

RISOLUZIONE SISMICA

capacità di distinguere elementi separati all'interno di un profilo sismico

Si esprime generalmente come distanza minima tra gli oggetti "risolti"
ossia definiti singolarmente

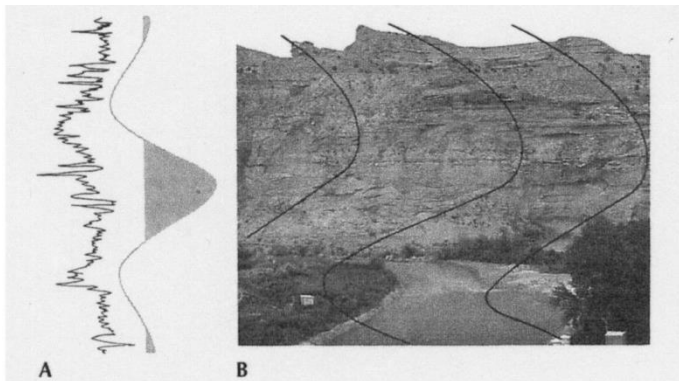
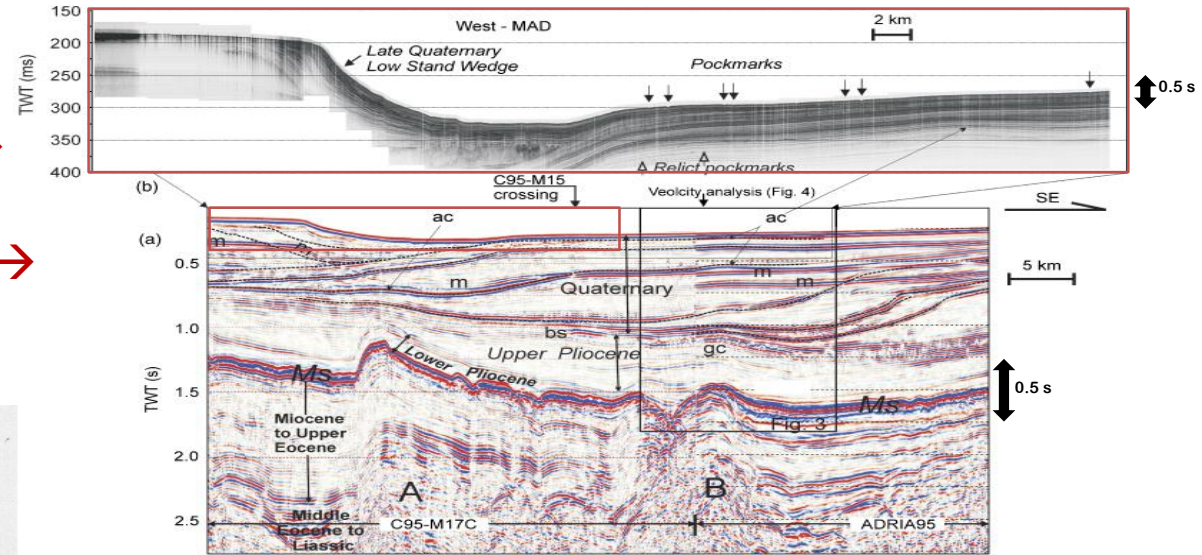
Si distingue in:

- risoluzione verticale
- risoluzione laterale

**Sismica ad alta risoluzione
(profilo Chirp)**



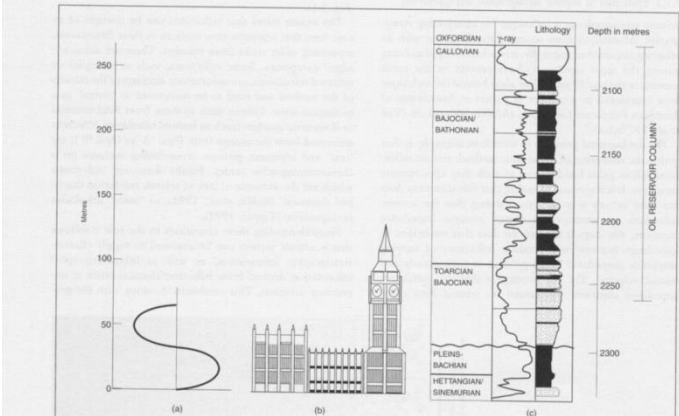
**Sismica a media ↓ o bassa
risoluzione (profilo crostale)**



Risoluzione verticale:

distanza verticale minima tra due elementi riflettenti definiti.
Rappresenta il limite per cui gli elementi stessi possano essere riconosciuti individualmente in un profilo sismico.

Il parametro fondamentale è la **frequenza dominante**

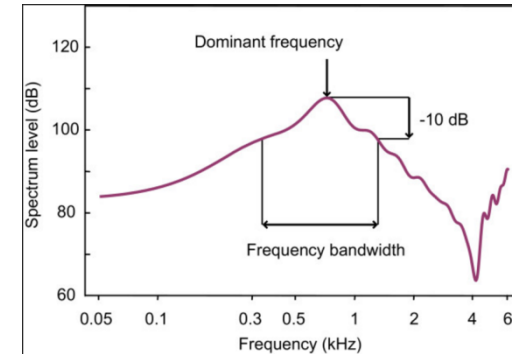


Frequenza dominante

L'energia sismica che immettiamo nel terreno è caratterizzata da un certo intervallo di frequenze. Nel terreno attraversato dall'onda sismica l'energia tenderà a distribuirsi in una banda di frequenze centrata sulla frequenza dominante.

In un profilo sismico la frequenza dominante dipende da:

- proprietà fisiche del sottosuolo
- frequenze immesse nel terreno
- parametri di registrazione
- *processing* del segnale acquisito
- plottaggio



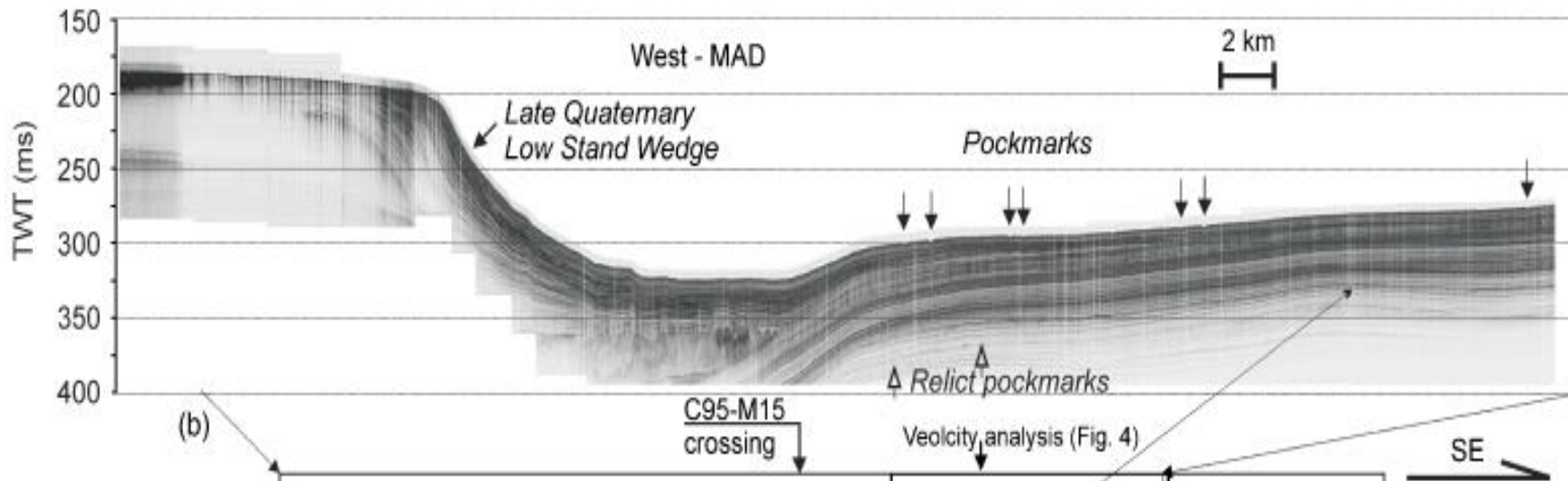
Mentre non possiamo intervenire sulle proprietà fisiche del terreno, potremo variare i parametri di:

- acquisizione (→ solo in fase di progettazione della campagna di acquisizione),
- *processing* (→ solo in fase di elaborazione)
- plottaggio (→ se utilizziamo copia cartacea per l'interpretazione).

Si potranno quindi utilizzare le frequenze adatte agli obiettivi specifici:

- *range* di frequenze alte per indagine superficiale e oggetti di piccole dimensioni
- *range* di frequenze medie per esplorazione di idrocarburi, di strutture deformative o sistemi di fratture
- *range* di frequenze basse per indagini regionali crostali

Sismica ad alta risoluzione



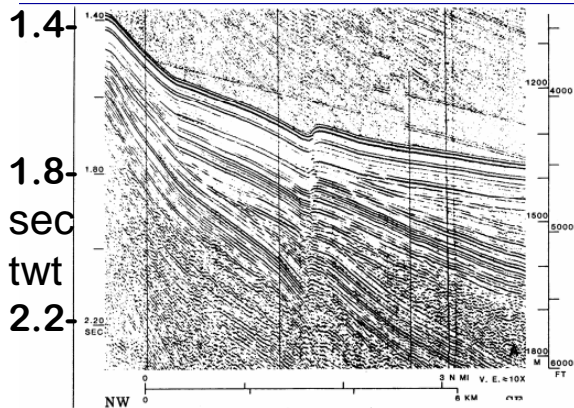
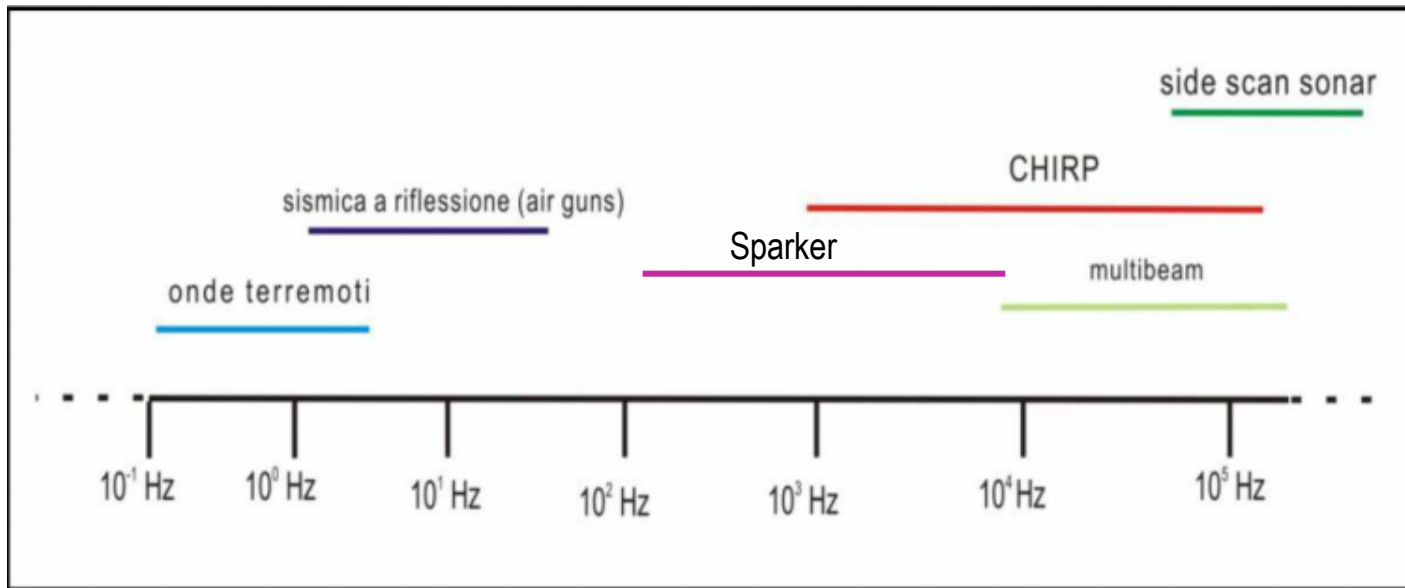
La sismica ad alta risoluzione si distingue dalla sismica a riflessione classica per i costi di acquisizione relativamente bassi e per non richiedere elaborazioni complesse.

La sismica ad alta risoluzione si acquisisce generalmente in mare e comporta:

- 1) Sorgenti sismiche a bassa potenza;
- 2) Acquisizione generalmente monocanale;
- 3) Acquisizione analogica con resa diretta del profilo acquisito già a bordo della nave.

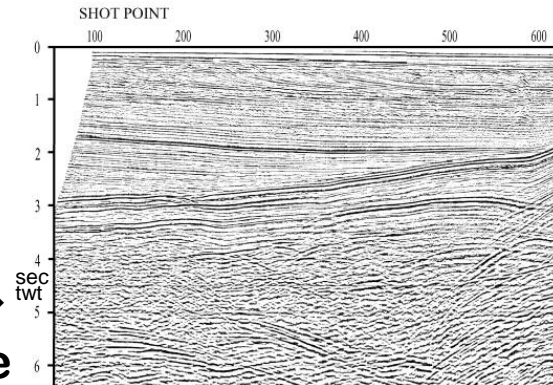
I profili sismici così ottenuti forniscono informazioni dettagliate sulle geometrie della serie sedimentaria sottostante il fondo mare, ma hanno una penetrazione limitata alle decine, massimo poche centinaia di metri.

Viene quindi per lo più utilizzata per studiare le sequenze sedimentarie superficiali, spesso associata ad acquisizioni morfobatimetriche (Multibeam)



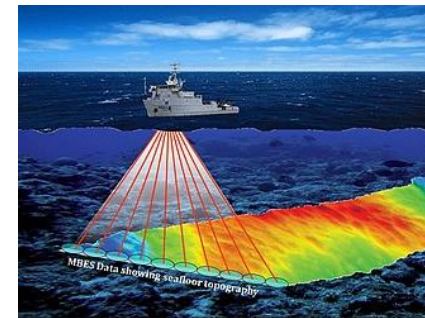
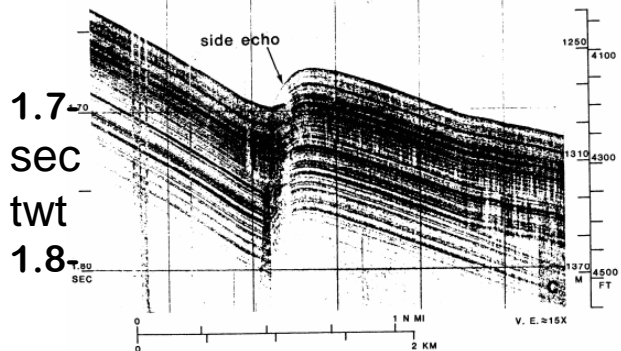
← Sparker

Sismica →
multicanale
(air gun)



← Chirp (Sub Bottom profile)

Multibeam →



$$\lambda = v t = v / f$$

λ = lunghezza d'onda dominante (40 – 250 m)

v = velocità delle onde P (2000-5000 m/sec)

f = frequenza dominante (50 -20 Hz)

... ma le alte frequenze vengono via via assorbite in profondità, dove si hanno le velocità più alte ...

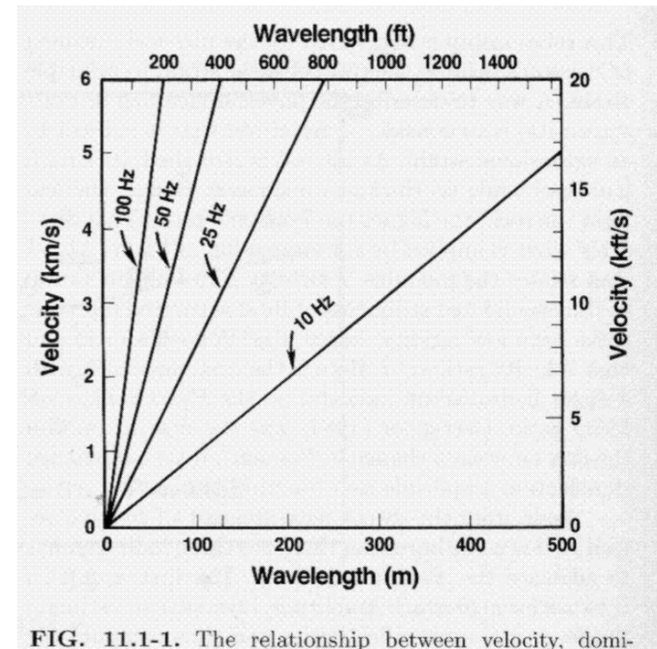
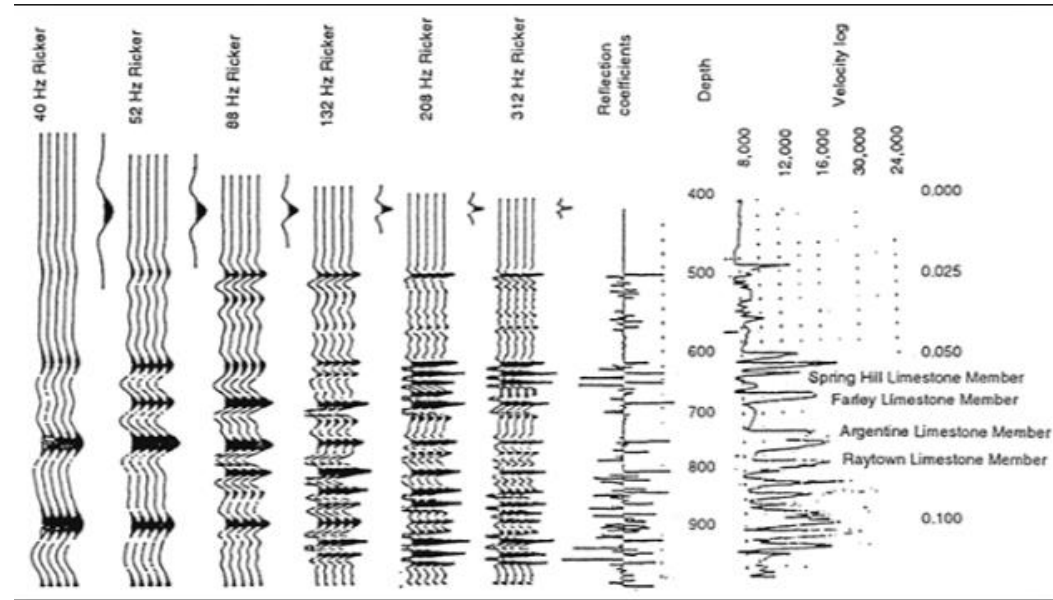
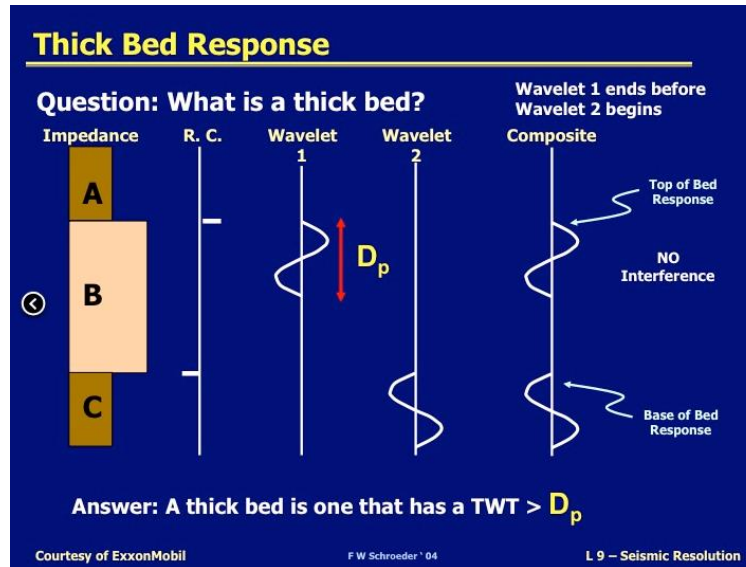
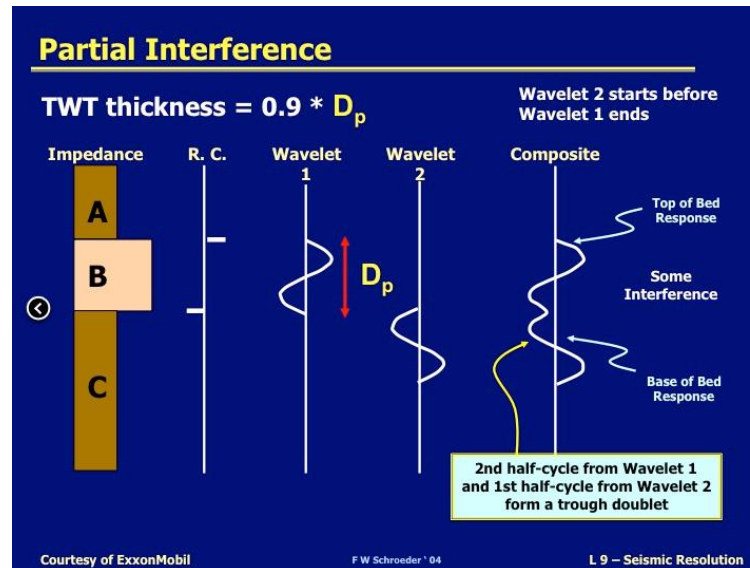


FIG. 11.1-1. The relationship between velocity, dominant frequency, and wavelength.

Good resolution
for the B unit



No resolution
for the B unit



“How thin is a thin bed?”

Con questo articolo Widess (1973)

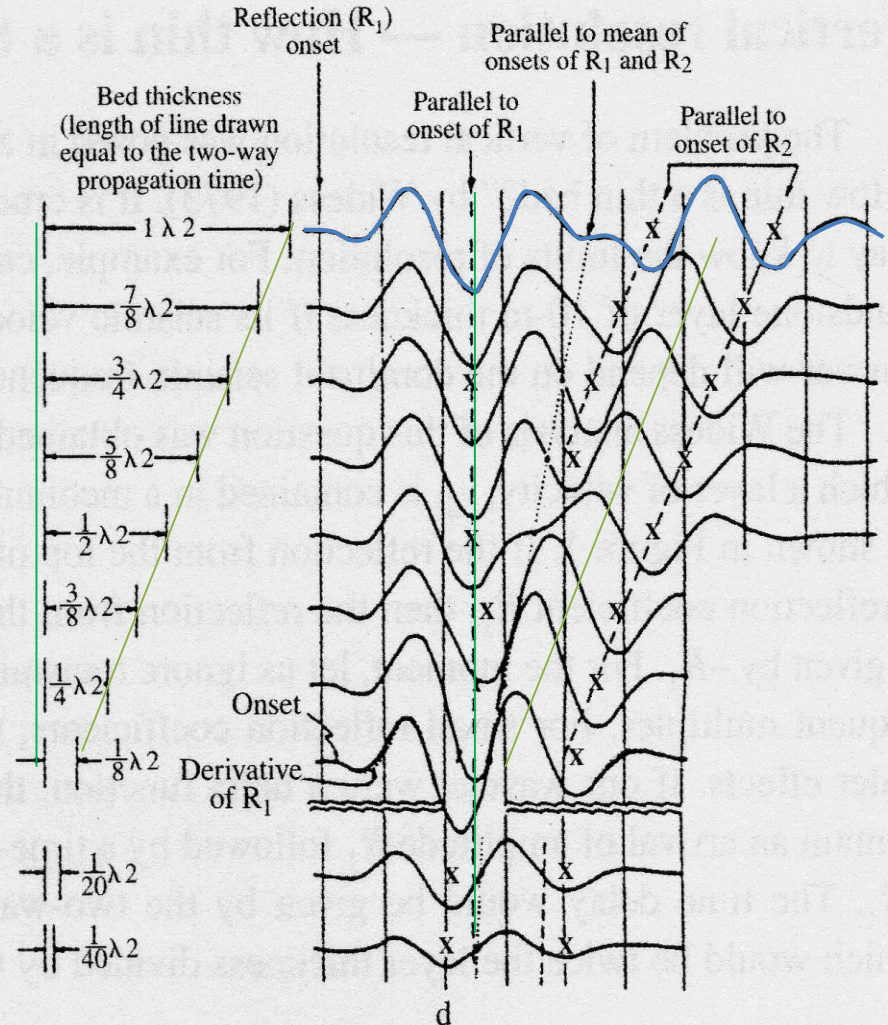
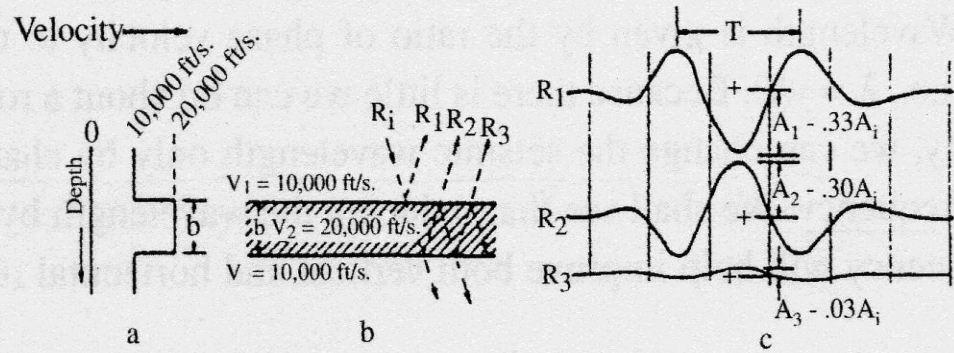
affrontò il problema della risoluzione verticale nei dati sismici:

-Uno spessore costante (vel. 6 km/s) immerso in un mezzo a vel. 3 km/s
 ⇒coeff. di riflessione: 0,33 e -0,33

-Trascurando assorbimento e multiple
 =>2 picchi di ampiezza uguali opposti.

La somma degli arrivi riflessi ripetuta per diversi rapporti spessore/lunghezza d'onda, portò l'Autore a concludere che i due riflettori erano distinguibili tra loro fino ad uno spessore limite pari ad 1/8 della lunghezza d'onda.

Figure 1.
 Resolution of a thin bed, as illustrated by Widess (1973).



RISOLUZIONE VERTICALE

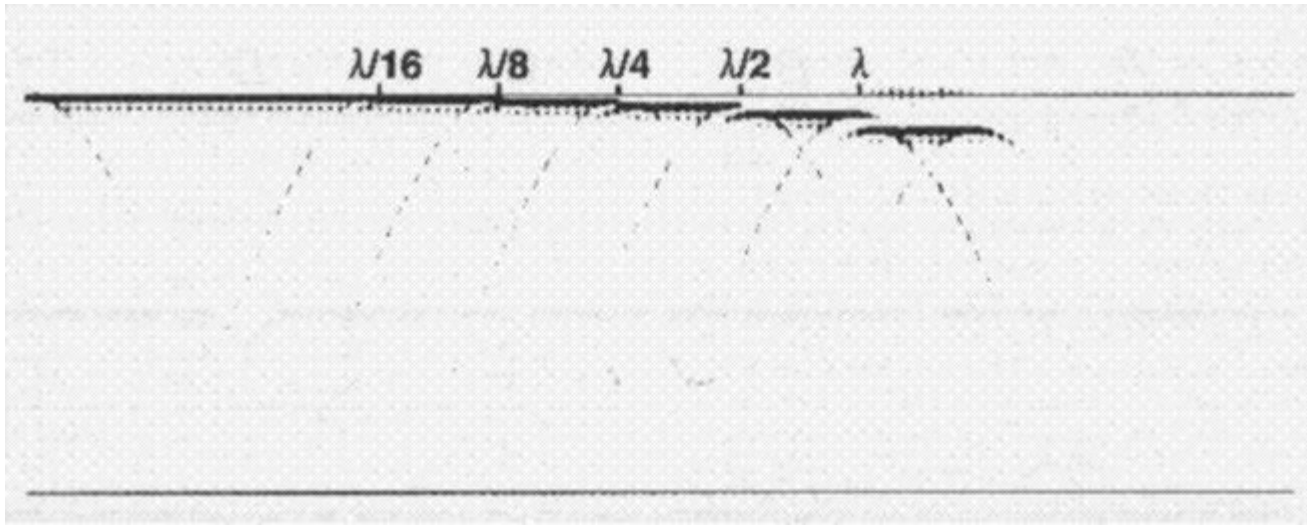
Table 11-1. Threshold for vertical resolution.

$$\lambda = v / f \quad \lambda/4 = v/4f$$

v (m/s)	f (Hz)	$\lambda/4$ (m)
2000	50	10
3000	40	18
4000	30	33
5000	20	62

Il rapporto di un 1/8 stabilito da Widess (1973) è valido nel caso ideale, mentre nella maggior parte dei profili sismici si assume che la risoluzione verticale sia circa $\frac{1}{4}$ la lunghezza d'onda dominante. In tabella la risoluzione verticale per litologie caratterizzate da diverse velocità e frequenze dominanti.

RISOLUZIONE VERTICALE

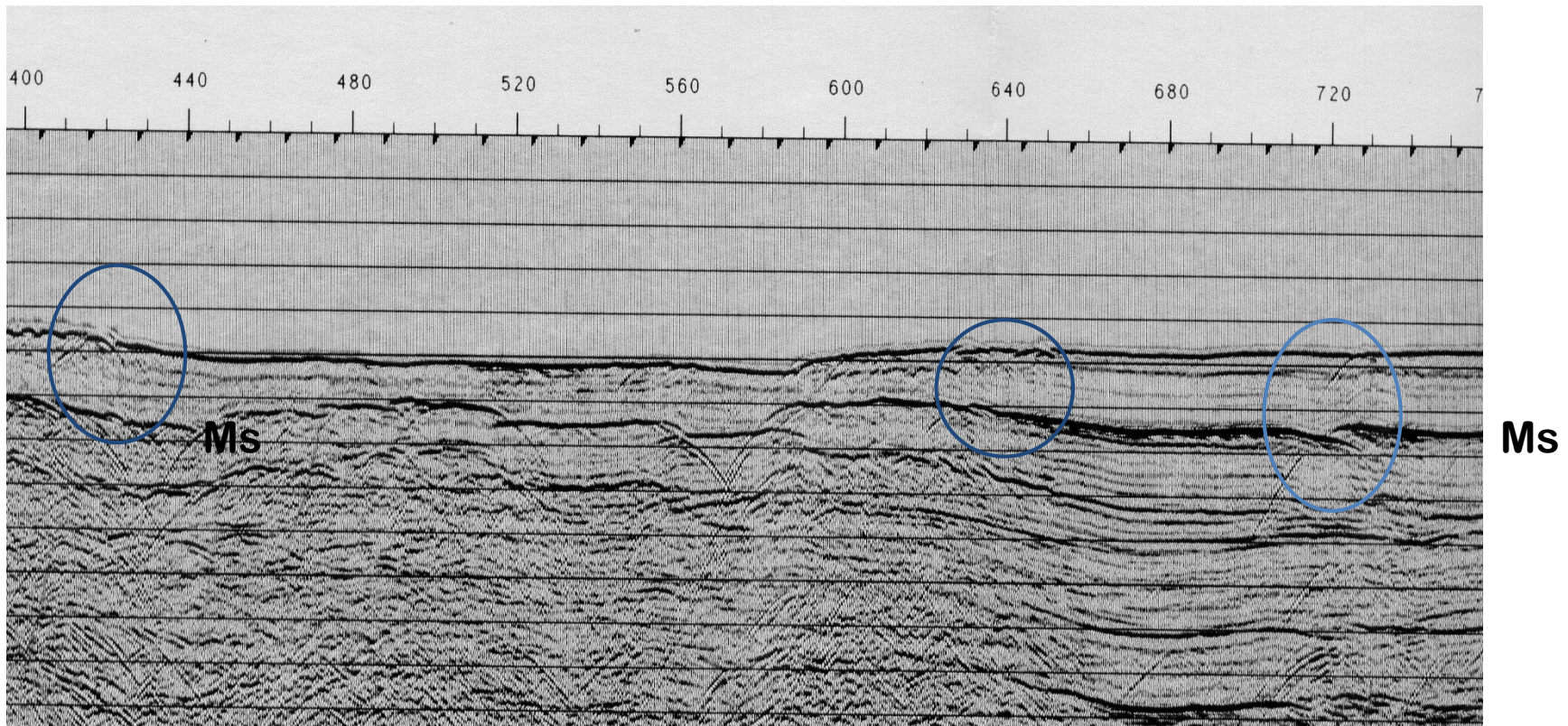


Il rigetto verticale è “riconoscibile” quando raggiunge e supera il valore di $\frac{1}{4}$ della lunghezza d’onda (risoluzione verticale).

Per valori inferiori si può talvolta comunque interpretare (*detection*) la presenza di una disomogeneità sulla base della presenza di iperboli di diffrazioni.

=> Nell’interpretazione si fa talvolta utilizzo delle sezioni *stack*, complementari alle sezioni migrate

Esempio di profilo sismico nello Ionio



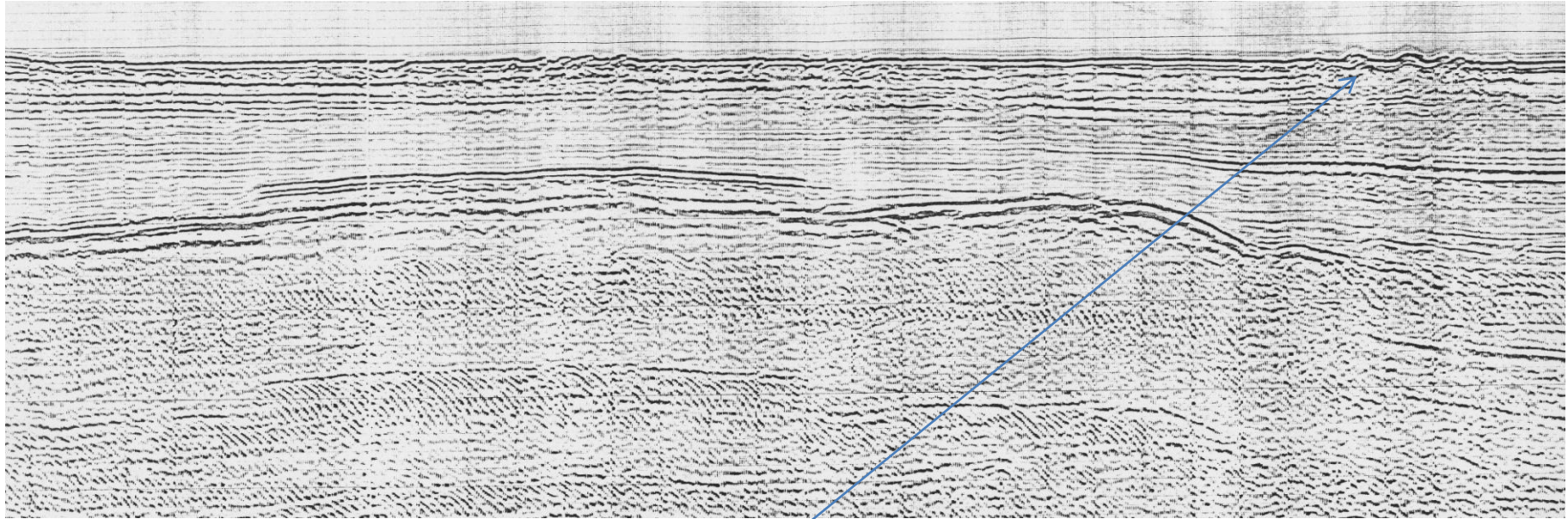
I rigetti verticali delle faglie sono evidenti soprattutto lì dove tagliano l'orizzonte Ms, caratterizzato da alta ampiezza.

Anche il fondo mare risulta disturbato in alcuni punti (generalmente indice di faglie attive!)

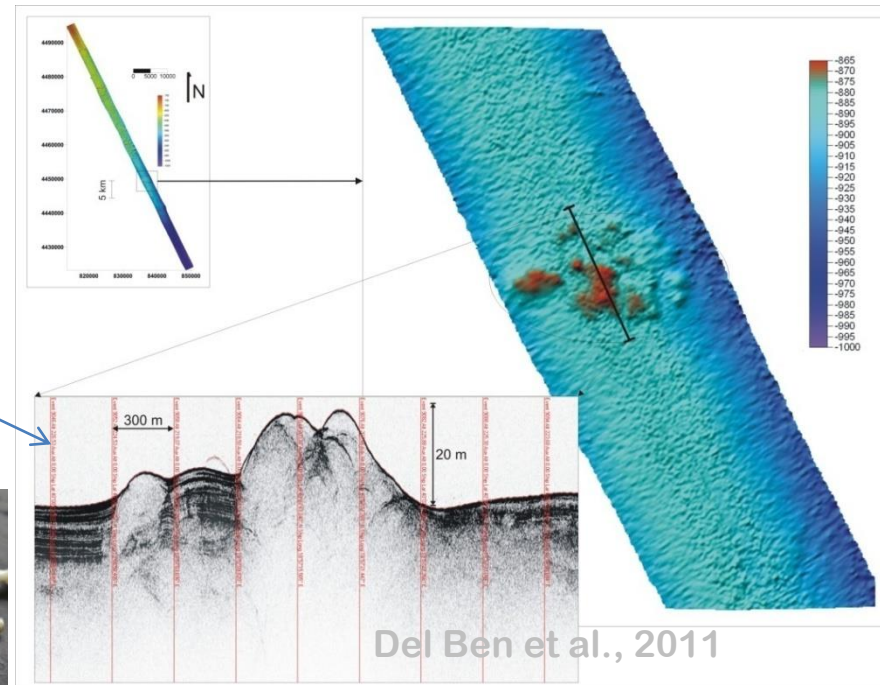
Nella faglia a destra si vede il rigetto verticale del riflettore Ms, mentre al fondo mare la faglia è interpretabile grazie alla diffrazione.

I riflettori sotto Ms, per quanto meno definiti, sono paralleli: la faglia si è attivata dopo la deposizione di Ms.

Possiamo desumere che si tratti di una faglia originata nel Plio-Quaternario e ancora attiva.

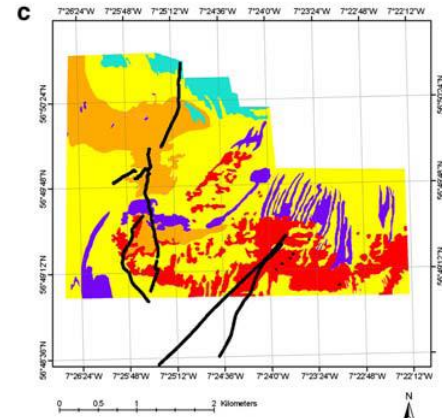
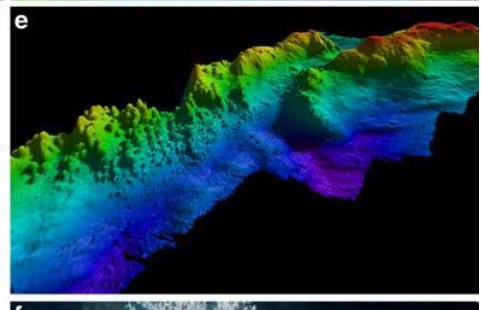
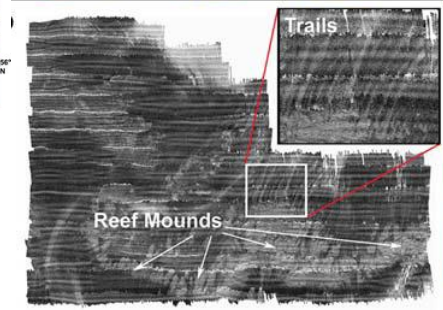
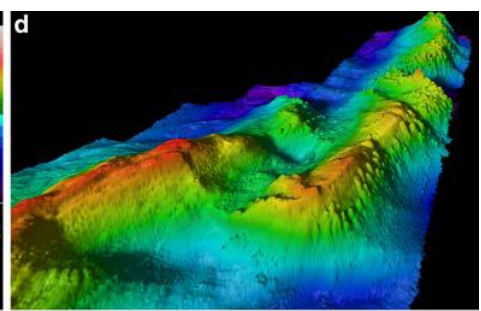
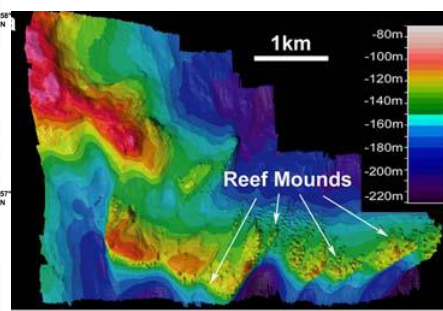
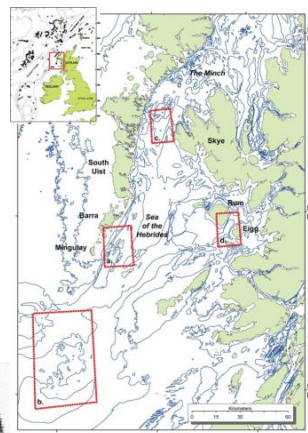
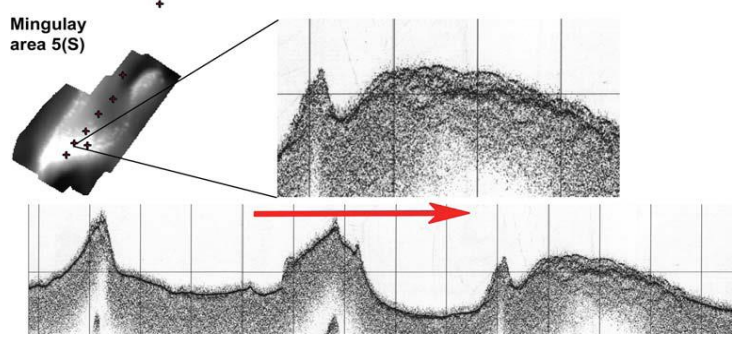
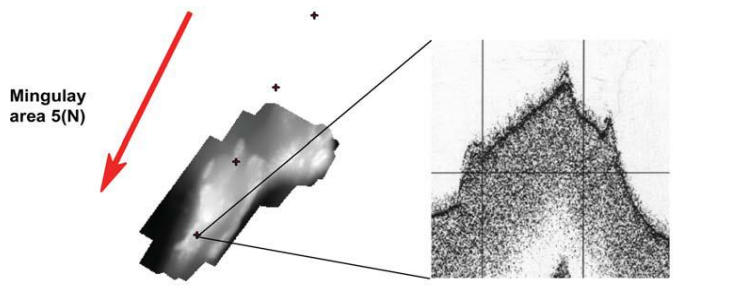
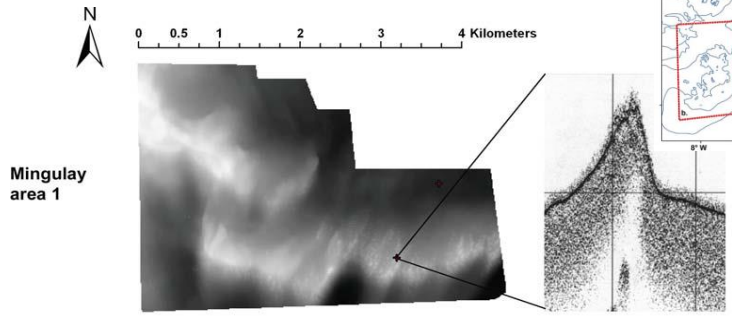


In alto esempio di sezione sismica a riflessione nel Canale d'Otranto: sul fondo mare si individuano alcune piccole strutture che, indagate nel 2008 con il *Chirp sub-bottom profiler* (frequenze più alte => maggiore risoluzione) sono risultate associate a strutture coralline di acque profonde, dragate da OGS-Explora nel 2011

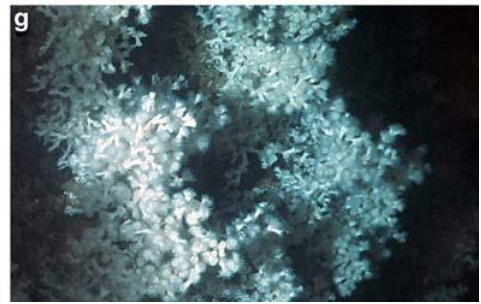


Del Ben et al., 2011

Esplorazione di strutture coralline di mare profondo



- Bioturbated mud
- Fine to coarse sediment (dominant taxa crinoids)
- Coarse substrata (gravel, boulders, rocks) with areas of sponge
- *Lophelia* reef habitat (live coral and rubble)
- Trail (acoustic class)
- Video tow track



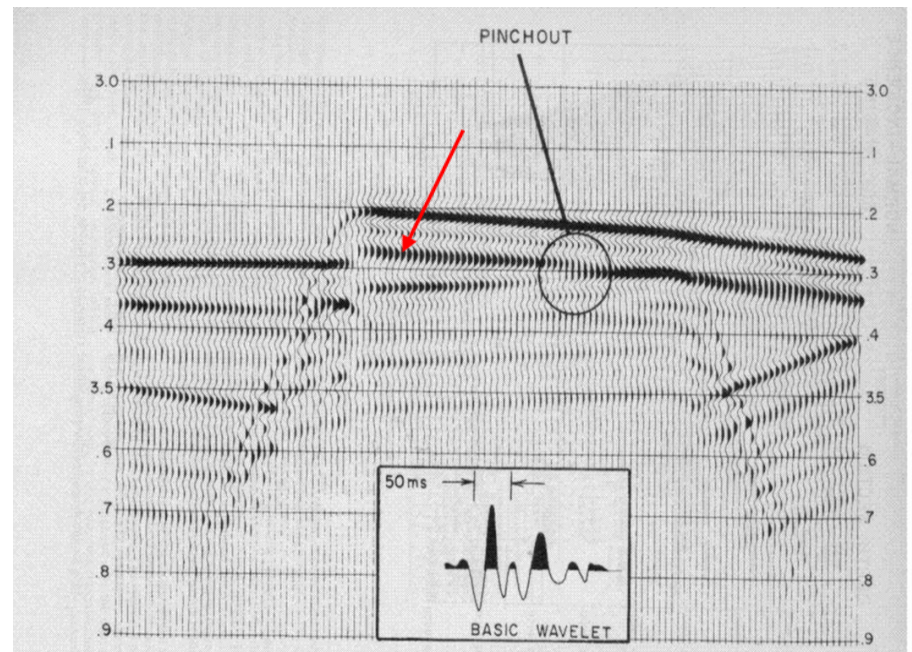
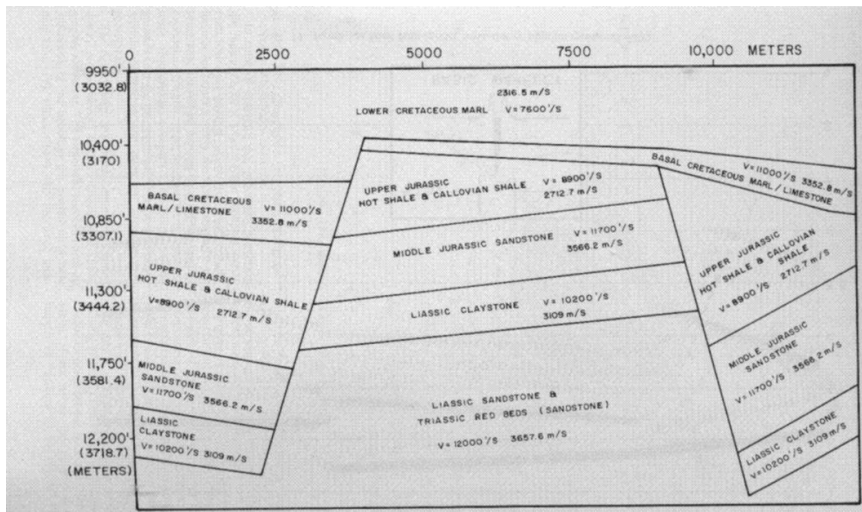


FIG. 17—North Sea horst-fault model, wave-theory solution (primaries only).

Effetto della **forma dell'ondina**, e quindi della **deconvoluzione**, sulla risoluzione verticale
 → effetto *ringing*

SILVANA 1

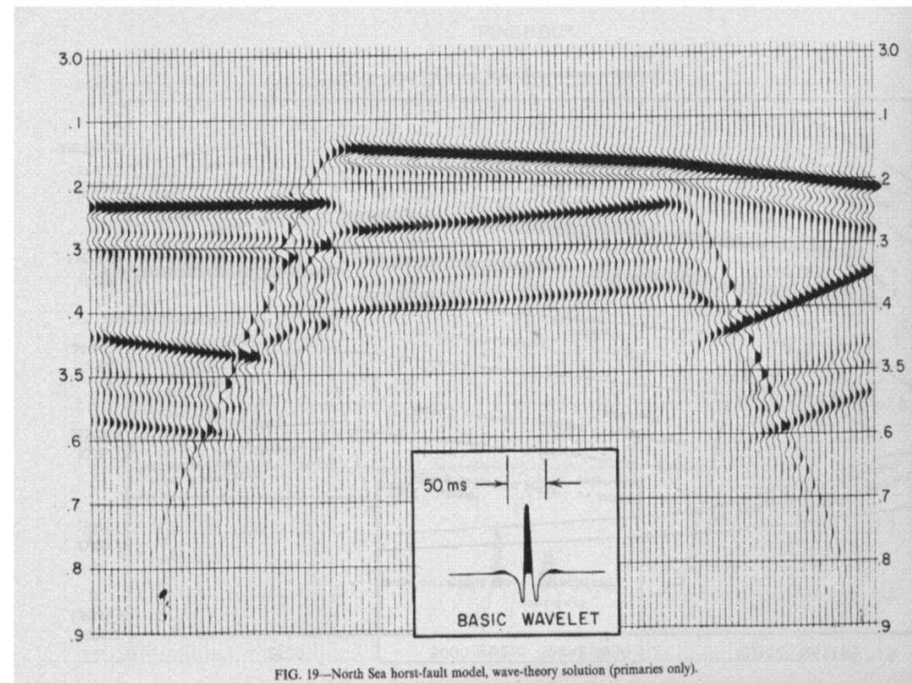
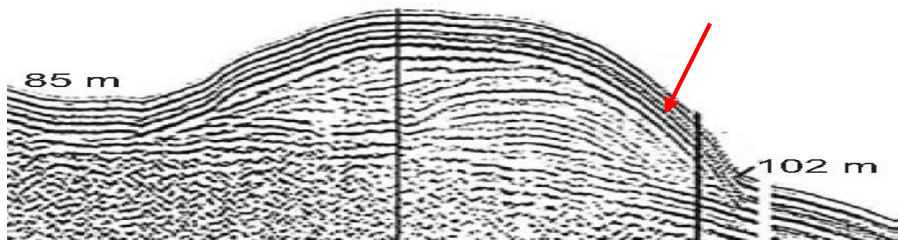
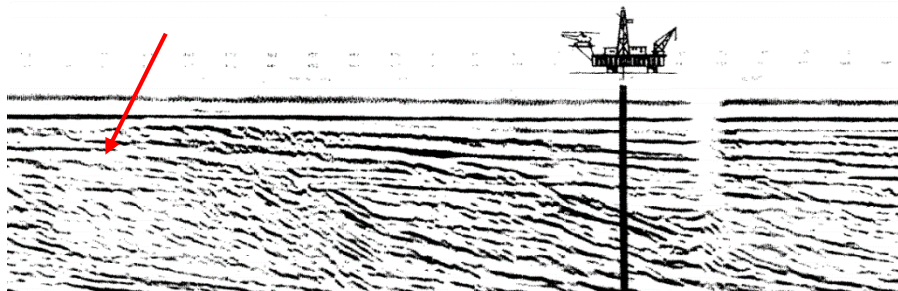


FIG. 19—North Sea horst-fault model, wave-theory solution (primaries only).

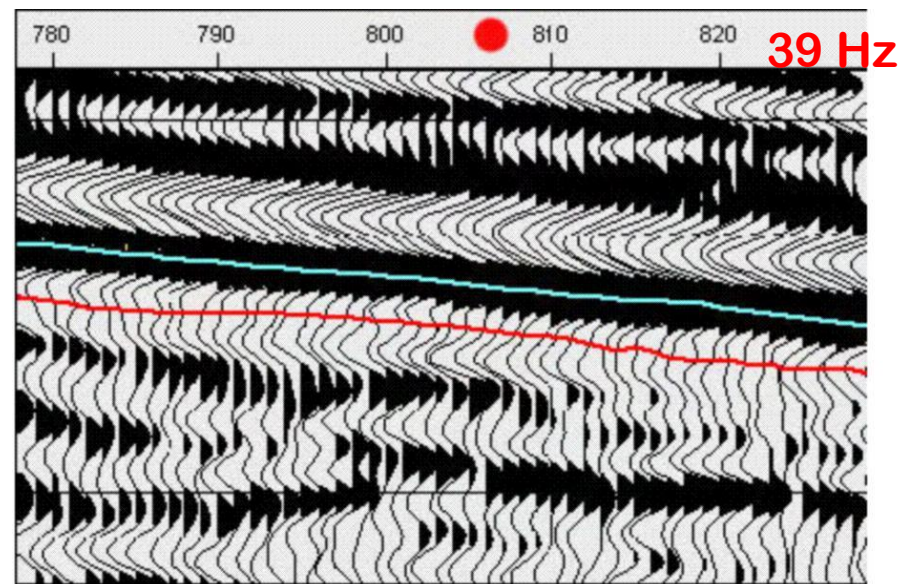
Effetto della frequenza dominante e della deconvoluzione sulla risoluzione verticale.

Interpretare un dato sismico significa anche conoscere i limiti del mezzo.

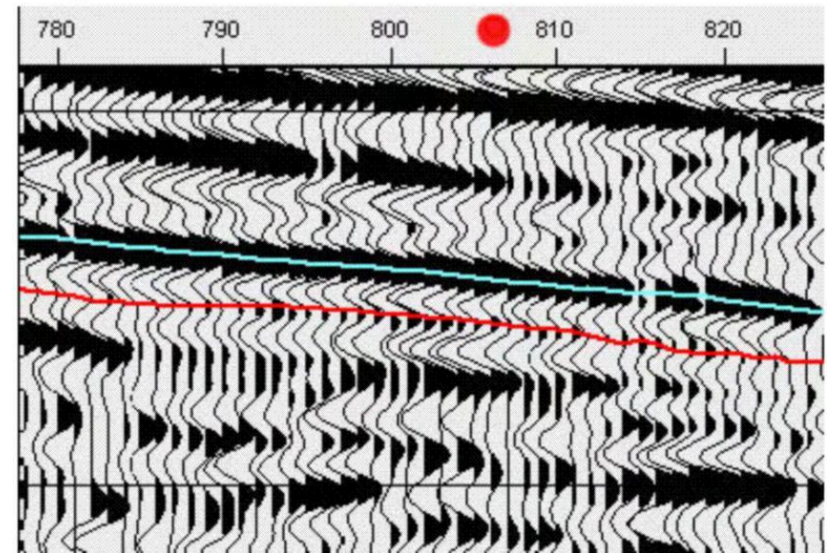
La **risoluzione verticale** dipende, oltre che da frequenza dominante,

- da quanto “rumoroso” è il segnale
- dal **coefficiente di riflessione**.

Talvolta “*detection not resolution is the problem*”
(Yilmaz, 2001)



Original section from a 3D survey.

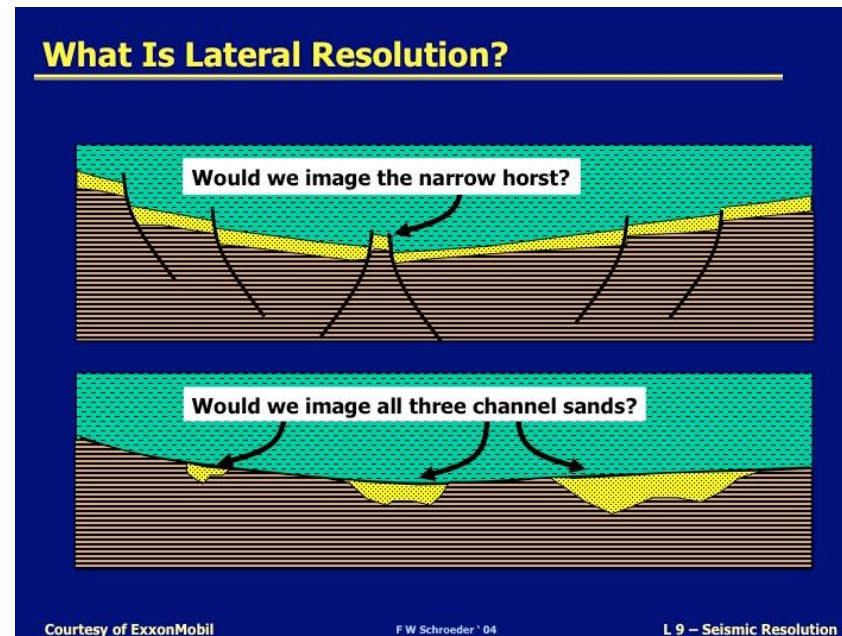


Reconstruction with wavelets of dominant frequencies larger than 39 Hz.

Risoluzione laterale:

distanza laterale minima tra due punti riflettenti per cui i punti stessi possano essere riconosciuti individualmente lungo un profilo sismico.

La risoluzione laterale è determinata dal raggio della “Zona di Fresnel”



Courtesy of ExxonMobil

F W Schroeder '04

L 9 – Seismic Resolution

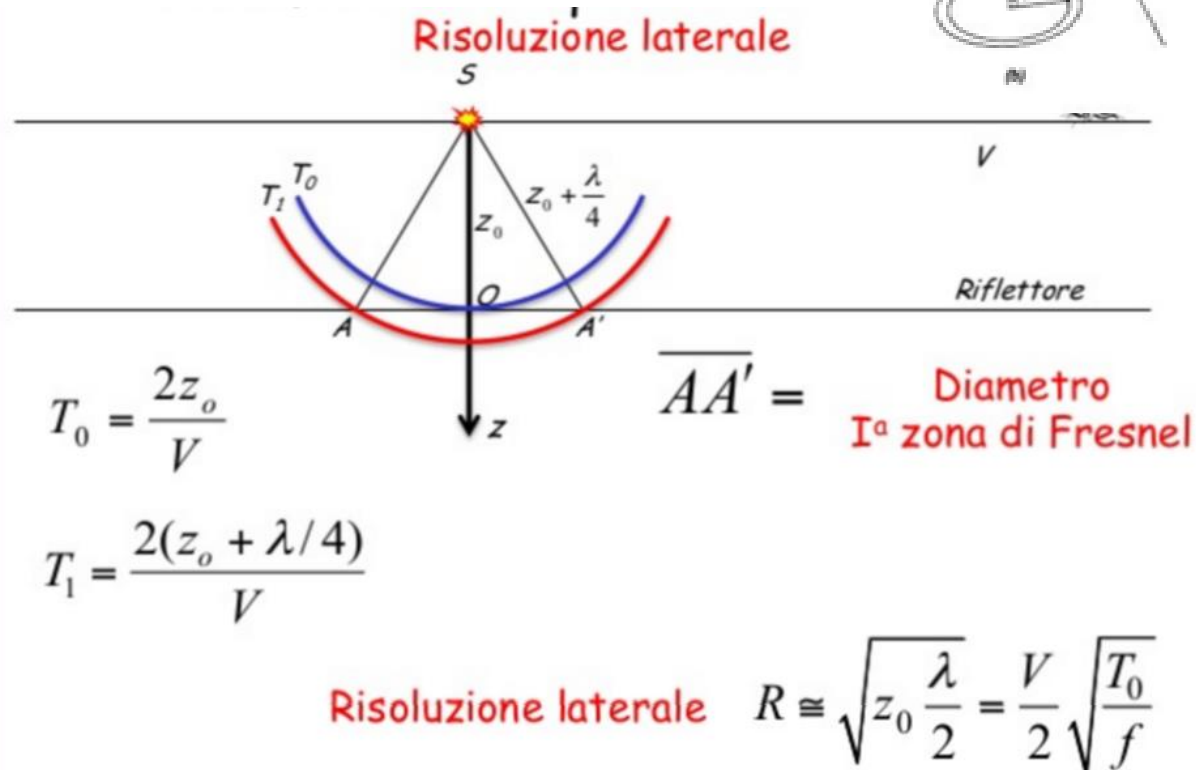
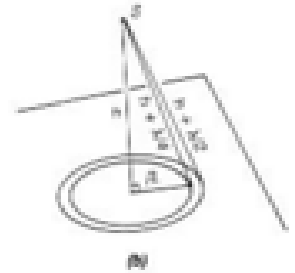
RISOLUZIONE LATERALE

Consideriamo una superficie riflettente come data da un insieme di punti di diffrazione. Sia S punto sorgente e contemporaneamente punto di registrazione. Si avrà interferenza costruttiva all'interno della circonferenza di raggio R.

Per distanze inferiori ad R l'interferenza costruttiva non permetterà di distinguere due oggetti diversi.

R dipende da:

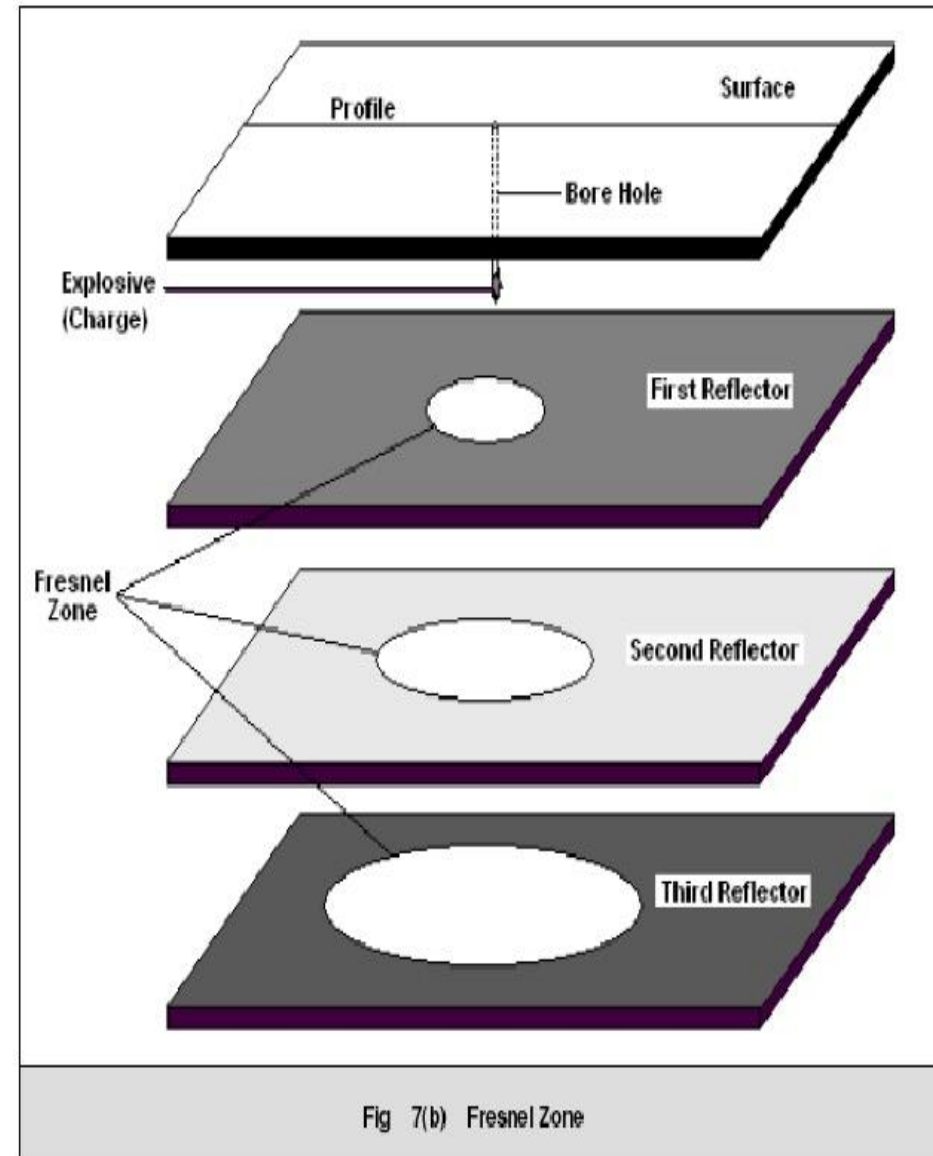
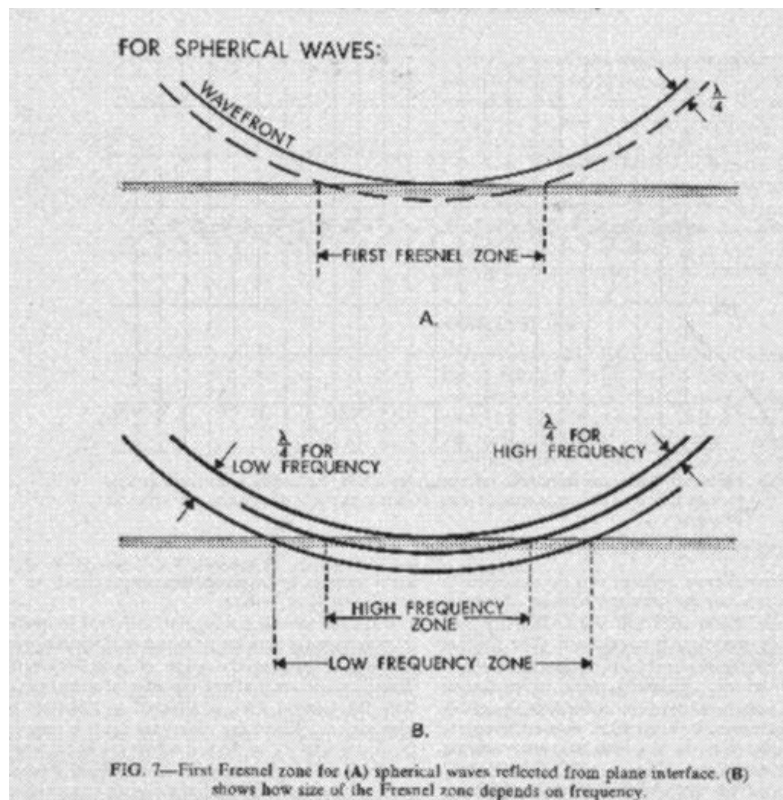
- lunghezza d'onda o frequenza
- velocità sopra il riflettore
- profondità, espressa da z_0 o da t_0



Zone di Fresnel per riflettori a diverse profondità

$$R \cong \sqrt{z_0 \frac{\lambda}{2}} = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{T_0}{f}}$$

=> dipendenza della risoluzione laterale da lunghezza d'onda/frequenza dominanti



La risoluzione laterale è talvolta considerata circa pari alla lunghezza d'onda dominante.

La migrazione, in particolare la migrazione in profondità, migliora la risoluzione laterale

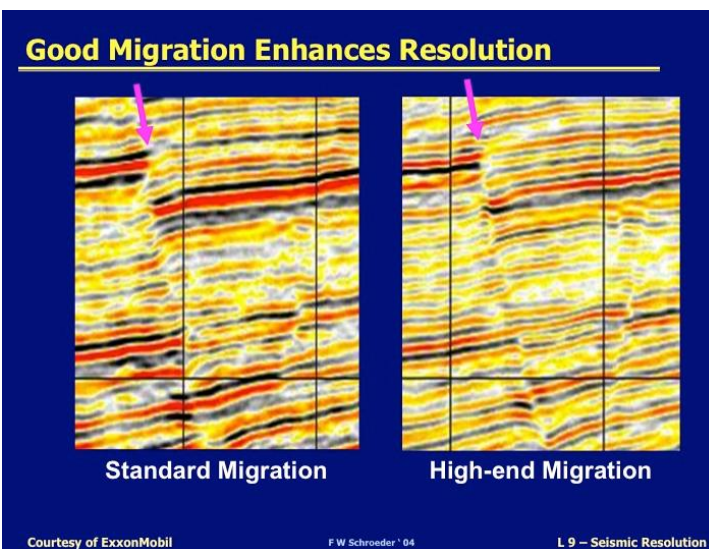
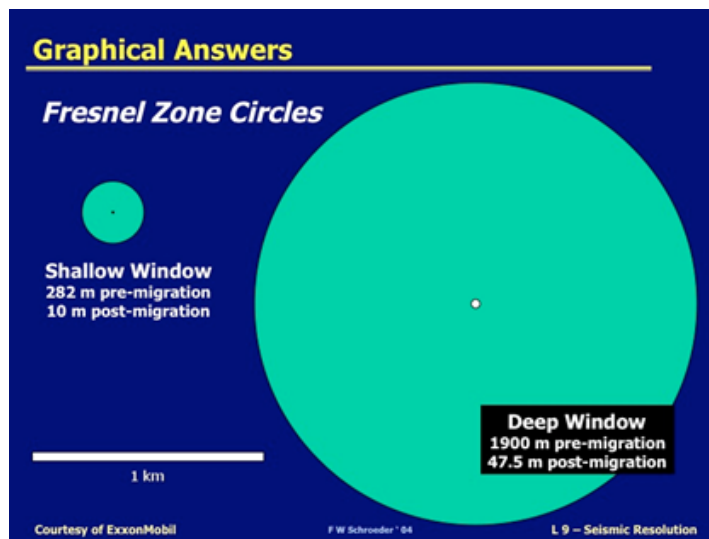


Table 11-2. Threshold for lateral resolution (first Fresnel zone).

$$r = (v/2)\sqrt{t_0/f}$$

t_0 (s)	v (m/s)	f (Hz)	r (m)
1	2000	50	141
2	3000	40	335
3	4000	30	632
4	5000	20	1118

$$R \cong \sqrt{z_0} \frac{\lambda}{2} = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{T_0}{f}} \quad (11 - 2b)$$

Table 11-1. Threshold for vertical resolution.

$$\lambda/4 = v/4f$$

v (m/s)	f (Hz)	$\lambda/4$ (m)
2000	50	10
3000	40	18
4000	30	33
5000	20	62

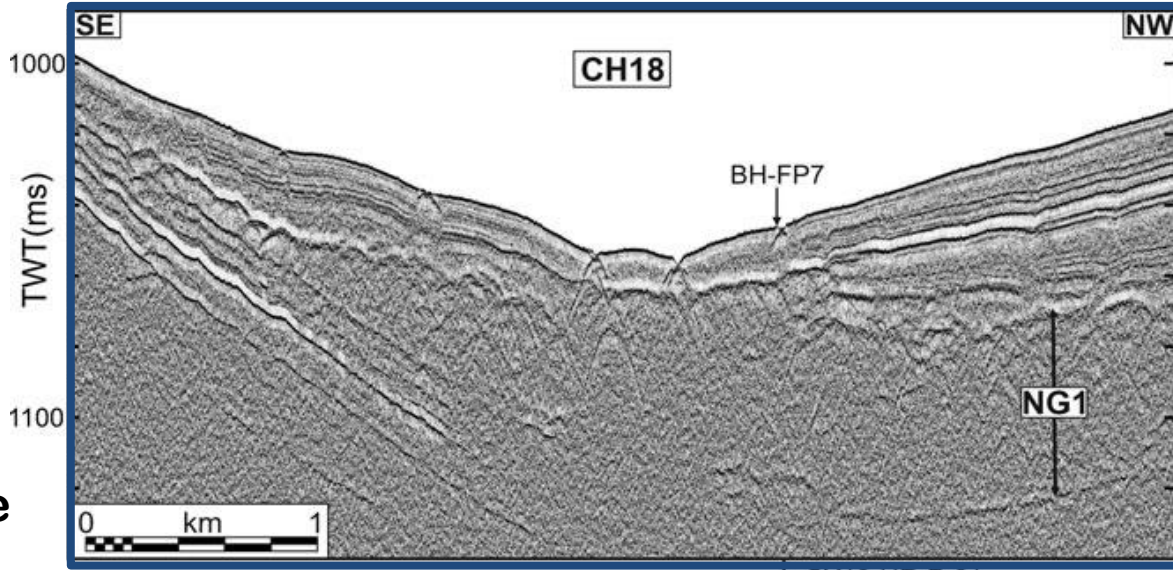
Esempio (offshore Nigeria)

Comparison between
-the sub-bottom profile
(mean frequency 3000 Hz
=> resolution=14 m) and
-the seismic profile
(mean frequency 1200 Hz
=>res. = 6 m), with an altitude
of 80 m above the seabed.

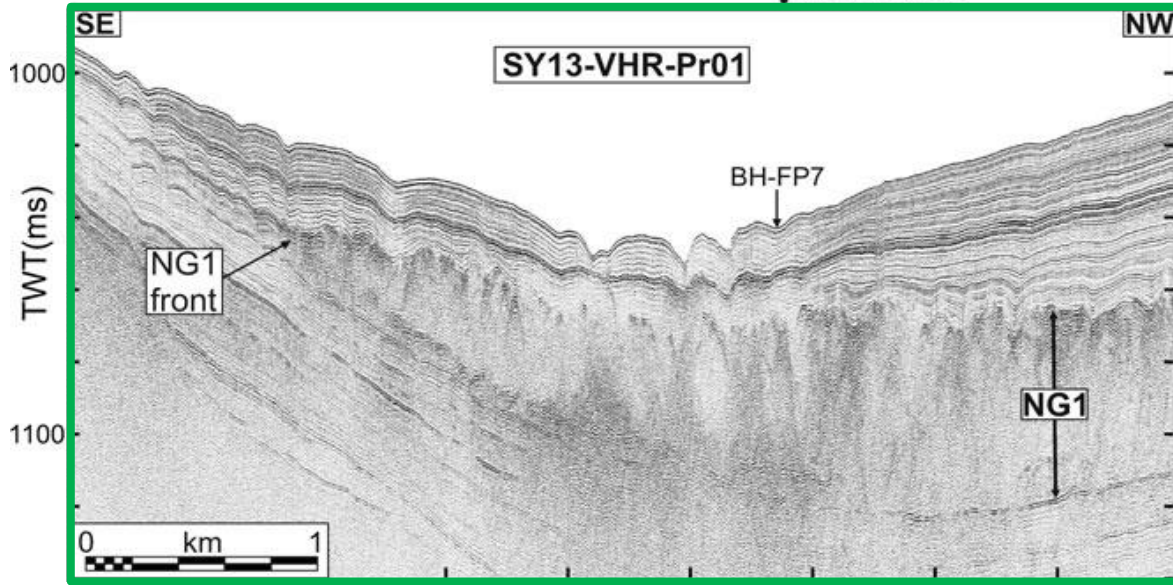
The lateral resolution
improvement in the seismic line
is obvious, despite its lower
frequency, thus making
possible the interpretation of
the front of NG1 (a Mass
Transport Complex) whereas
the SBP image is blurred with
hyperbolae.
This comparison illustrates the
increase in lateral resolution
obtained by the deep-towed
acquisition.

acquisizioni a diverse profondità

$$r = (z_0 \lambda / 2)^{1/2}$$



SY10-HR-Pr01
AUV03-Pr016

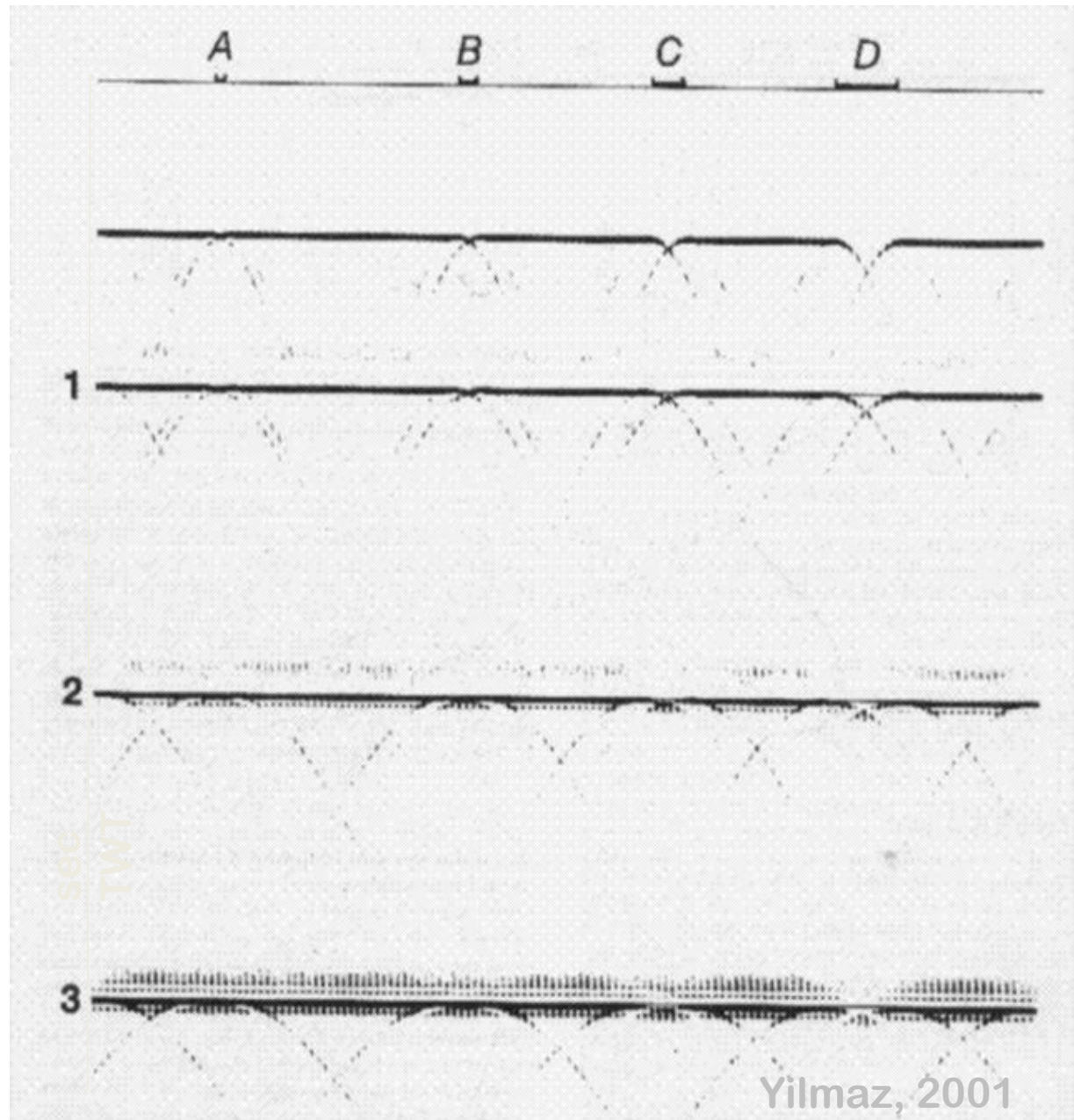


**Effetto profondità
dei riflettori
(0.5, 1, 2 e 3 sec 2wt)
sulla risoluzione
laterale**

$$R \cong \sqrt{z_0 \frac{\lambda}{2}} = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{T_0}{f}}$$

**A, B, C, D segmenti di
diversa lunghezza
relativi ad
assenza di riflessione:**

**la presenza delle
diffrazioni diventa
elemento importante**

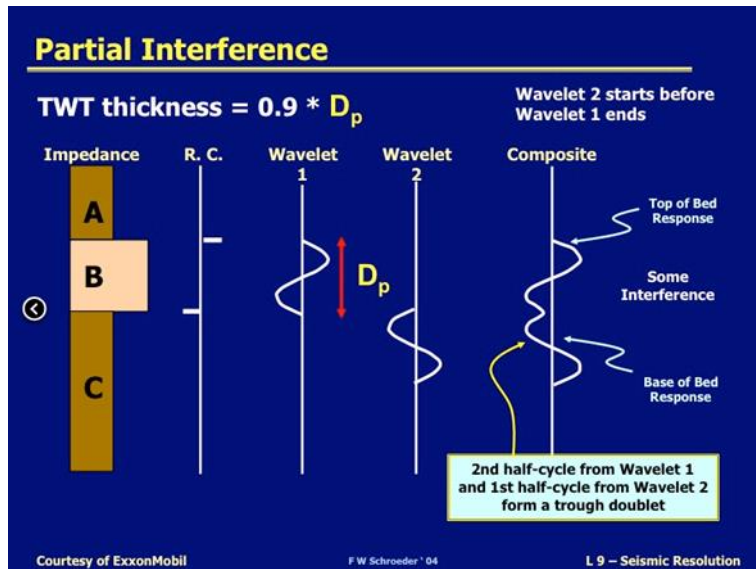
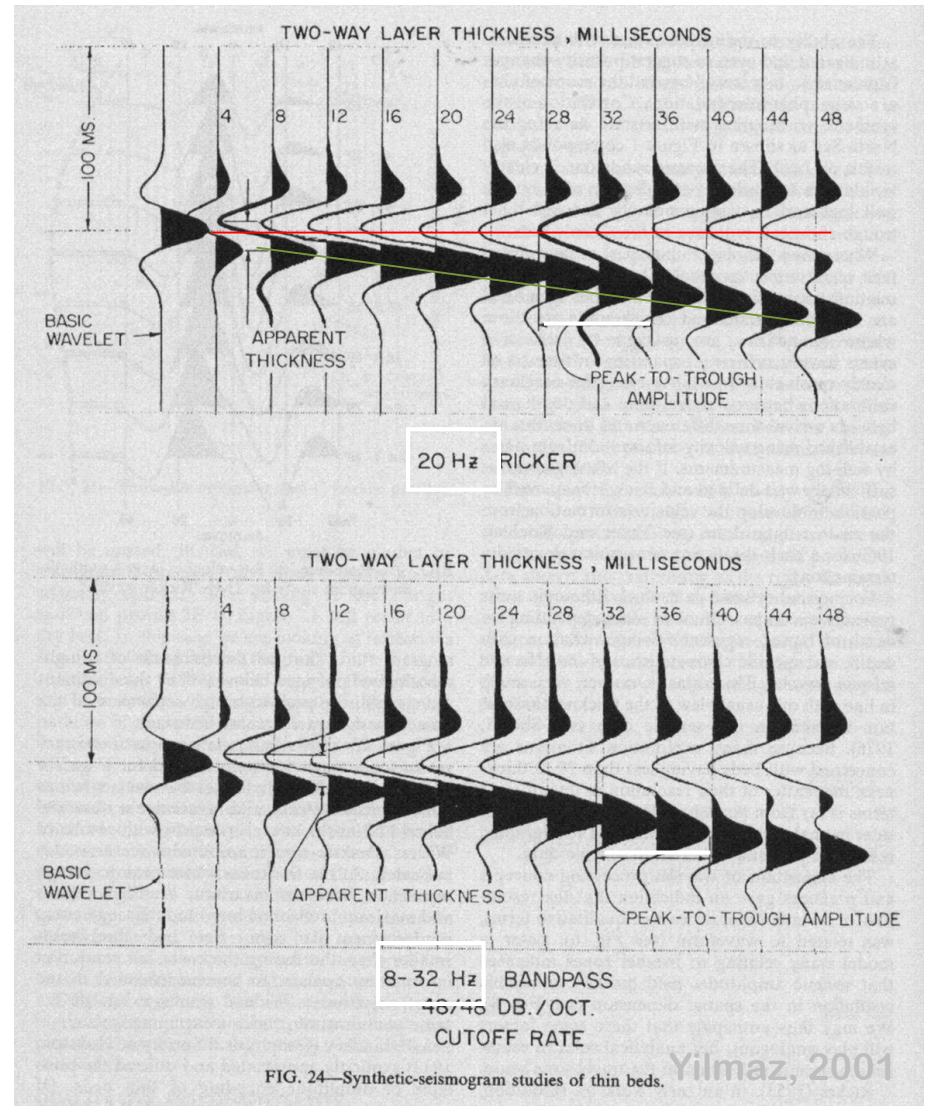


Correlazioni tra risoluzioni verticale e laterale.

Come già visto in Widess (1973): esempio di un cuneo sedimentario limitato da un riflettore al tetto (**Rc negativo**) ed uno alla base (**Rc positivo**) che lateralmente tendono a convergere.

Si noti l'interferenza tra i due riflettori (diminuzione delle ampiezze verso sinistra per interferenza negativa).

Situazione stratigrafica comune, per esempio dove si abbia una superficie di erosione o una configurazioni in *on-lap* o in *pinch-out*.



Es.: cuneo sedimentario caratterizzato da uguali R_c al tetto e al letto; spessori in metri.

La velocità dello strato intermedio è di 2500 m/sec

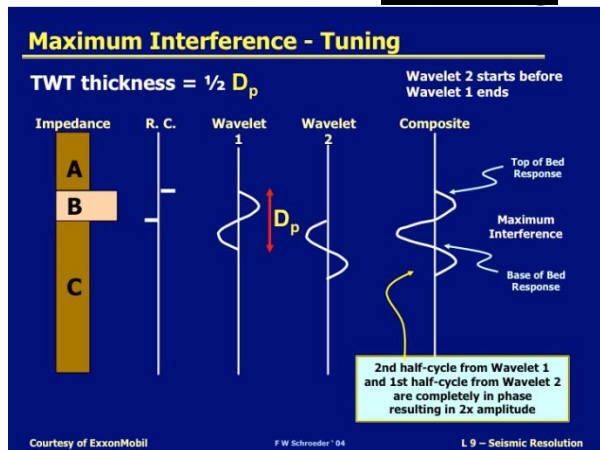
In a, b, e c **frequenza dominante** variabile (risoluzione verticale - posizione di B - $v/4f = 31,25; 21,08$ e 16 m)

A= chiusura del cuneo

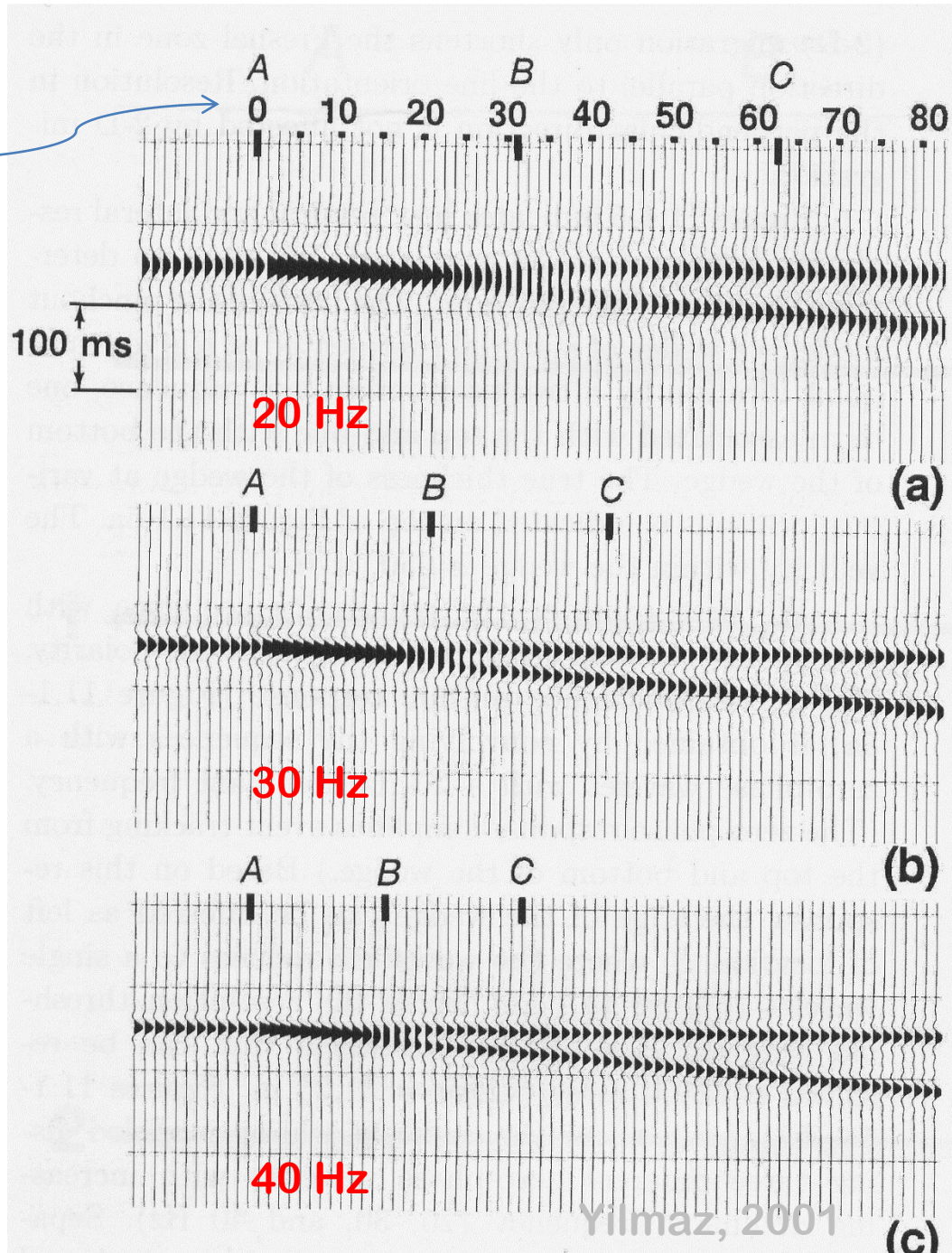
B= limite di risoluzione sismica

C = punto estremo di interferenza

In AB => Effetto **Tuning**



permette di scendere sotto il limite imposto dalla risoluzione verticale, in funzione delle variazioni di ampiezza e a patto che sia alto il rapporto S/N

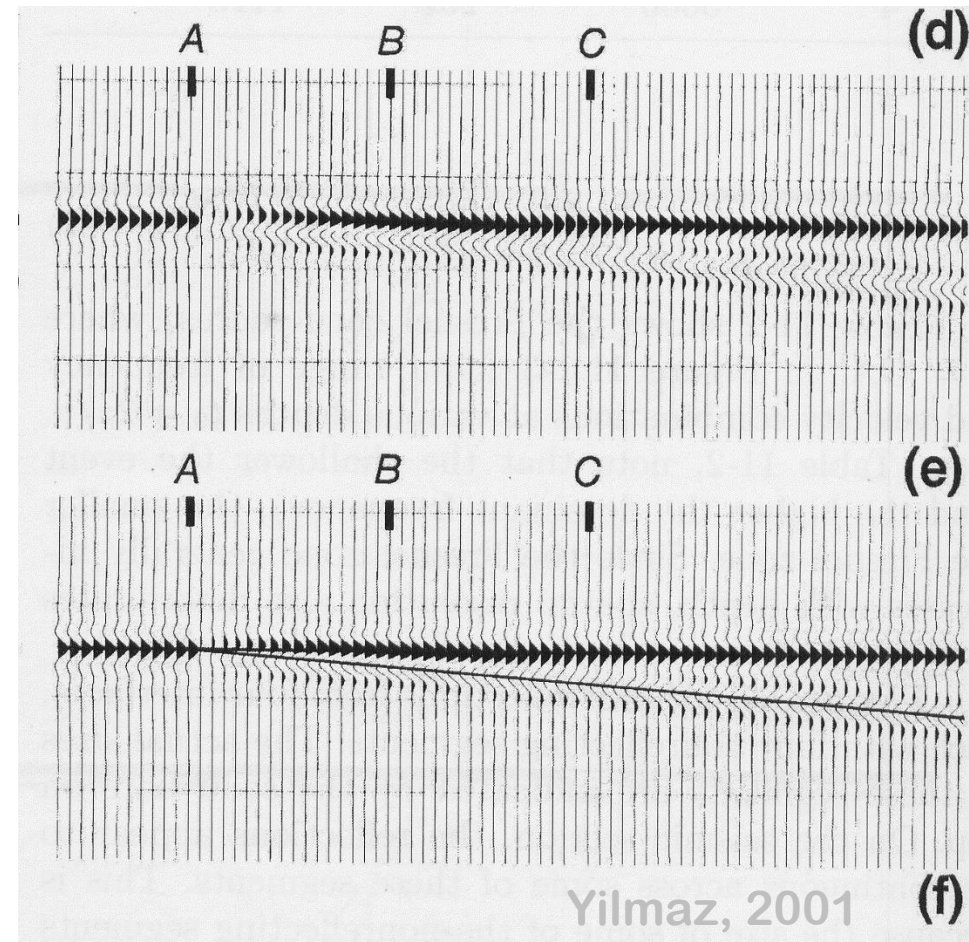


Yilmaz, 2001

Come in figura precedente ma il letto del cuneo è interessato da un coefficiente di riflessione negativo (cuneo ad alta velocità).

L'interferenza tra le due onde derivate dalle due riflessioni sarà distruttiva tra A e B, costruttiva tra B e C.

E' ancora valida la considerazione precedente sulla possibilità di interpretazione sotto il limite della risoluzione sismica.



Wedge models are particularly useful for determining the expected seismic response where there is a variation in thickness. Wedge models provide an analogue for where a stratigraphic layer thins or pinches out. At the thickest part of the wedge, there is no interference between neighbouring events, the reflectors are resolved as a uniform boundary of constant grey color, which equates to an equal and intermediate contribution from each frequency band. As the reflectors converge, interference occurs and manifests as a distinct color within the RGB blend, focused in between the upper and lower reflectors. Reducing thickness in the wedge causes a change in color in the blend. This is due to variation in frequency caused by cycles of constructive and destructive interference and results in a spectral interference pattern along the wedge.

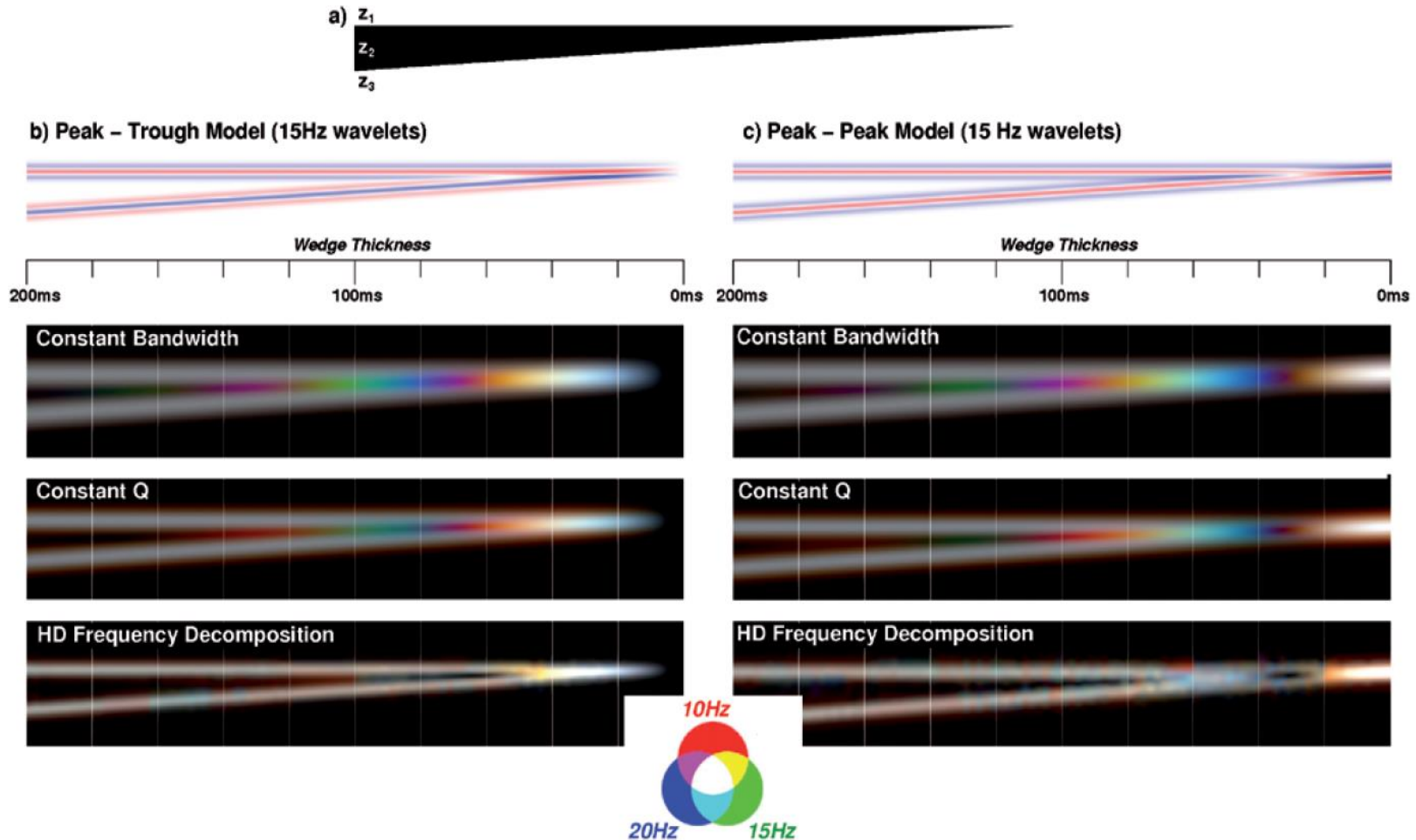


Figure 2 (a) Three-layer wedge model, where acoustic impedances of the upper, mid and lower layers are denoted Z_1 , Z_2 and Z_3 , respectively. (b) RGB blends using the three magnitude volumes with a 15 Hz Ricker wavelet for a peak-trough model with $Z_1 < Z_2 > Z_3$. RGB blends using the three magnitude volumes with a 15 Hz Ricker wavelet for a peak-peak model with $Z_1 < Z_2 < Z_3$.