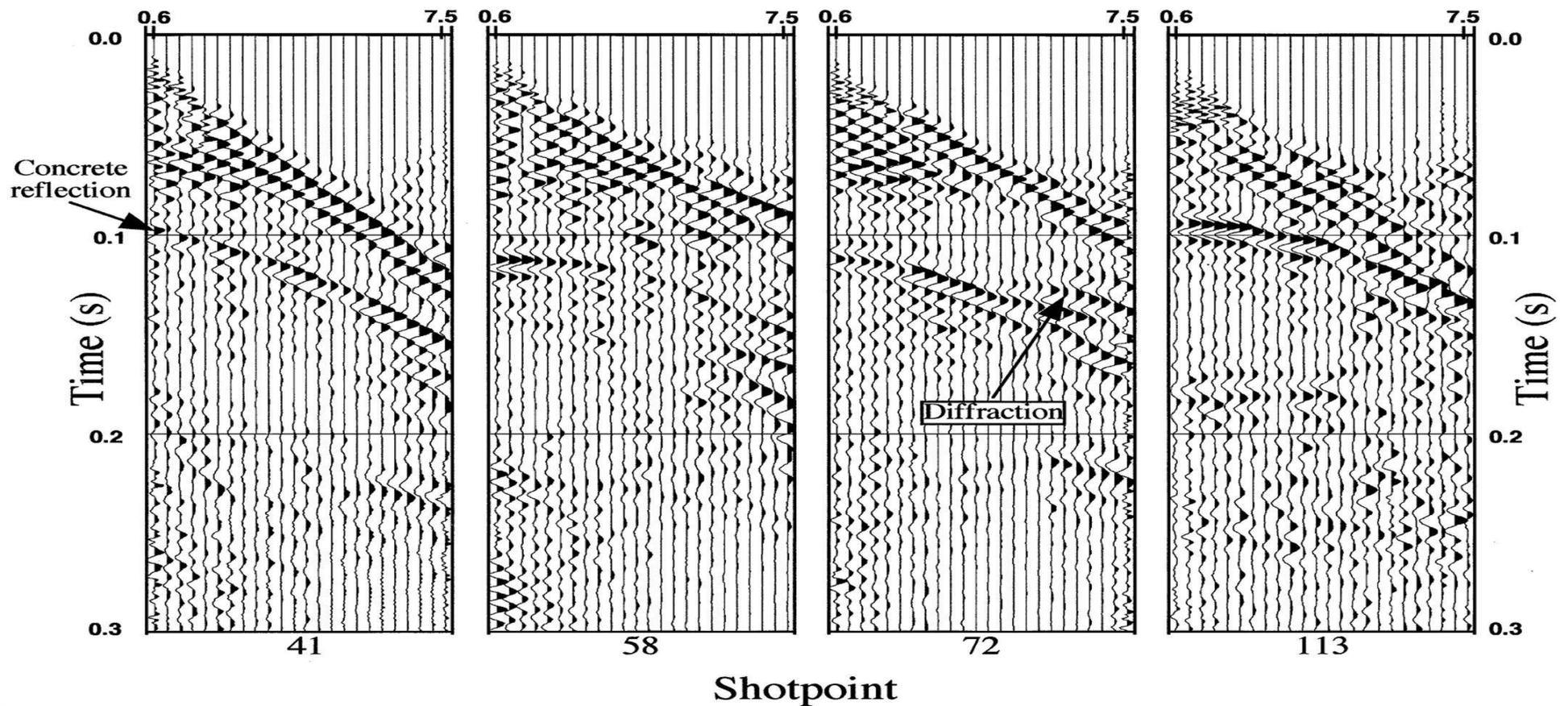
$$\text{Copertura CDP} = 1200\%$$

	P-wave velocity	S-wave velocity	Density
Filling material	135 m/s	72 m/s	1800 kg/m ³
Lean concrete	1800 m/s	900 m/s	2230 kg/m ³

UN ESPERIMENTO "ULTRA-SHALLOW"

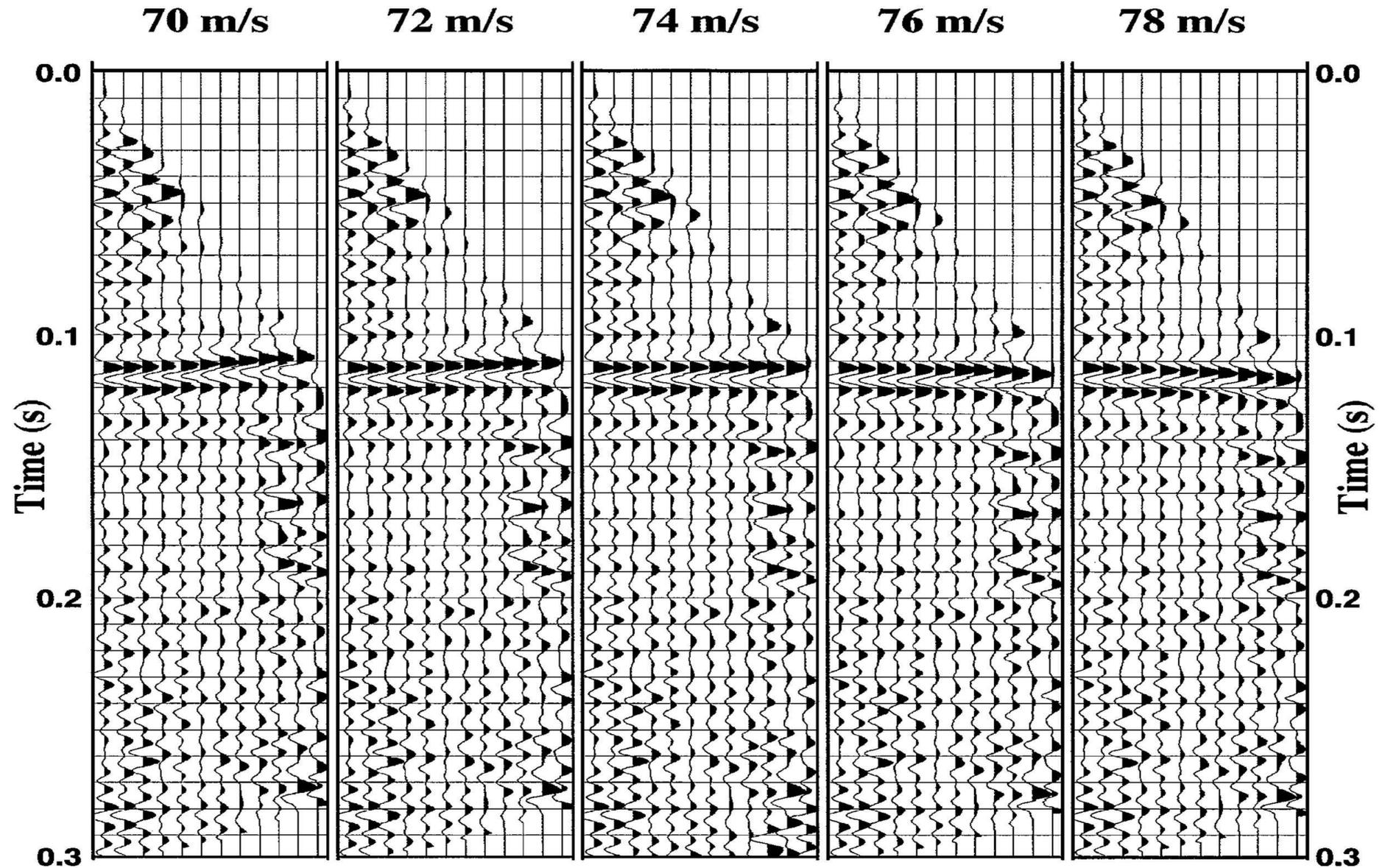


Source-to-receiver offset (m)



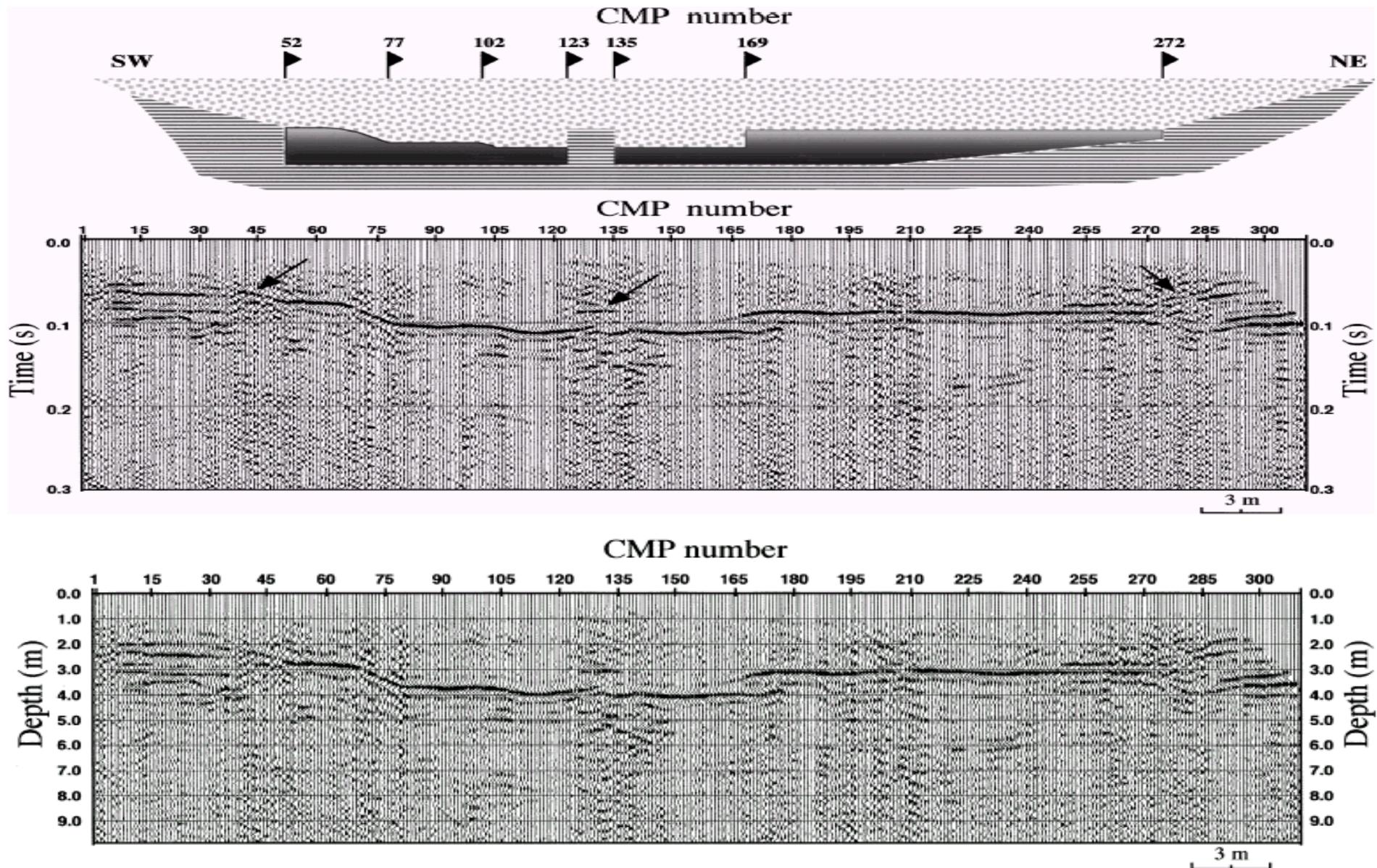
UN ESPERIMENTO "ULTRA-SHALLOW"

Analisi di velocità



UN ESPERIMENTO "ULTRA-SHALLOW"

Sezione tempi e sezione profondità



CONDIZIONI IMPORTANTI

Per poter utilizzare la Sismica a riflessione superficiale devono verificarsi tre importanti condizioni:

1. Il contrasto di impedenza acustica deve essere sufficientemente alto per poter generare riflessioni registrabili. Ciò richiede una significativa variazione di velocità e/o di densità.
2. Il contenuto spettrale del segnale deve essere ampio per poter avere le riflessioni separate da altri eventi quali diretta, rifratta e onde superficiali.
3. La strumentazione deve essere adeguata e avere sufficiente banda dinamica per registrare in alta fedeltà i segnali sismici.

Queste condizioni devono essere sempre verificate per ogni sito e per ogni obiettivo.

OSSERVAZIONE IMPORTANTE

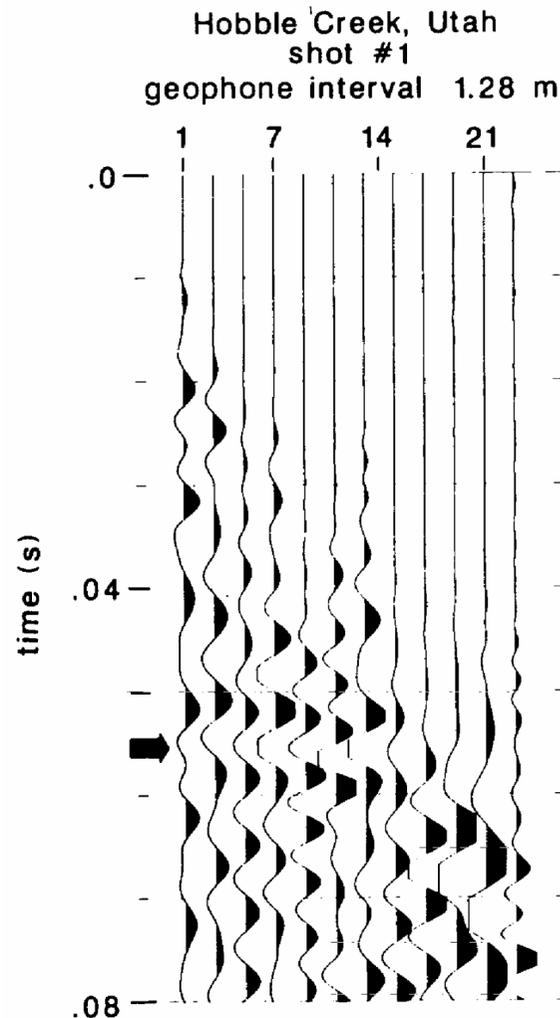
La sismica a riflessione superficiale non sempre è una tecnica di indagine che funziona!!

L'individuazione delle riflessioni sulle registrazioni grezze è essenziale per un corretto e appropriato utilizzo della Sismica a Riflessione. La capacità di riconoscere i limiti del metodo, di modificare i parametri di acquisizione, di cambiare strumentazione, o di decidere di terminare l'acquisizione è una caratteristica professionale che garantisce qualità.

Una sufficiente esperienza nell'apprezzare che i metodi geofisici non sempre funzionano e la buona fede nell'ammetterlo è fondamentale per un efficace utilizzo degli stessi nella caratterizzazione dei siti. Un'attenta valutazione delle caratteristiche del sito e degli obiettivi di interesse fornisce importanti informazioni sull'applicabilità del metodo, ma niente può sostituire un'attenta ed esperta analisi di un test sul campo (**field walkaway test data**).

Anche nei casi in cui funziona, attenzione a ...

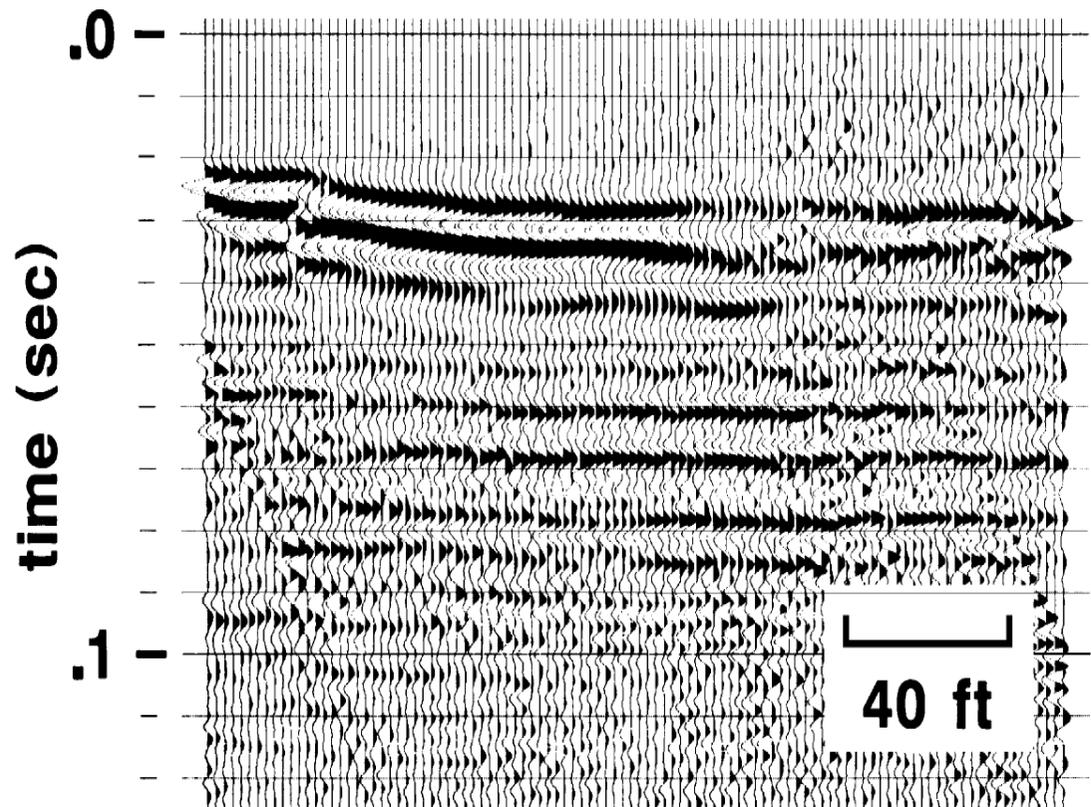
... ai falsi riflettori



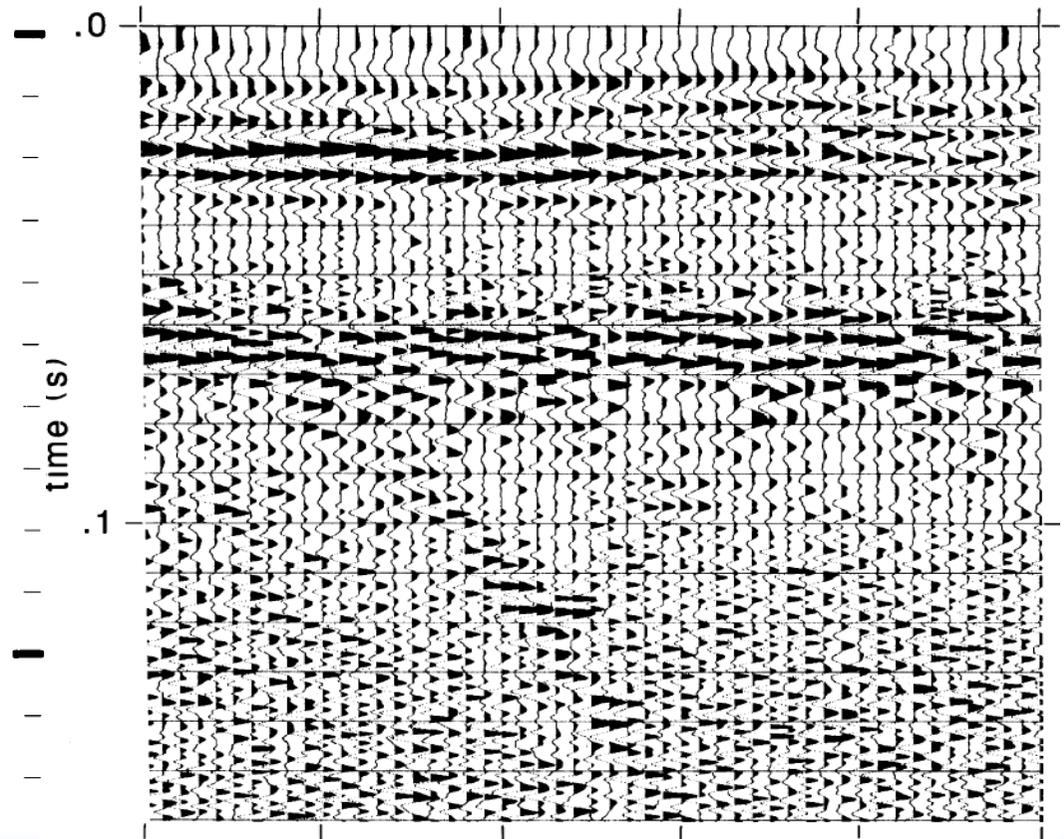
Anche nei casi in cui funziona, attenzione a ...

... ai falsi riflettori

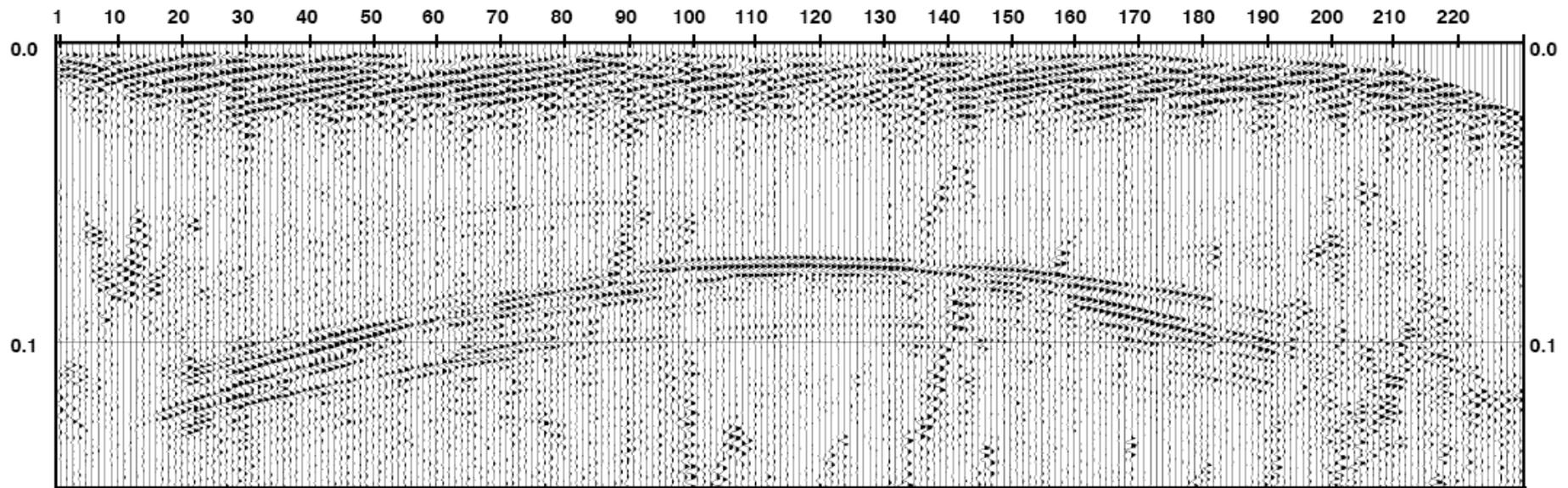
Onda rifratta



Onda sonora
"spatial aliased"



Anche nei casi in cui funziona, attenzione a ai falsi riflettori



Grazie per l'attenzione