UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

Laurea Magistrale in Geoscienze

A.A. 2020-2021

PETROFISICA INTEGRATA II MODULO

UD2
Attributi istantanei

Emanuele Forte
e-mail: **eforte@units.it**

ATTRIBUTI "GENERALI"

Hanno valore indipendentemente dal sito. Si tratta di solito di attributi "storici", i primi ad essere stati definiti e quindi maggiormente testati:

- (parametri del riflettore (ampiezza, tempo, dip, azimuth))
- Spectral decomposition (ottenuta tramite Trasformata di Fourier - FT, Short Time Fourier Transform - STFT, Wavelet Transform - WT, Instantaneous Spectral Analysis - ISA)
- attributi istantanei
- edge detection/coerenza
- *AVO*

Partiremo quindi dalla Trasformata di Fourier, per poi considerare la Trasformata di Hilbert che è alla base del calcolo degli attributi istantanei.

TRASFORMATA DI FOURIER (FT)
trattazione continua

$$X(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\exp(-i\omega t)dt$$ = FT x(t) con x(t) funzione continua nella variabile (t)

SE (t)=tempo ➔ $\omega = 2\pi f$

$$x(t)=\int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega)\exp(i\omega t)d\omega$$ = FT^{-1}

$X(\omega)$ Nel caso generale è una variabile complessa che può essere espressa nella forma:

$$X(\omega)=A(\omega)\exp[i\varphi(\omega)]$$

$A(\omega)$ = spettro di ampiezza = $A(\omega)=\sqrt{X_r^2(\omega)+X_i^2(\omega)}$

$\varphi(\omega)$ = spettro di fase = $\varphi(\omega)=\tan^{-1} X_i(\omega)/X_r(\omega)$

$X_r(\omega), X_i(\omega)$ = parti Reale e Immaginaria della FT $X(\omega)$

Da cui $X(\omega)=X_r(\omega)+iX_i(\omega)$ e, confrontando e considerando la notazione di Eulero per i complessi:

$$X_r(\omega)=A(\omega)\cos\varphi(\omega)$$
$$X_i(\omega)=A(\omega)\sin\varphi(\omega)$$

TRASFORMATA DI FOURIER (FT)
trattazione discreta

Una funzione discreta è una SERIE. Nel caso sismico considereremo serie temporali ottenute digitalizzando funzioni continue (analogiche) secondo intervalli di tempo Δt (solitamente costanti)

Quando viene digitalizzata la funzione continua assume la forma: $x(t) \rightarrow x(T)$

Con $T = n\Delta t$

$$x(T) = \sum_k x_k \delta(t - k\Delta t) \qquad k = 0,1,2,\ldots$$

$\delta(t - k\Delta t)$ È la funzione chiamata "Delta di Dirac" e Δt è l'intervallo di campionamento

La FT in questo caso sarà: $X(\Omega) = \sum_k x_k \exp(-i\omega k\Delta t) \qquad k = 0,1,2,\ldots$

Se introduciamo una nuova variabile z → $z = \exp(-i\omega\Delta t)$ avremo che:

$$X(z) = \sum_k x_k z^k = x_0 + x_1 z + x_2 z^2 + \ldots$$

Il polinomio X(z) è la z-trasformata della funzione originaria, ovvero della serie temporale x(t)

In piu' dimensioni

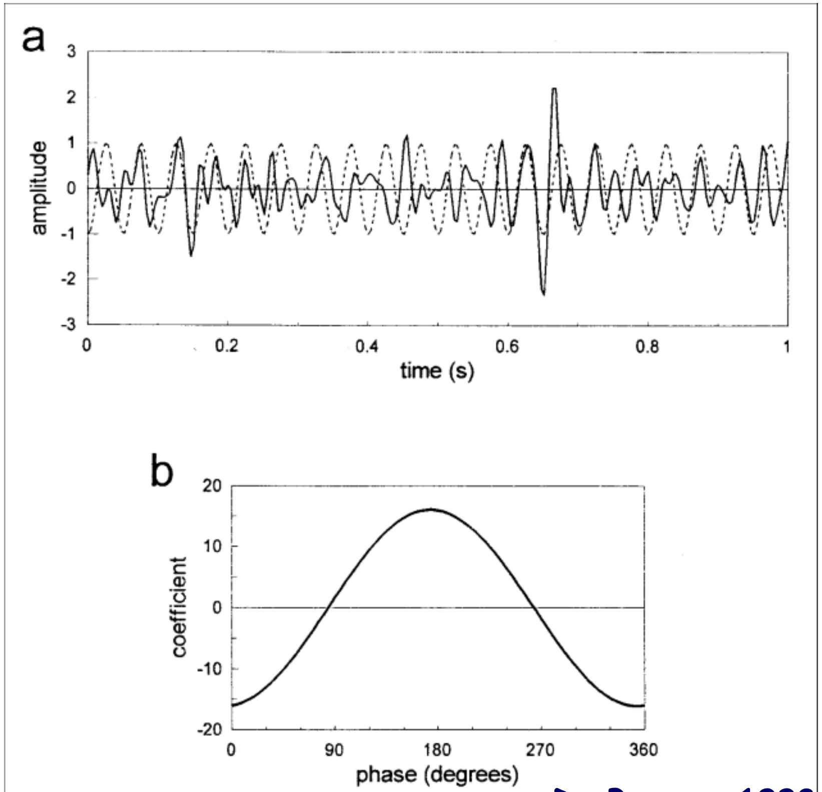
Per un generico campo d'onda in 2D (nel caso sismico t e x) $p(x,t)$ la sua FT sarà:

$$P(k_x \omega) = \iint p(x,t)\exp(ik_x x - i\omega t)dxdt$$

E la FT^{-1}:

$$p(xt) = \iint P(k_x \omega)\exp(-ik_x x + i\omega t)dk_x d\omega$$

TRASFORMATA DI FOURIER (FT)
Considerazioni pratiche e applicative



Da Barnes, 1998

(a) Seismic trace compared with a 20 Hz cosine wave with 175° of phase.

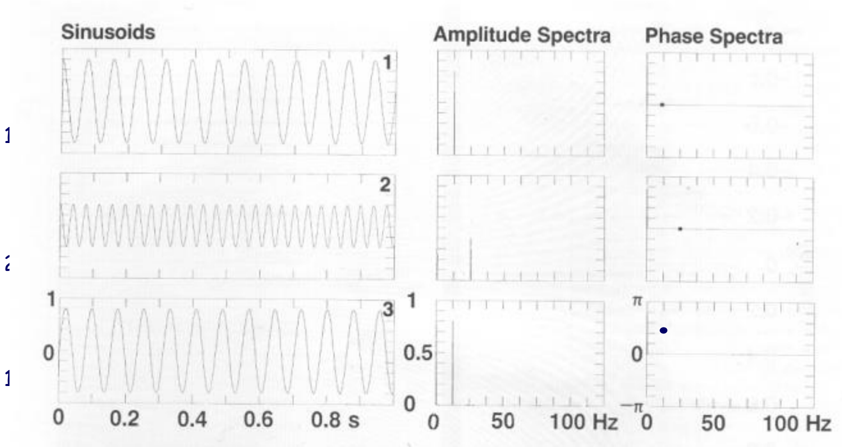
(b) Correlation coefficients (unnormalized) for the seismic trace and the cosine wave as a function of the phase of the cosine, determined every 5°. The largest coefficient is 16.1 at 175°; these are the approximate Fourier amplitude and phase for this trace at 20 Hz.

MAX coefficiente di correlazione (per ogni frequenza) ➔ AMPIEZZA

BEST angolo di fase ➔ FASE

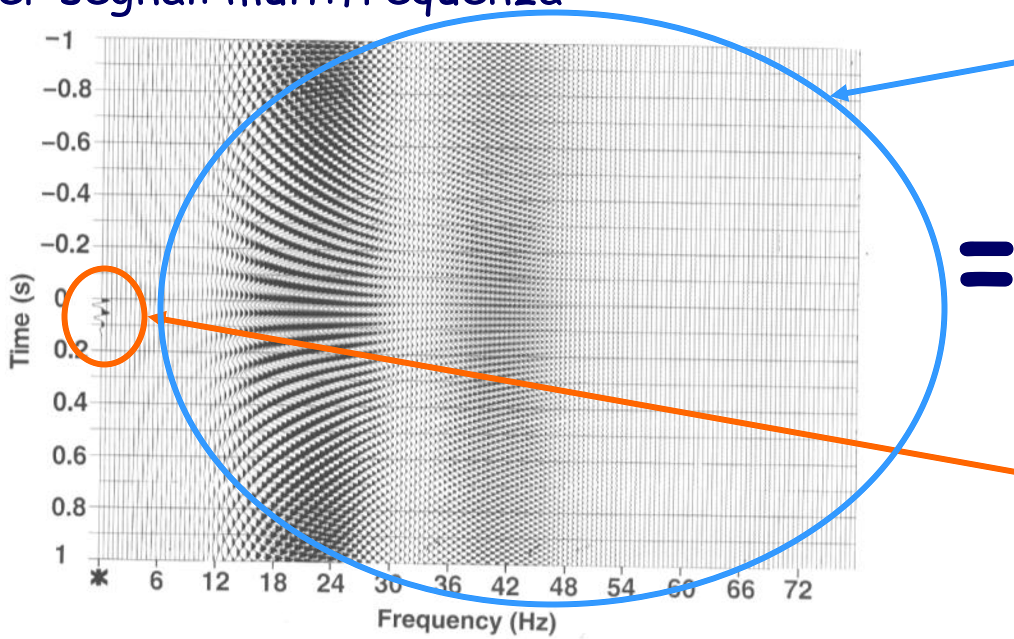
Quindi la FT determina il massimo coefficiente di correlazione e l'angolo di fase ad esso associato in una traccia sismica per tutte le frequenze

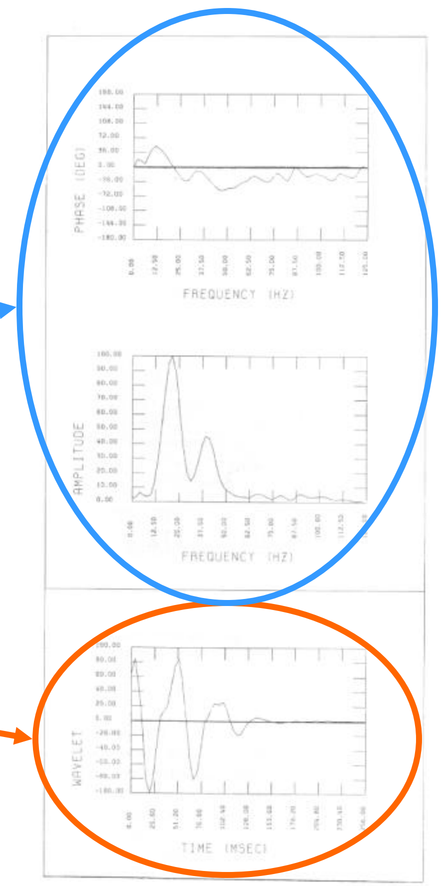
TRASFORMATA DI FOURIER (FT)
Considerazioni pratiche e applicative



Per segnali monofrequenza

Per segnali multifrequenza



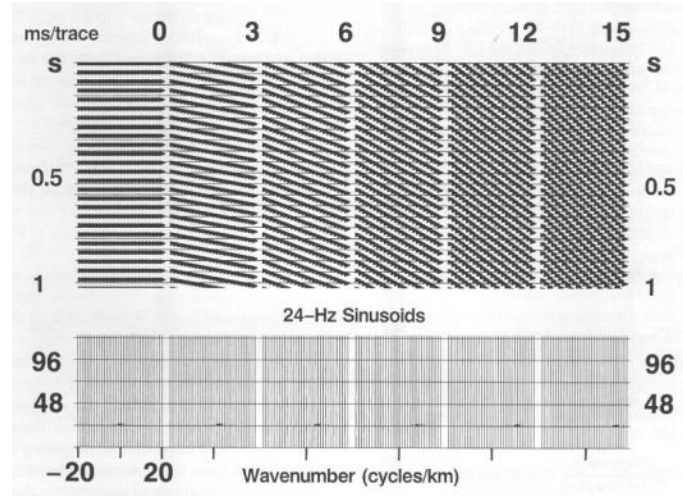


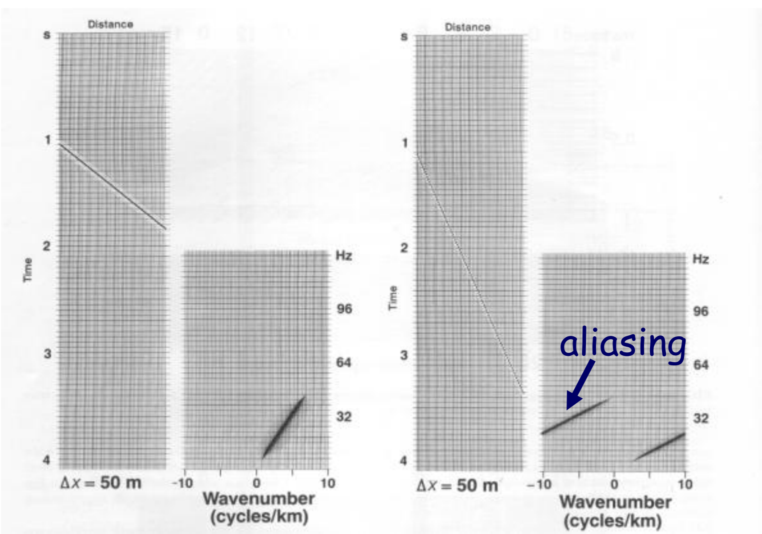
Quindi: la FT esprime il contenuto in frequenza e fase di una sequenza temporale di cui è una rappresentazione analoga e alternativa

Da Yilmaz, 2001

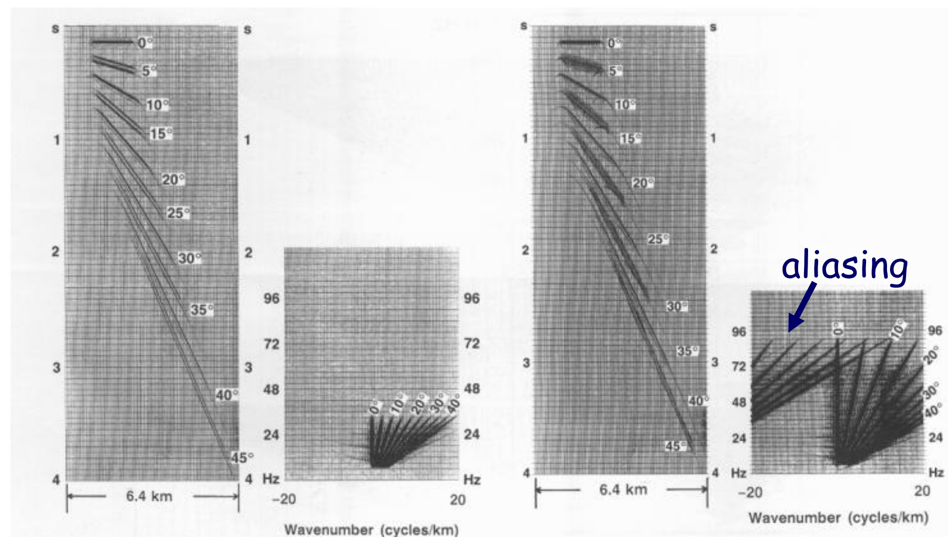
TRASFORMATA DI FOURIER (FT)
Considerazioni pratiche e applicative: 2D

Per segnali monofrequenza
e k=numero d'onda=cost





Per segnali multi frequenza
e k=numero d'onda costante



Per segnali multi frequenza
e k=numero d'onda=variabile

TRASFORMATA DI HILBERT (HT)

Una traccia sismica si può considerare una funzione complessa somma di una parte reale ed una immaginaria $u(t) = x(t) + iy(t)$ in cui $x(t)$ è la traccia sismica registrata e $y(t)$ la sua "quadratura", ovvero la traccia con la fase traslata nel tempo di 90°.

$y(t)$ Si può ricavare matematicamente da $x(t)$ tramite la trasformata di Hilbert:

$$y(t) = \frac{1}{\pi t} * x(t)$$

E' interessante esprimere u(t) in coordinate polari (o di Eulero): $u(t) = A(t)\exp[i\varphi(t)]$

In cui:

$$A(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}$$ AMPIEZZA ISTANTANEA o INVILUPPO o REFLECTION STRENGTH

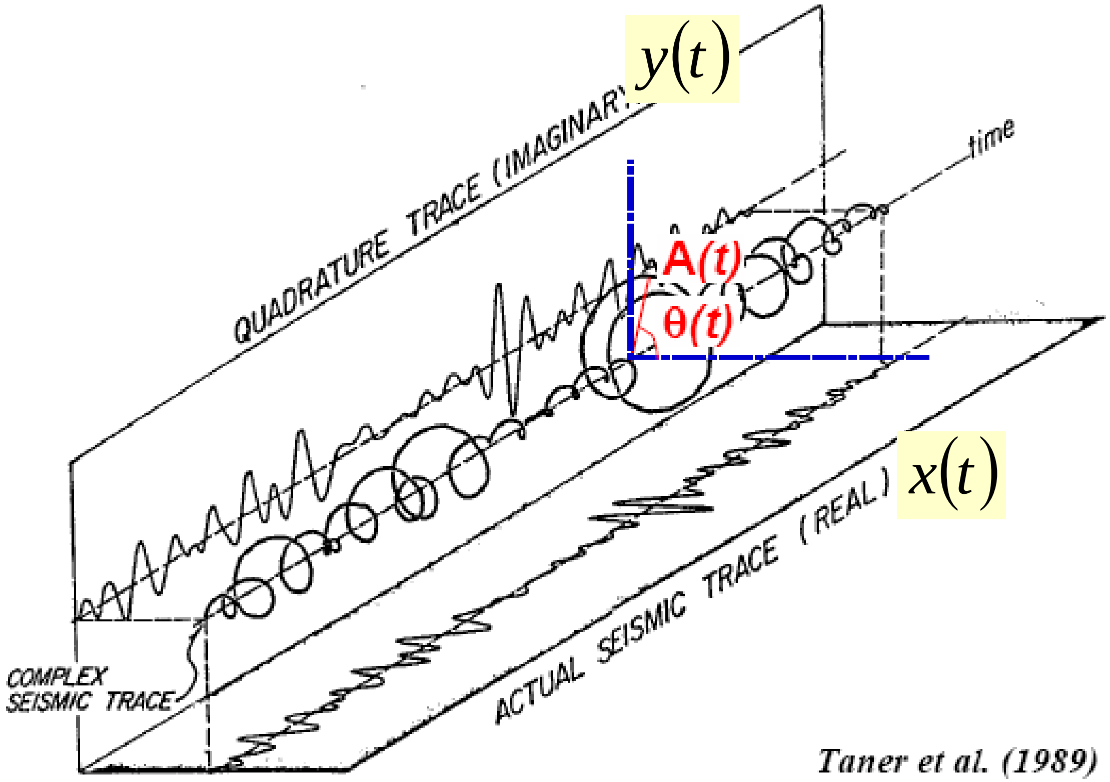
$$\varphi(t) = \tan^{-1}\frac{y(t)}{x(t)}$$ FASE ISTANTANEA

Se calcoliamo la variazione nel tempo della fase istantanea avremo:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}$$ FREQUENZA ISTANTANEA

Le grandezze sopra descritte (e quelle da loro derivate) sono chiamate ATTRIBUTI ISTANTANEI perché calcolati, nel caso discreto, per ogni istante temporale nΔt.

TRASFORMATA DI HILBERT (HT)
Considerazioni pratiche e applicative



Taner et al. (1989)

AMPIEZZA

$$A(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}$$

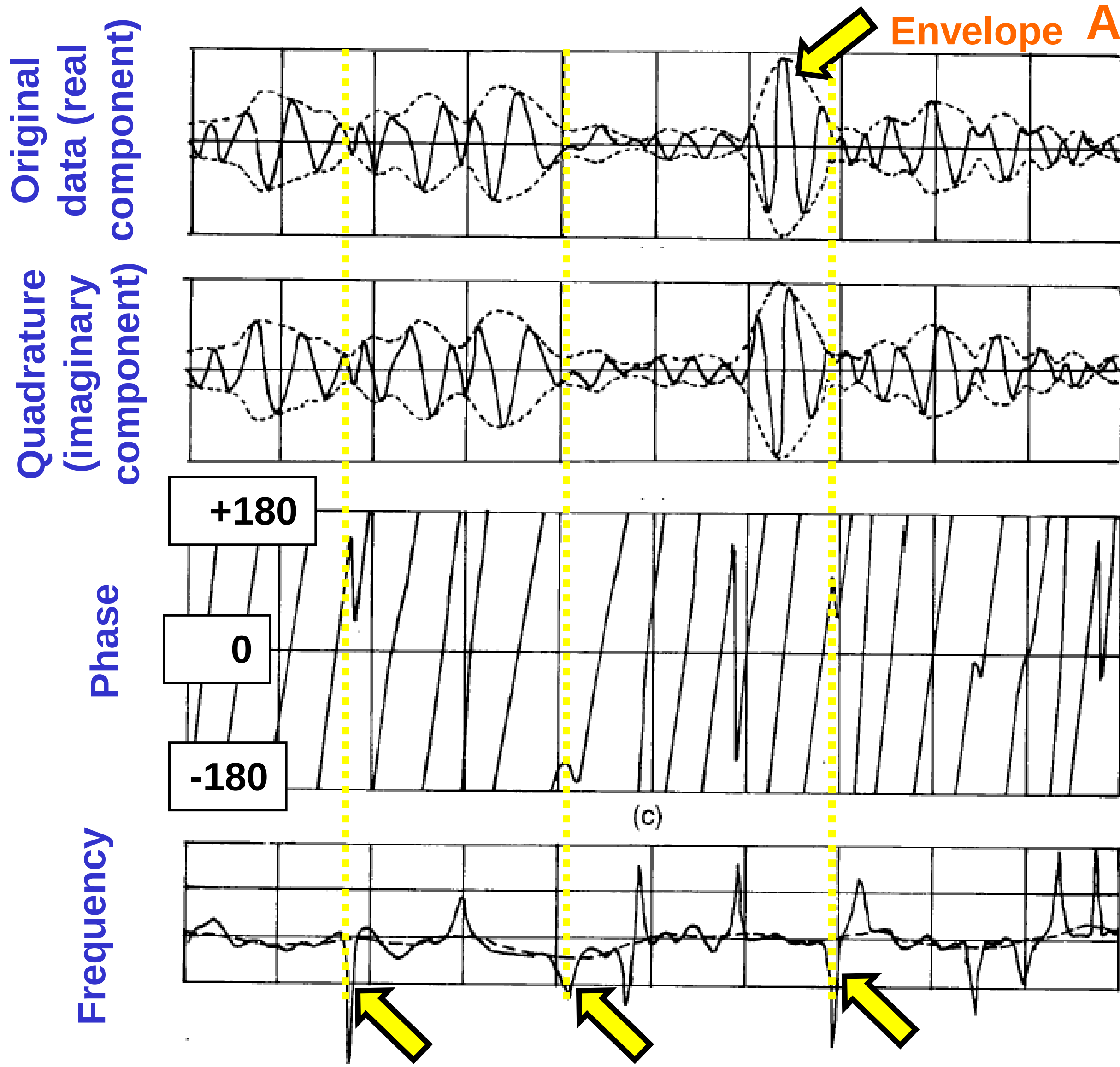
FASE

$$\phi(t) = \theta(t) = arctg\left(\frac{y(t)}{x(t)}\right)$$

FREQUENZA

$$\omega(t) = \frac{d\phi(t)}{dt}$$

TRASFORMATA DI HILBERT (HT)
Considerazioni pratiche e applicative



Envelope $A(t) = [x(t)^2 + y(t)^2]^{1/2}$

$x(t)$

$y(t)=x^H(t)$

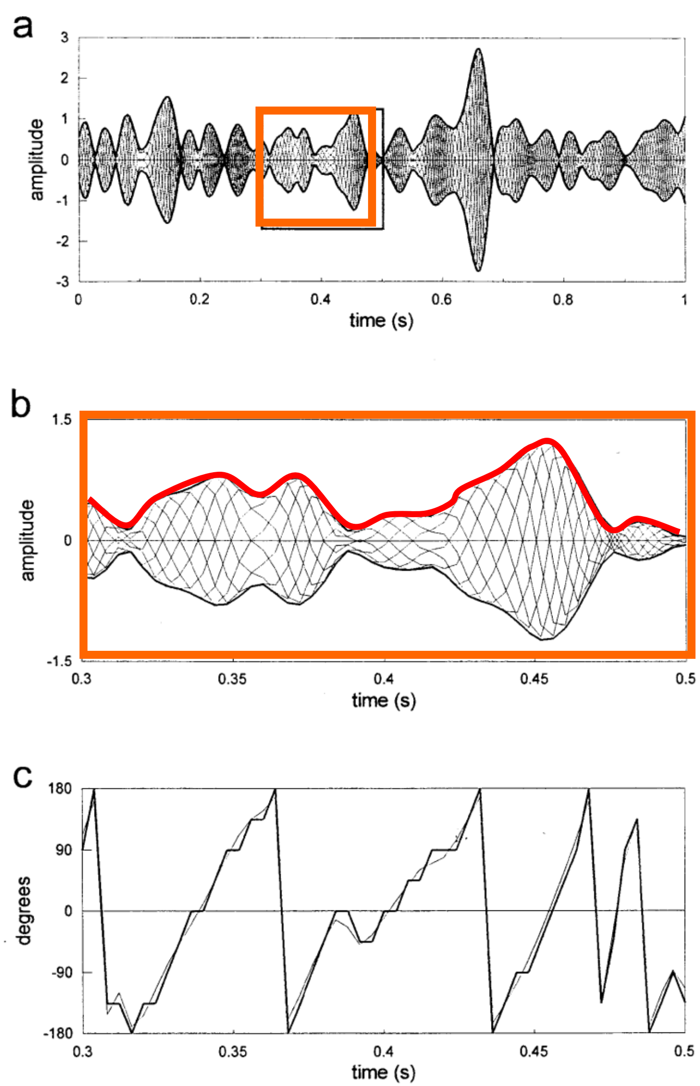
$\phi(t) = \tan^{-1}[y(t)/x(t)]$

$f(t) = d\phi(t)/dt$

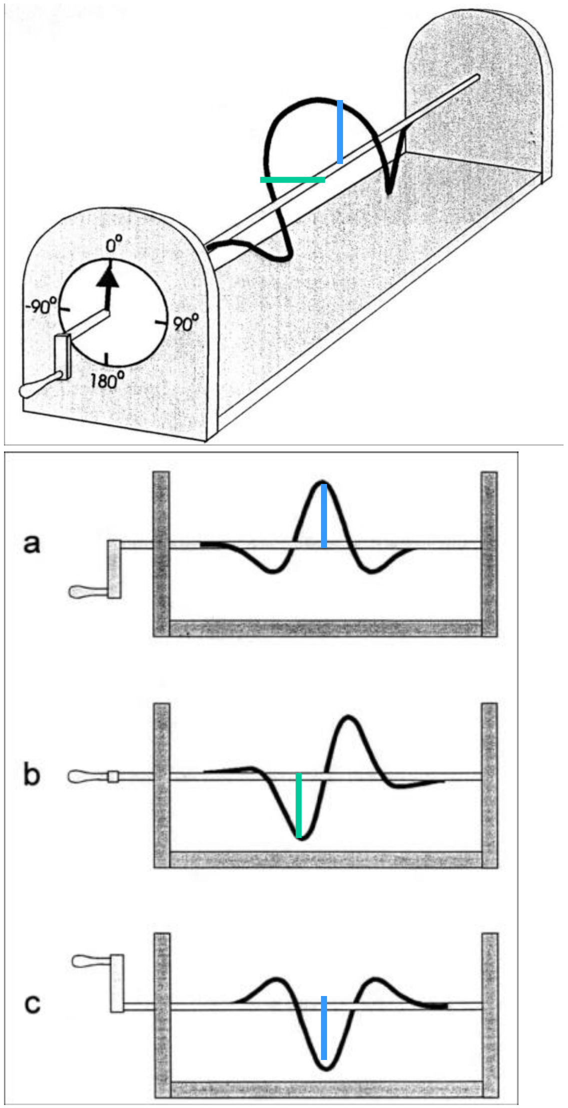
Taner et al, 1979

Punti di singolarità

TRASFORMATA DI HILBERT (HT)
Considerazioni pratiche e applicative

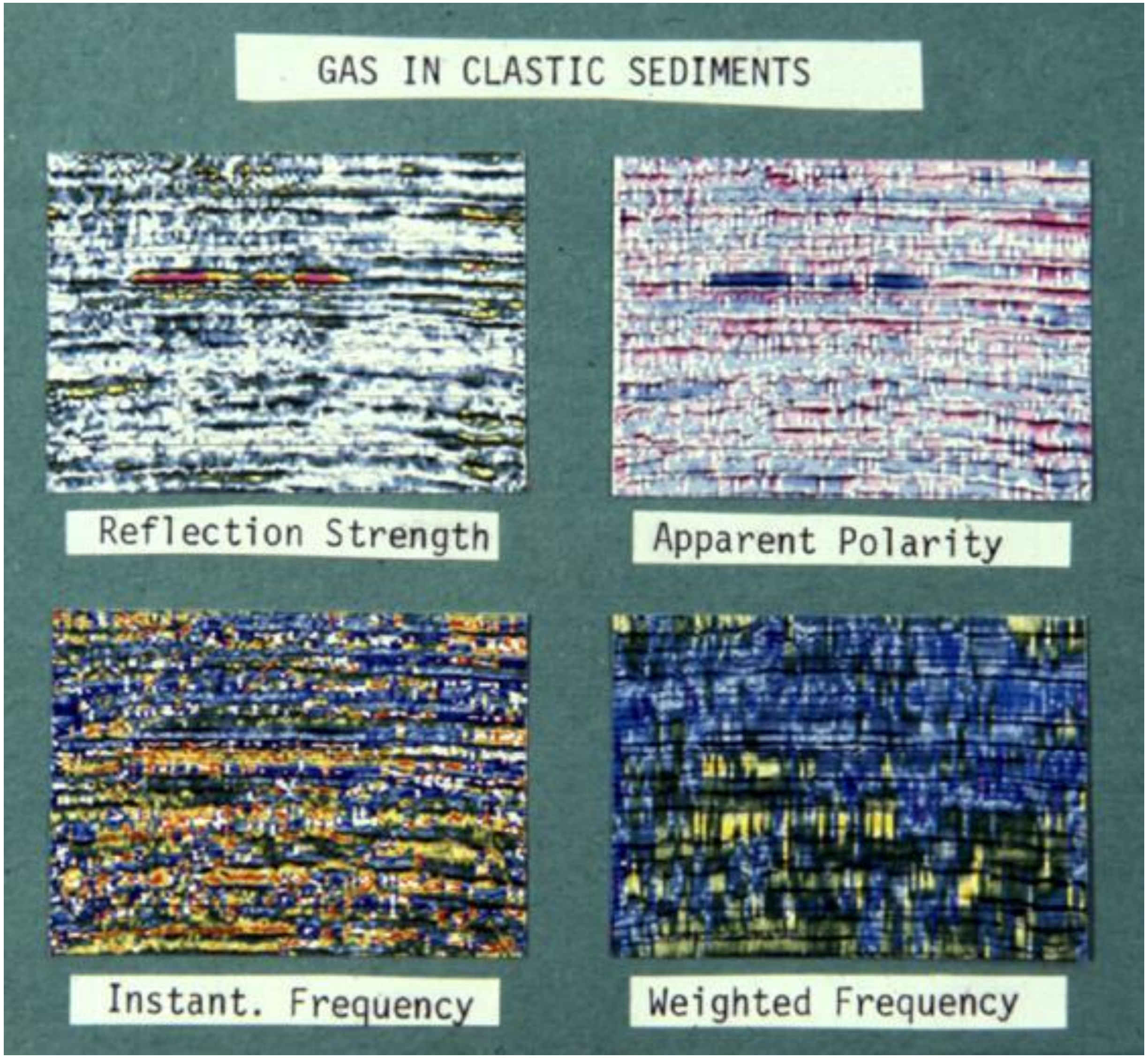


(a) Traccia della slide precedente ruotata 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, -135°, -90°, e -45° (linee sottili), delimitata dall'inviluppo (linee marcate).
At any given time, the envelope is approximately the largest value found on
the set of phase-rotated traces, and the instantaneous phase is approximately the negative of the phase of that trace with the largest value.
(b) Close-up of the box.
(c) Approximate instantaneous phase (dark line) overlying actual instantaneous phase (light line).



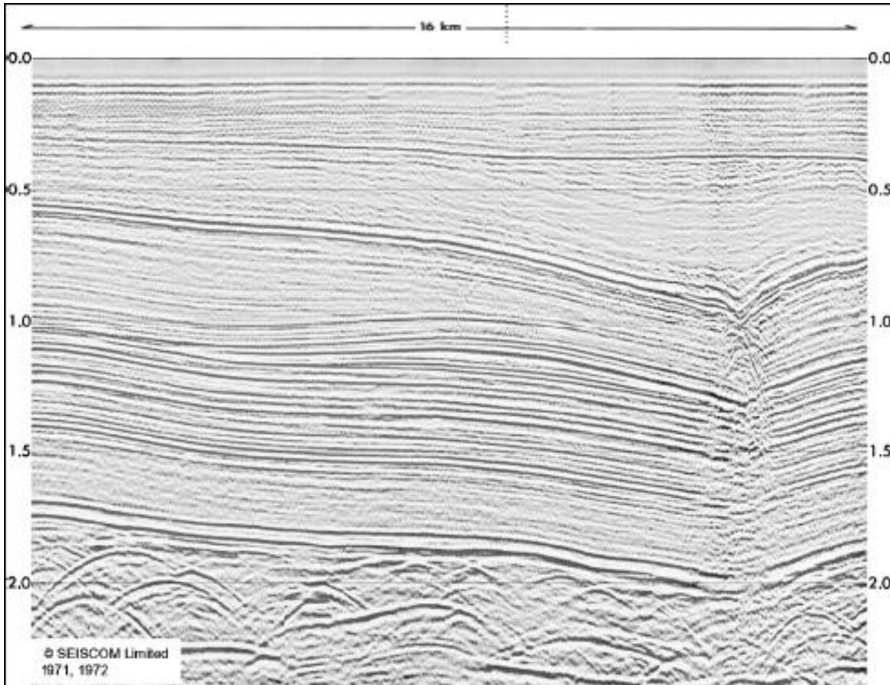
Barnes, 1998

APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI



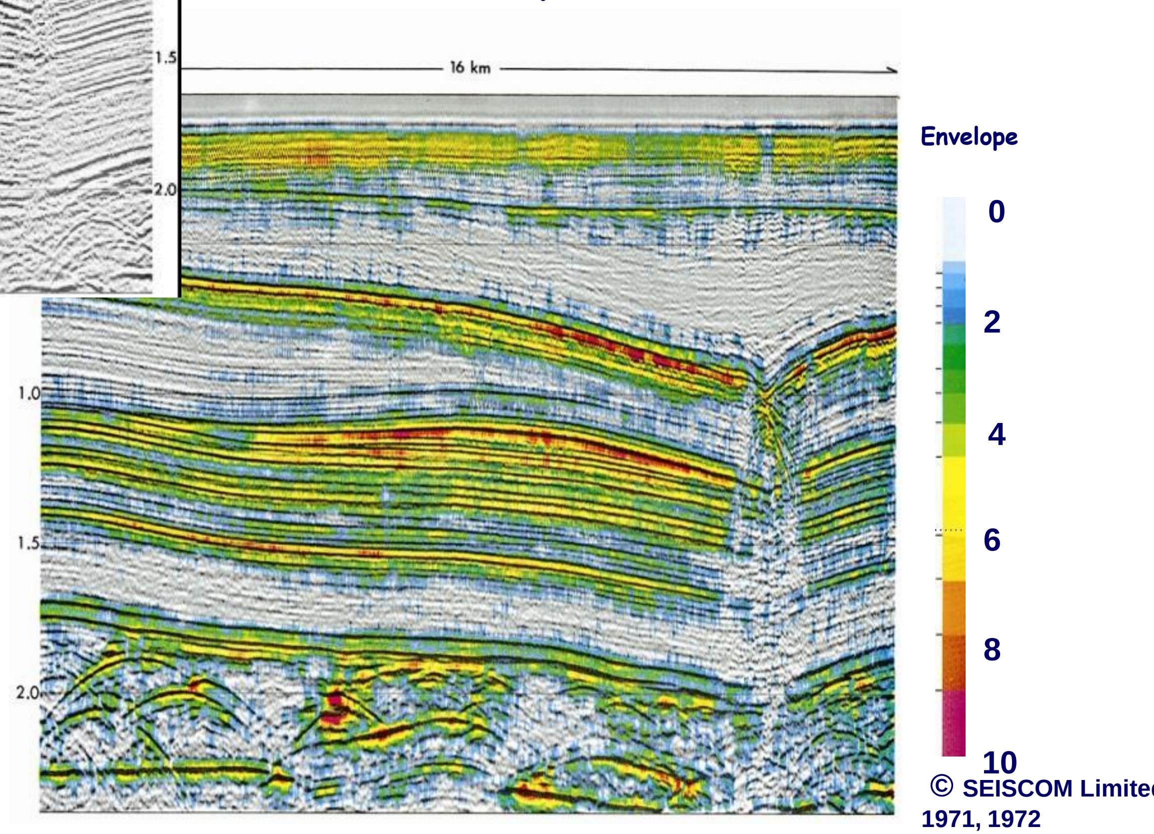
(T. Taner, Rock Solid Images anni '70)

APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI



Variable density plot

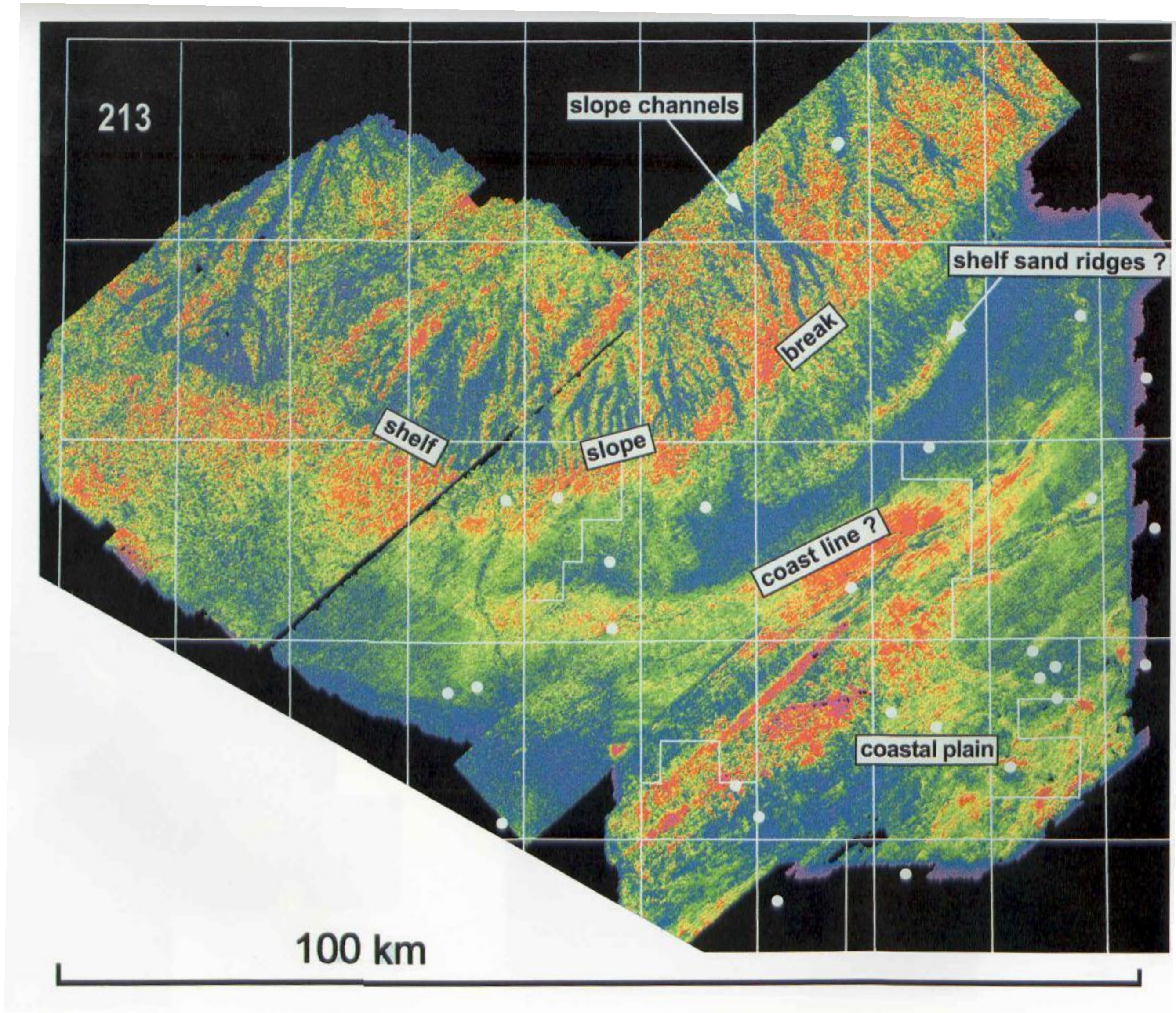
Variable density plot
con sovrapposta
l'ampiezza istantanea



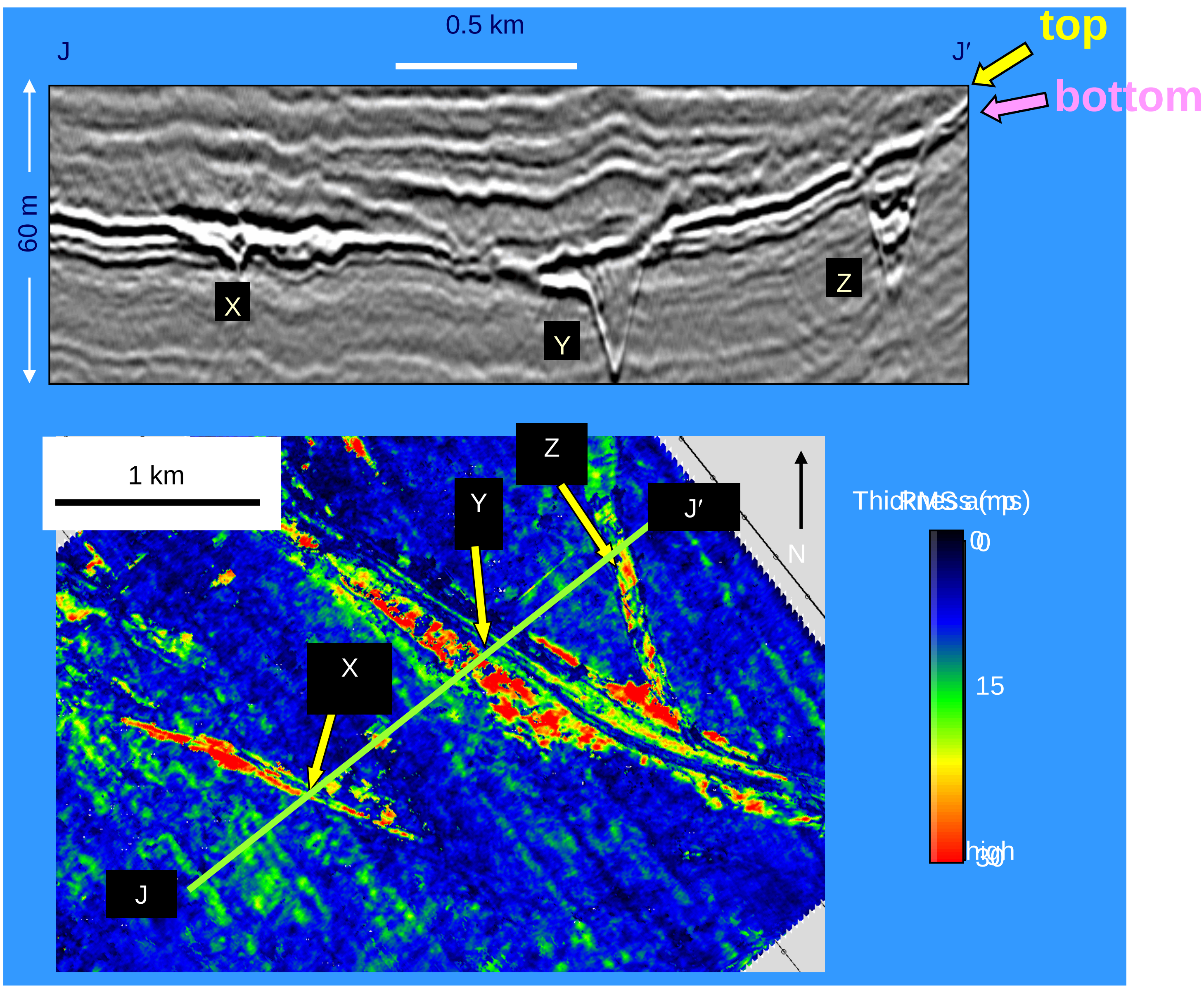
Anstey, 2005, da dati anni '70

APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI

Top Balder Fm amplitude map from multiple 3-D surveys covering 5500 sq. km. of the Faroe Basin west of Shetland in U.K. waters. The colors show the RMS MEAN INSTANTANEOUS AMPLITUDE over a 50 ms window surrounding the Top Balder Fm, with red indicating high amplitude and blue indicating low amplitude.

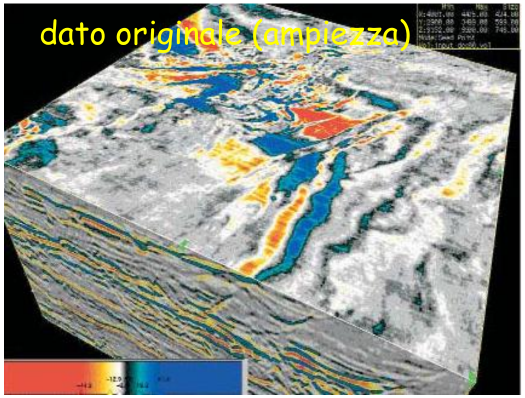


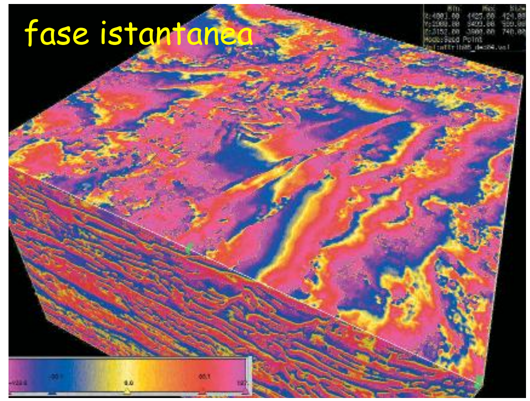
APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI

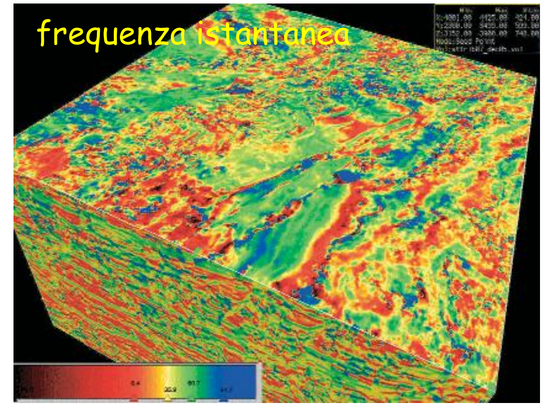


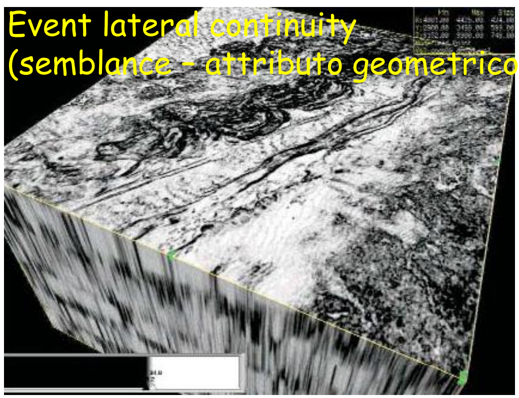
Oyodele, 2005

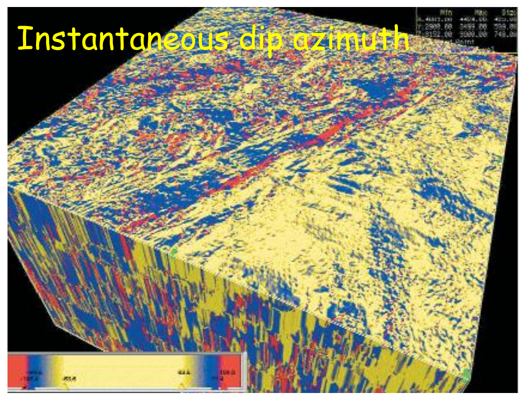
APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI
A Che cosa servono?

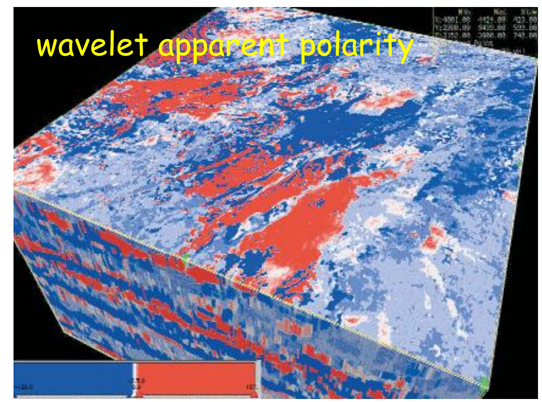










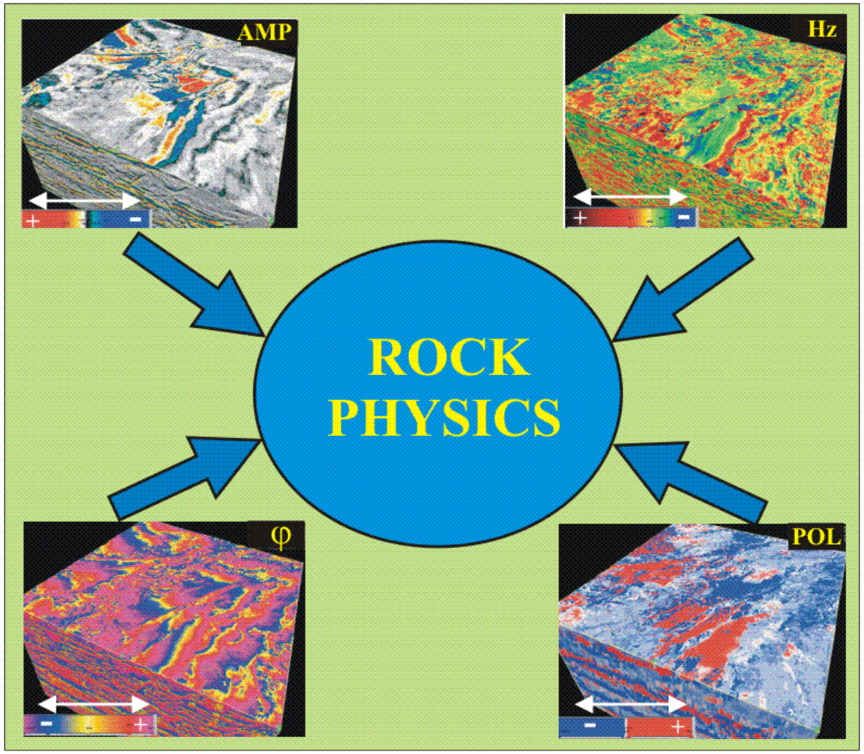


AMPIEZZA ISTANTANEA (trace envelope, reflection strength) SOLO POSITIVA

- Contrasti di impedenza acustica ➔ riflettività
- Bright spots, possibile accumulo di gas
- Sequence boundaries
- Evidenzia *thin-bed*
- Contatto tra fluidi diversi, zone di sovrapressione

- Cambiamenti principali di ambiente deposizionale
- Correlazione spaziale della porosità e di altri parametri litologici
- Indicazioni sulla velocità di gruppo dell'onda sismica ➔ dispersione

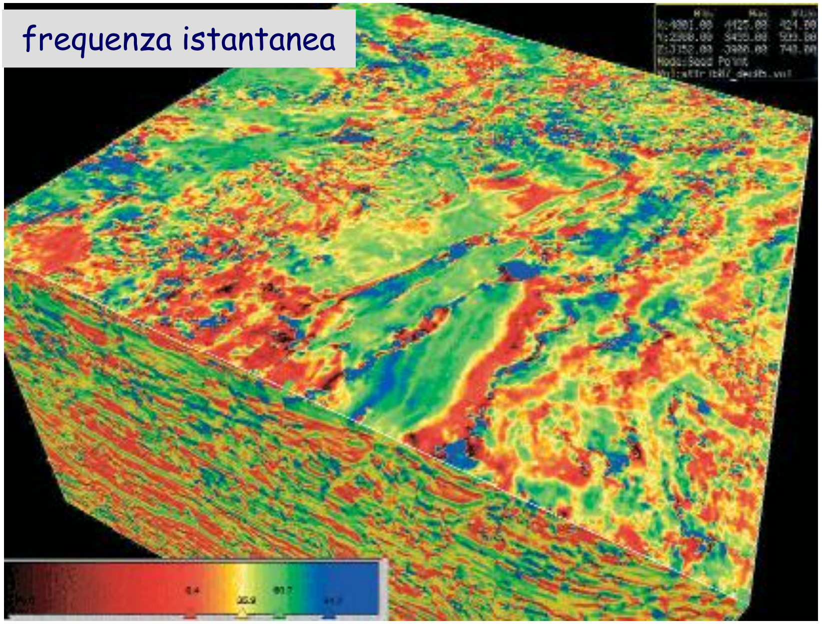
APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI
A Che cosa servono?

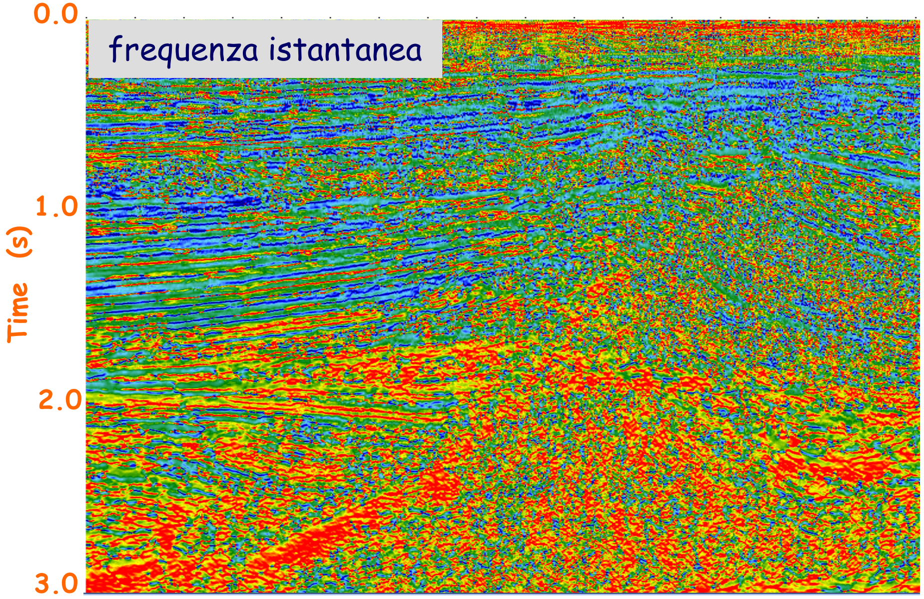


FASE ISTANTANEA
Dal momento che i fronti d'onda hanno fase costante, la Fase Istantanea evidenzia le forme/geometrie anche con dati rumorosi e basso S/N

- Continuità laterale/discontinuità anche con forti variazioni di ampiezza
- Individuazione di strati sottili
- Evidenzia eventi anche a bassissima ampiezza (dettagli stratigrafici, faglie, multiple,…)
- Velocità di fase

APPLICAZIONI ATTRIBUTI ISTANTANEI
A Che cosa servono?





FREQUENZA ISTANTANEA
Evidenzia le variazioni di frequenza (contenuto spettrale) ad un'interfaccia/discontinuità.
Molto sensibile al rumore➔ singolarità fittizie ➔ artefatti

- Indicatore di idrocarburi (anomalia a bassa frequenza), soprattutto in sabbie non consolidate a olio
- Suggerisce variazioni granulometriche (Sand/Shale Ratio – SSR)
- fratture/faglie=zone a minor frequenza
- Suggerisce gli spessori degli orizzonti: alte f➔ laminazione, strati sottili;
  basse f ➔ strati massivi.

Si possono calcolare tantissimi attributi derivati da qs. 3: ad esempio derivata prima e seconda della AI, gradiente della FI, medie della FI,…

DOMANDE?

Approfondimenti:

Seismic Attribute Sensitivity to Energy, Bandwidth, Phase, and Thickness

Da Greg A. Partyka

BPAmoco (modificato)

OBIETTIVI

1 Review common attributes.

2 Summarize attribute sensitivity

– to energy, bandwidth, and phase; via simple half-space models.

– to thickness; via simple wedge models.

Model Descriptions

7 half-space models

- Laterally consistent reflectivity
- Laterally variable wavelet properties

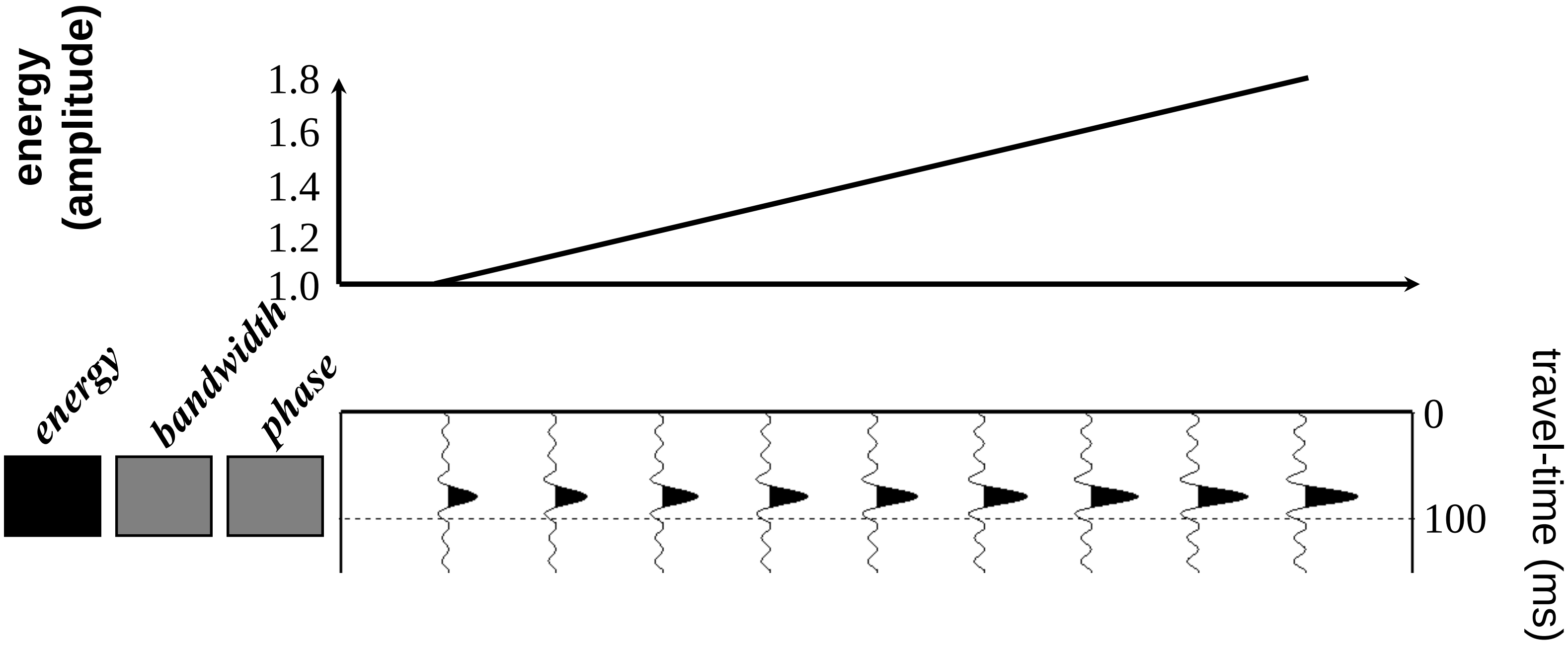
Statics, variable source & receiver coupling, and attenuation are three main causes for laterally variable wavelet properties.

3 wedge models

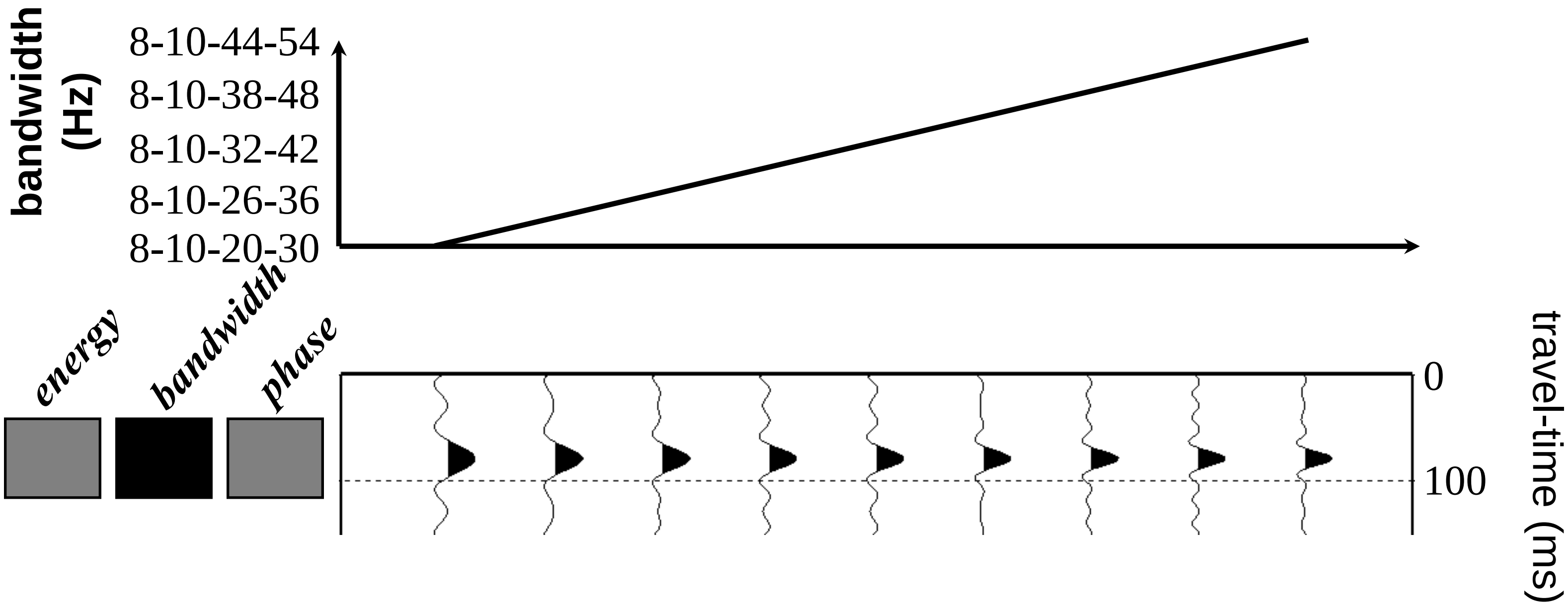
- Laterally consistent wavelet properties.
- Laterally variable reflectivity.

Lithology, fluid, and thickness are three main causes for laterally variable reflectivity.

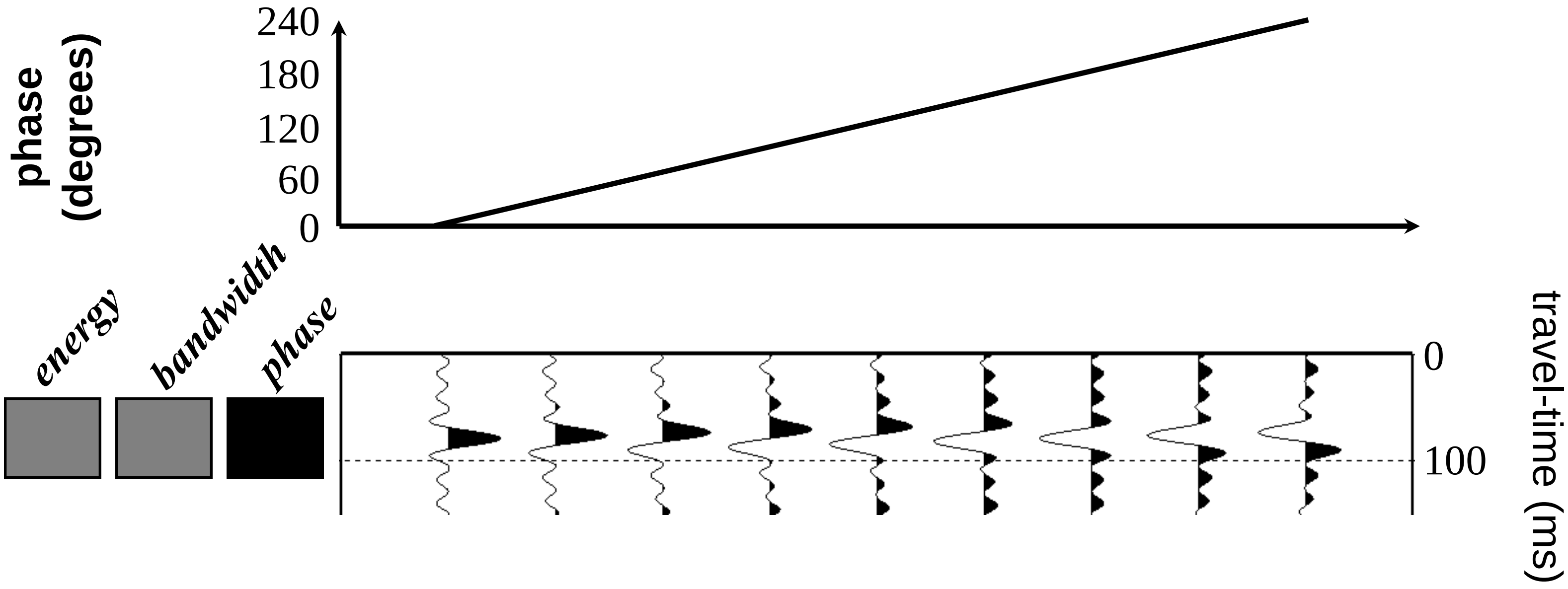
Energy Model



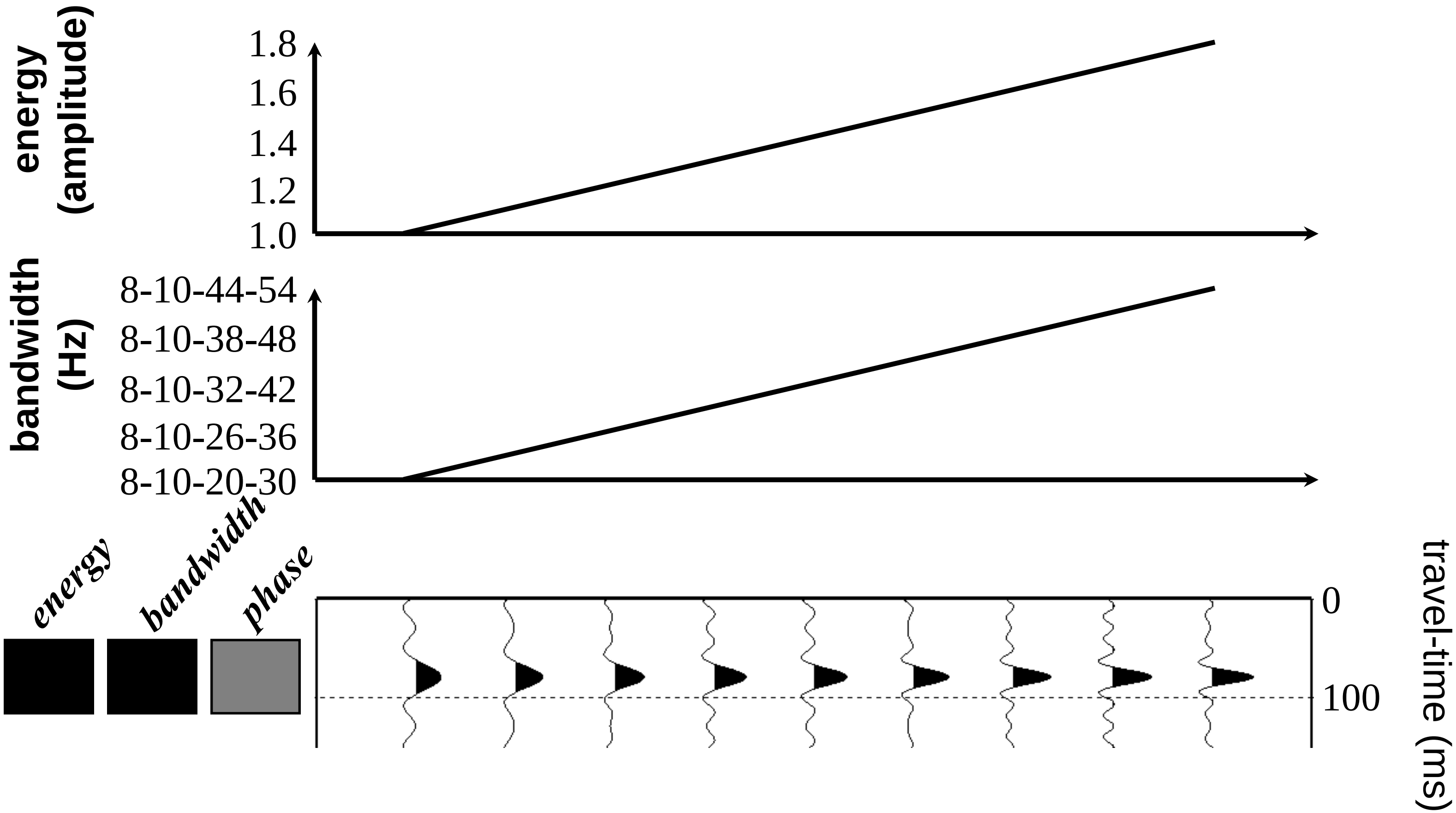
Bandwidth Model



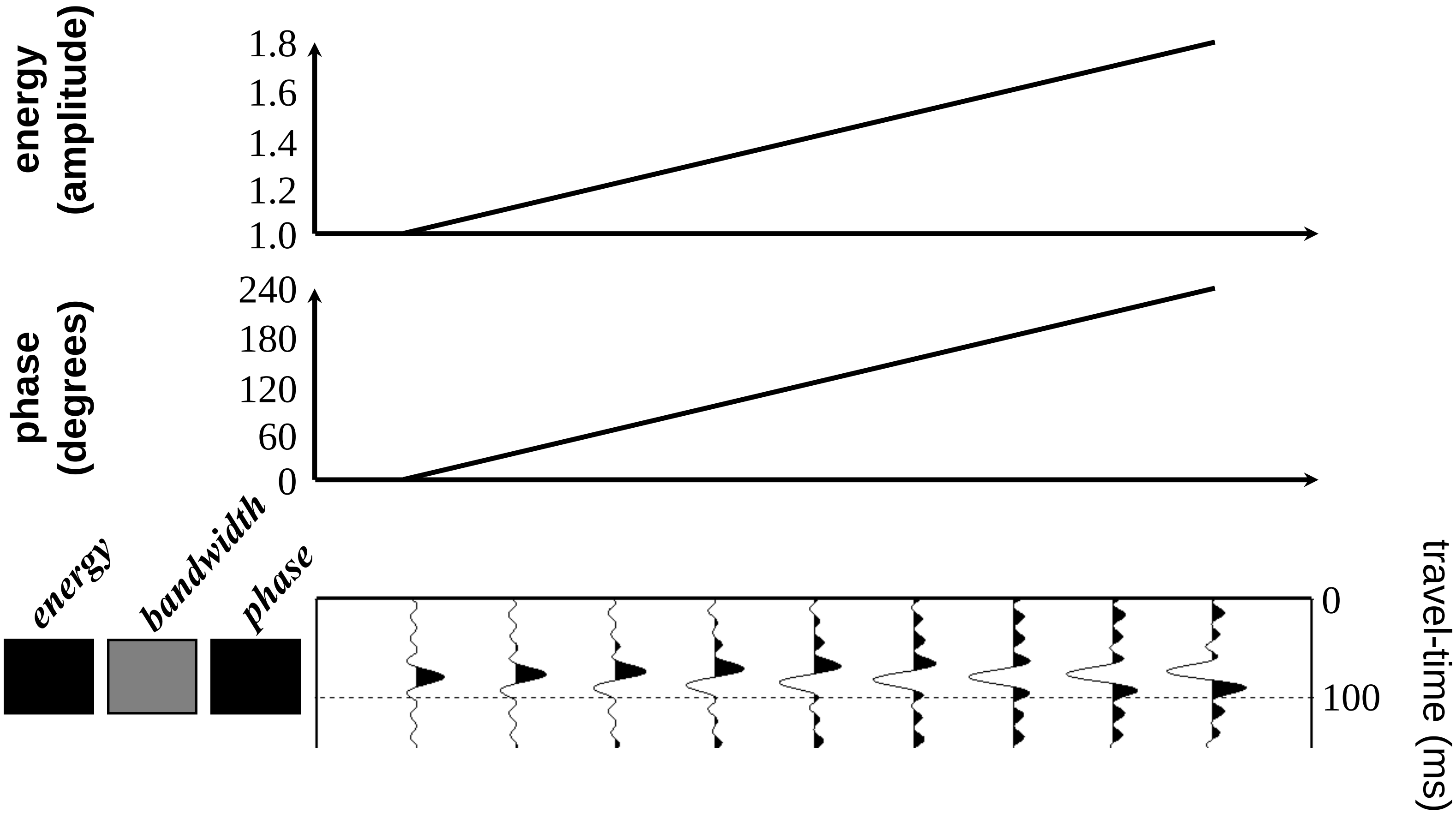
Phase Model


phase
(degrees)
240
180
120
60
0
energy
bandwidth
phase
0
100
travel-time (ms)

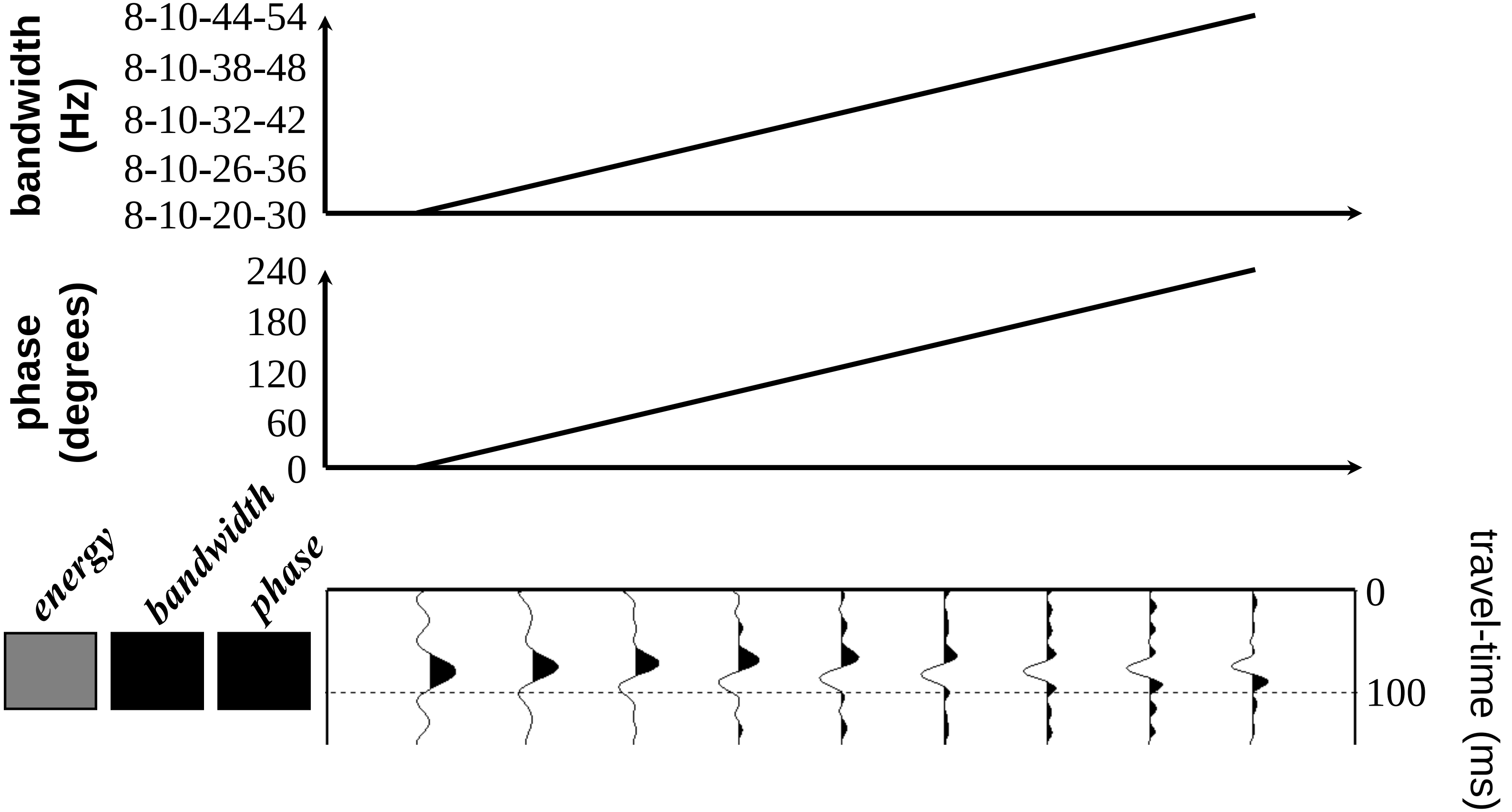
Energy-Bandwidth Model



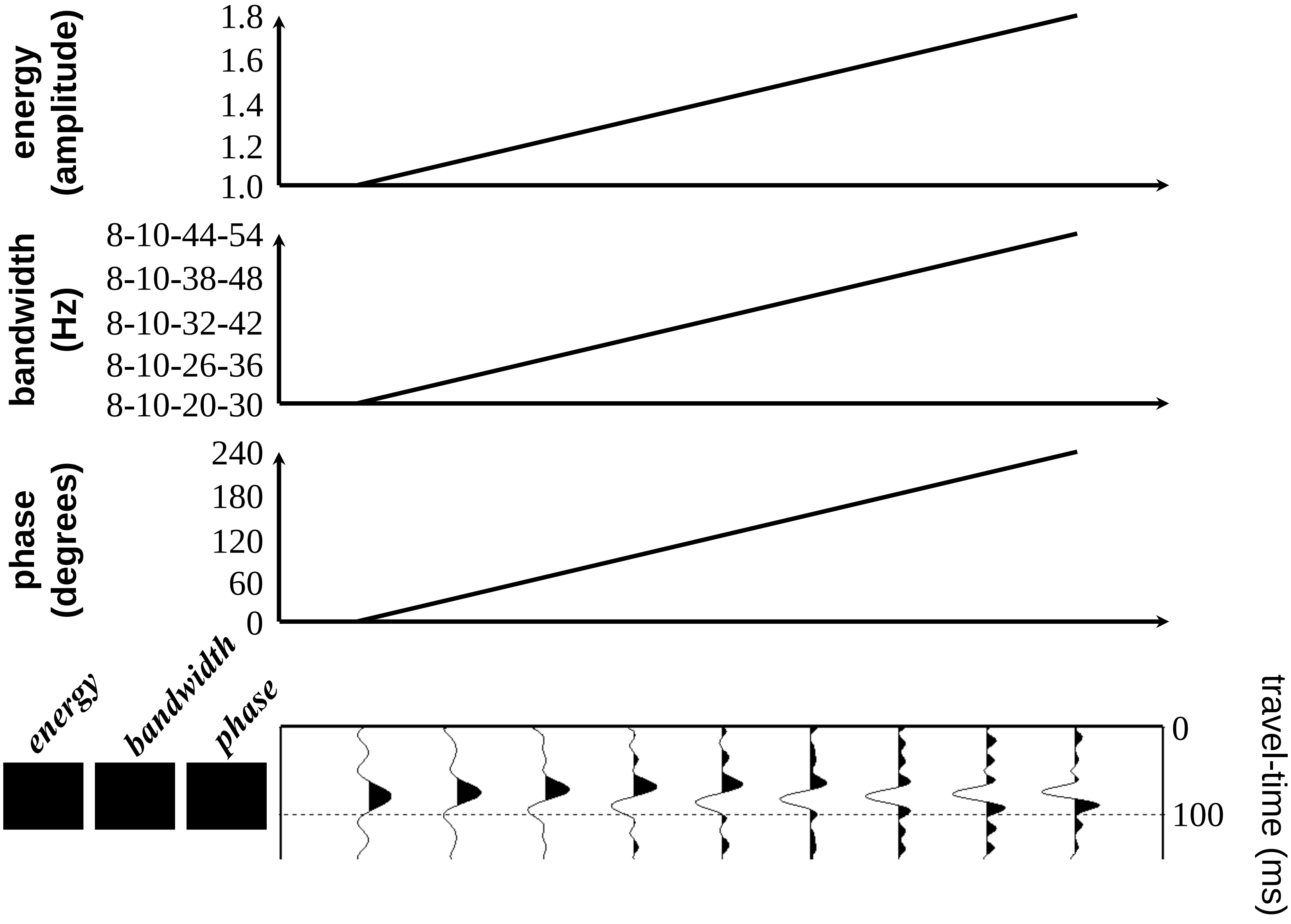
Energy-Phase Model

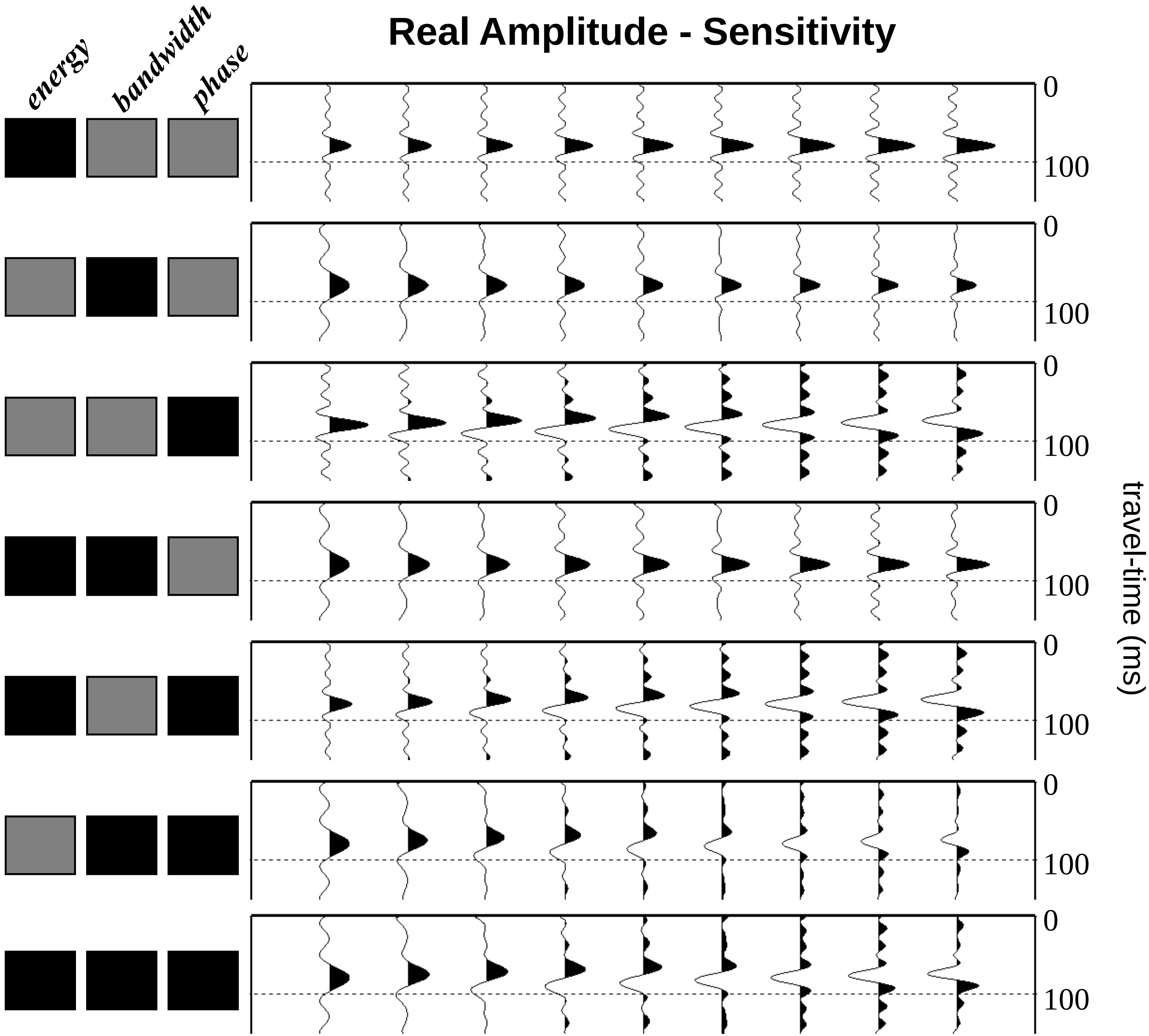


Bandwidth-Phase Model

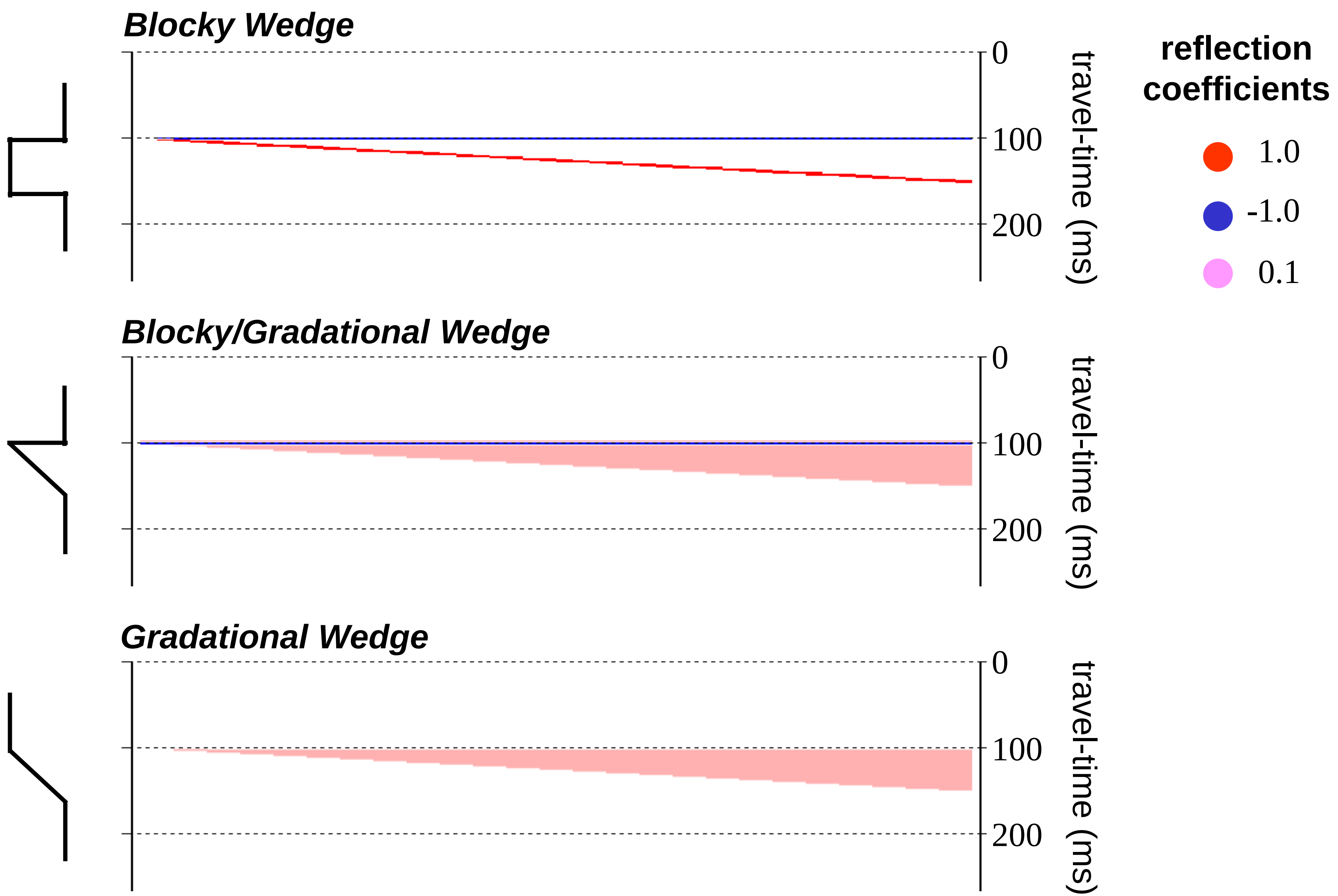


Energy-Bandwidth-Phase Model

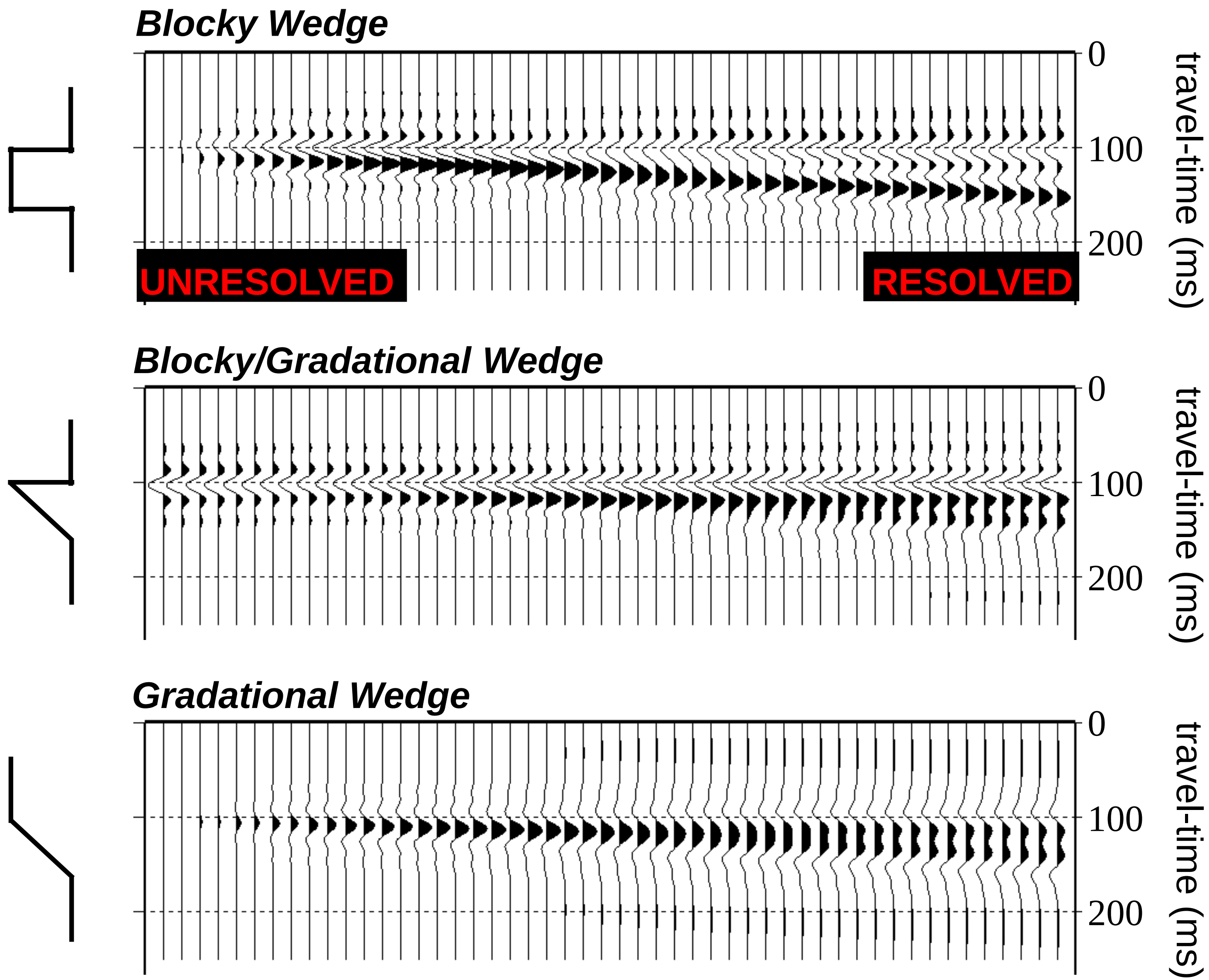



Real Amplitude - Sensitivity
energy
bandwidth
phase
0
100
travel-time (ms)

Reflectivity Wedge Models



Real Amplitude (DATO ORIG.)

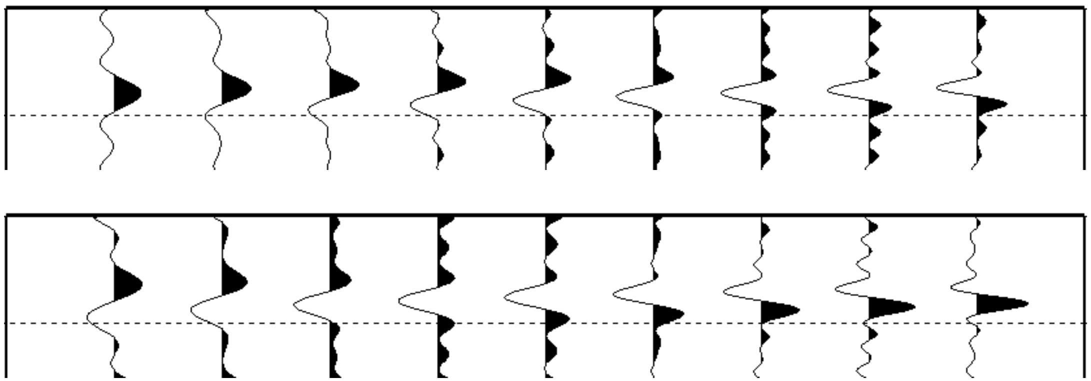


8-10-40-50Hz Ormsby w.

Instantaneous Attributes

- Characterize sample-by-sample variability.
- Include:
  - quadrature amplitude,
  - reflection strength,
  - instantaneous phase,
  - cosine of the instantaneous phase,
  - instantaneous frequency.

Quadrature Amplitude

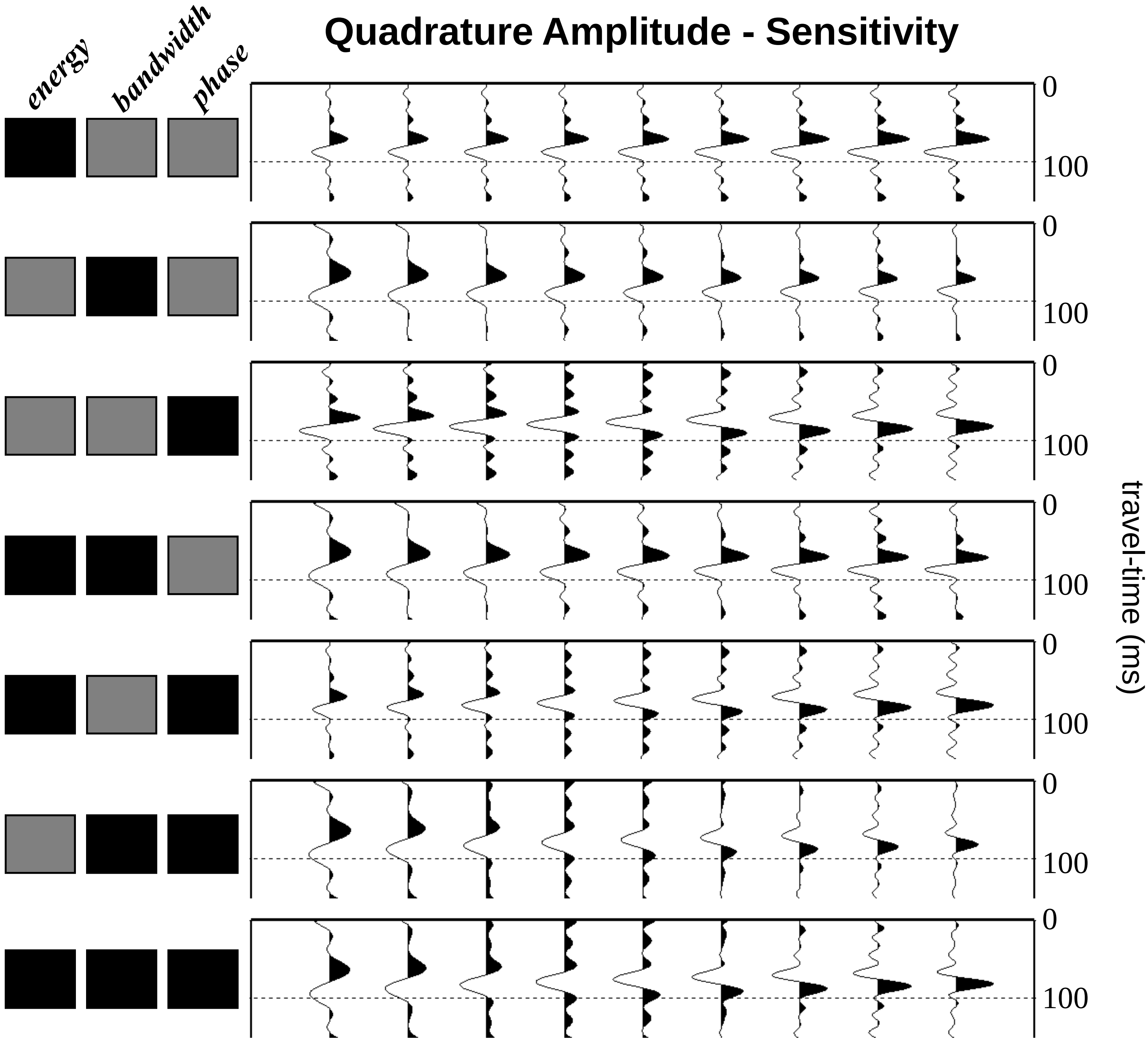


Real Amplitude

Quadrature Amplitude
Cioè shift di fase di 90°

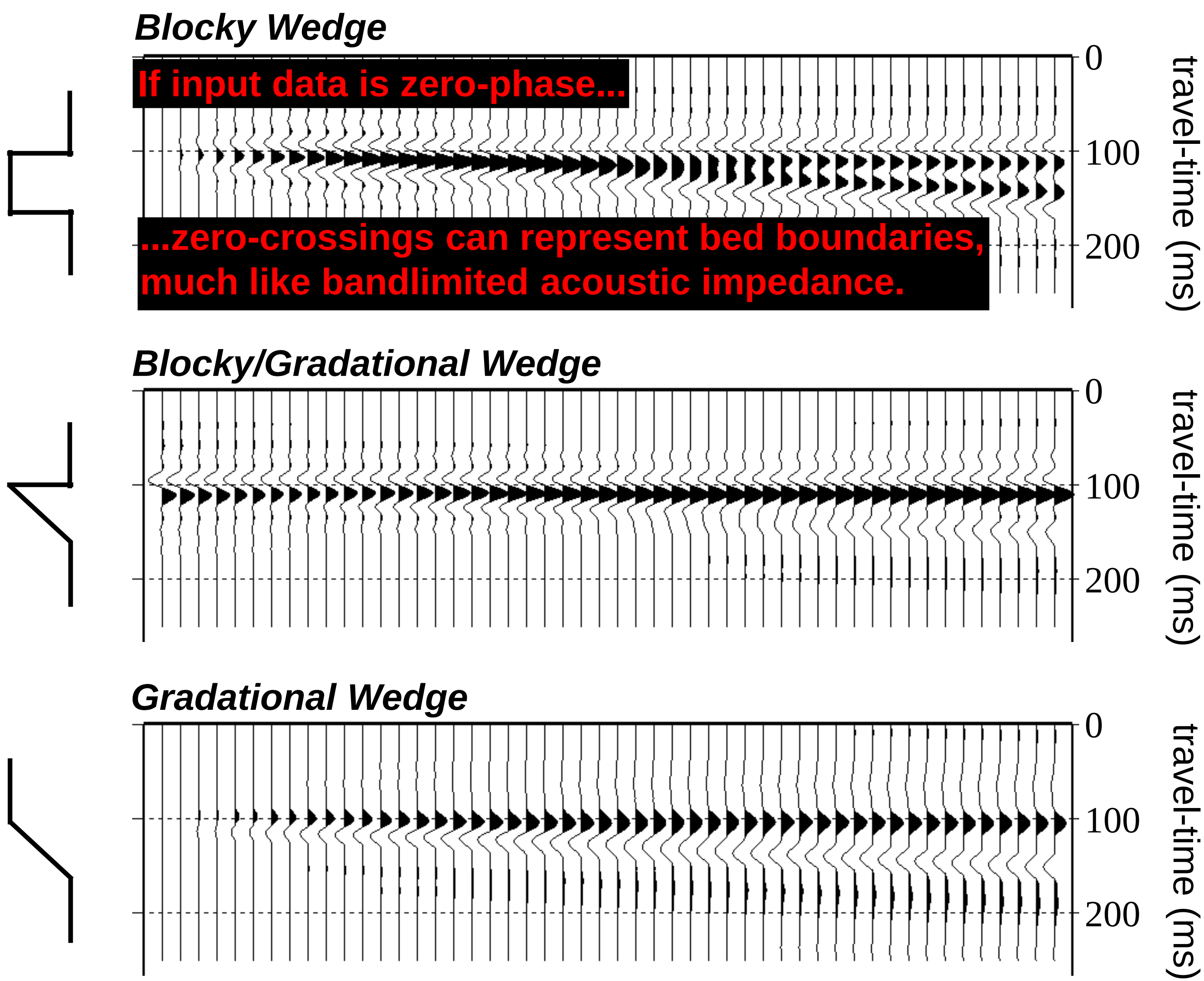
- 90 degree phase rotation (or Hilbert transform).
- Zero-Crossings ⇄ Peaks & Troughs.
- Also called “the imaginery part of the seismic trace”.

Quadrature Amplitude - Sensitivity

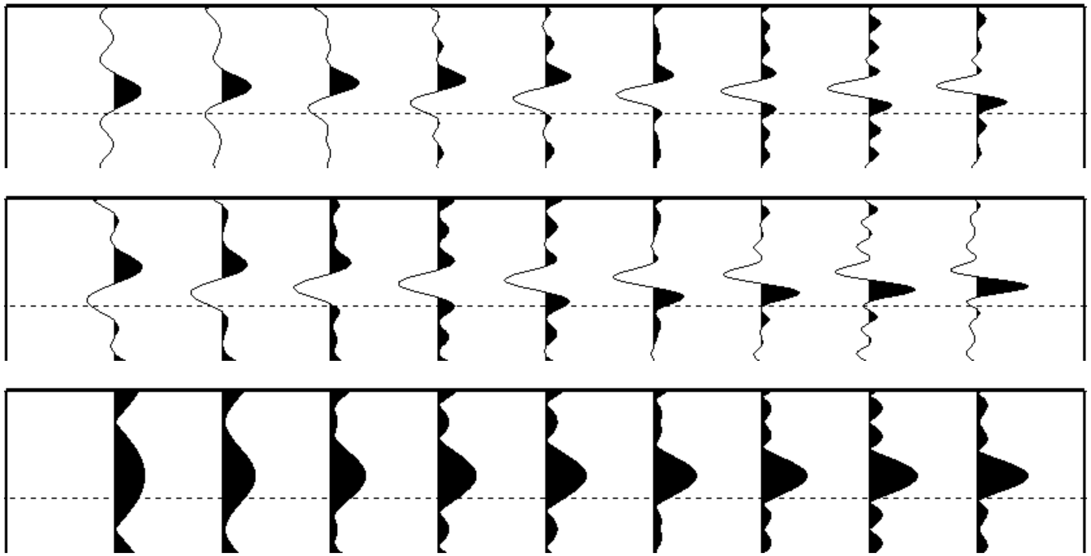


sensitive to:
- energy
- bandwidth
- phase

Quadrature Amplitude

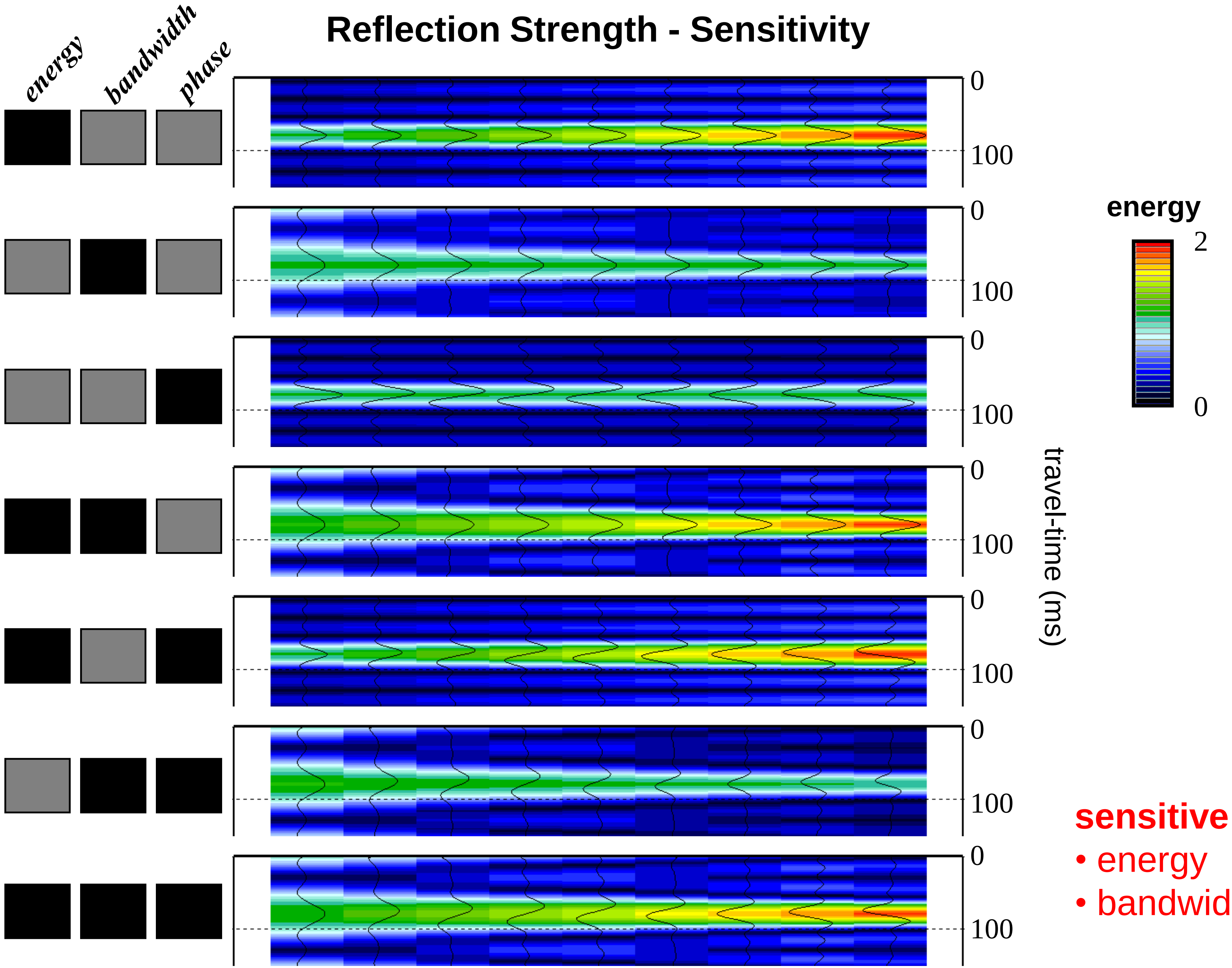


Reflection Strength or energy envelope or instantaneous amplitude



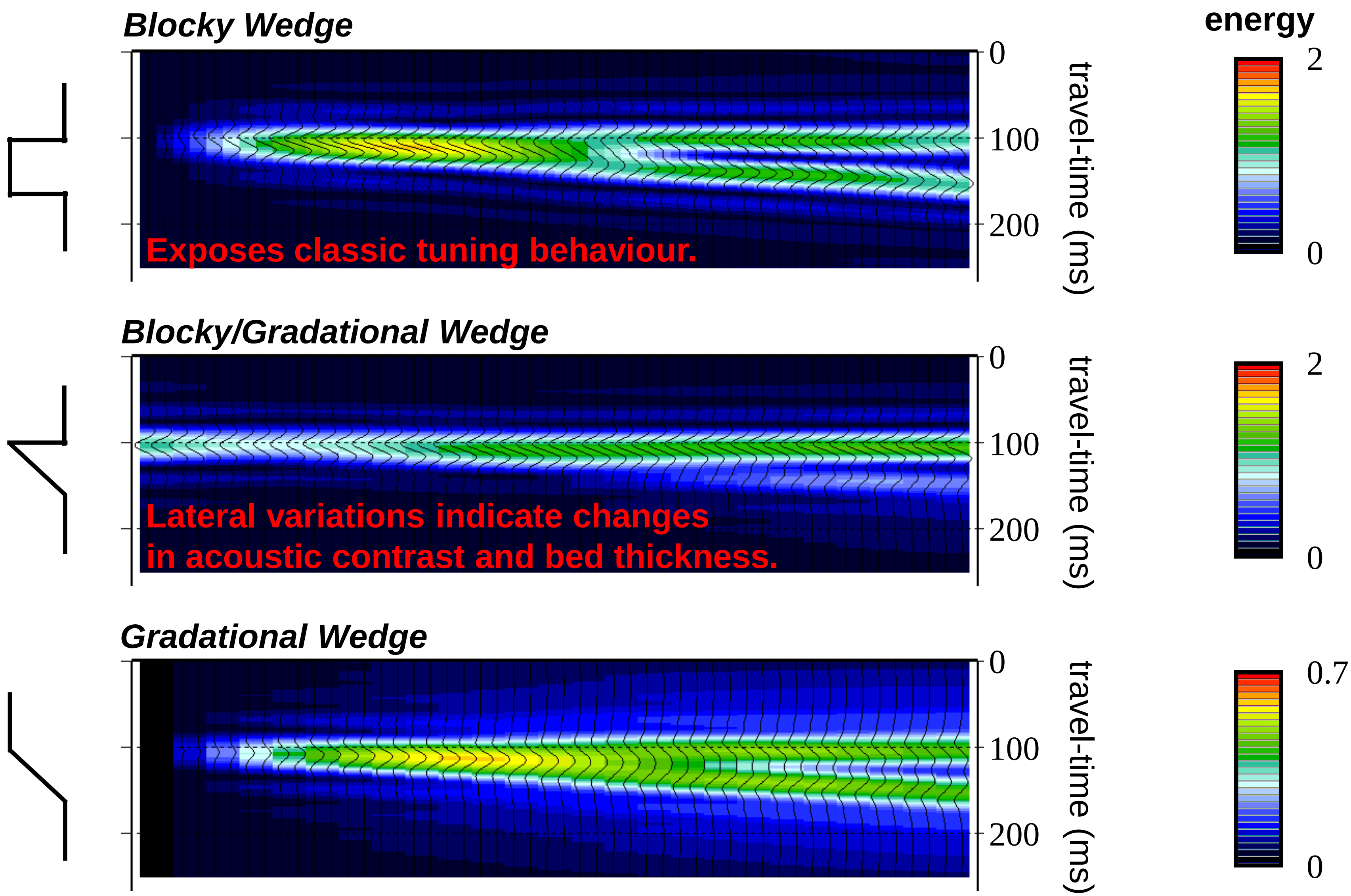
- Phase independent
- Always greater-than or equal-to zero

Reflection Strength - Sensitivity

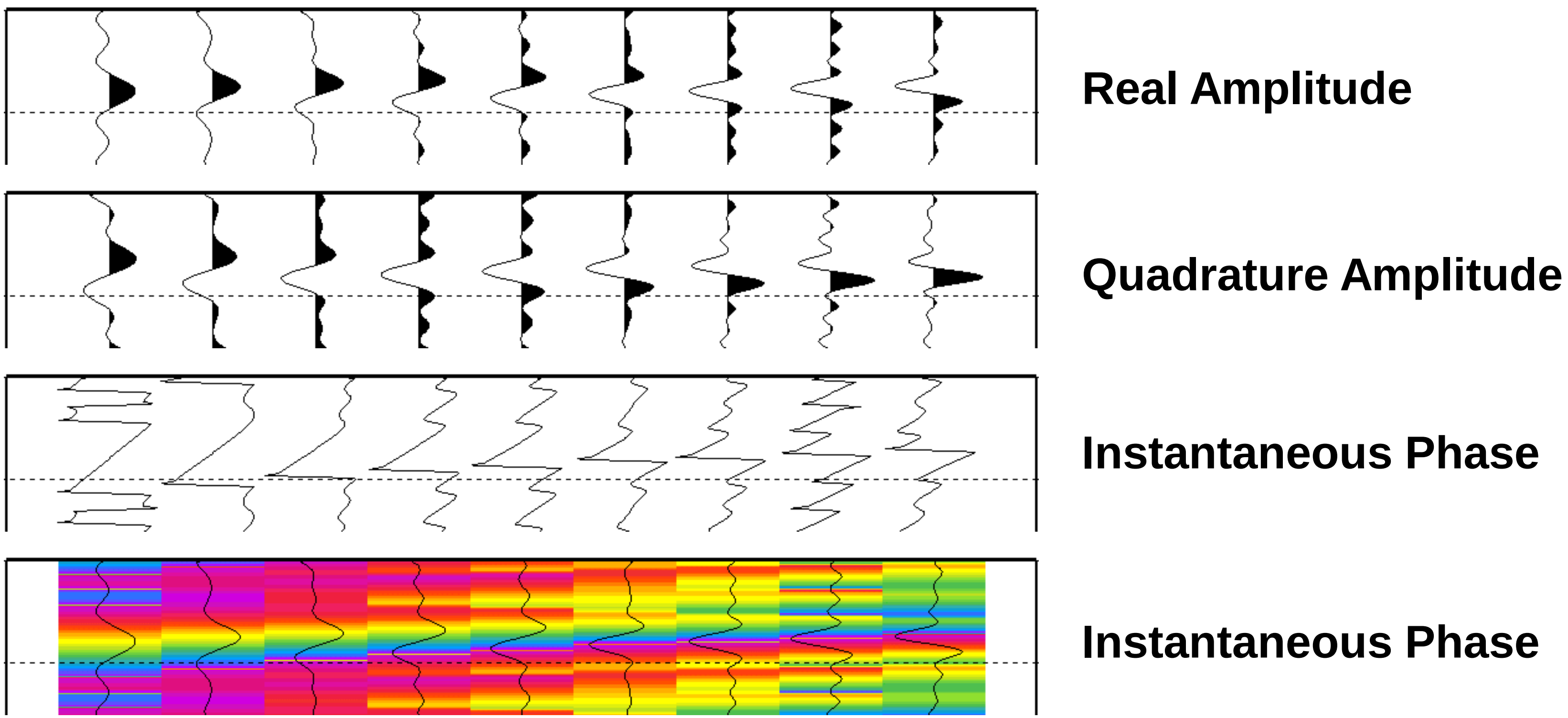


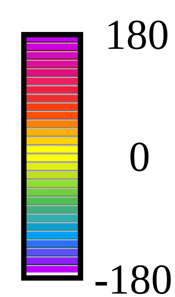
sensitive to:
- energy
- bandwidth

Reflection Strength



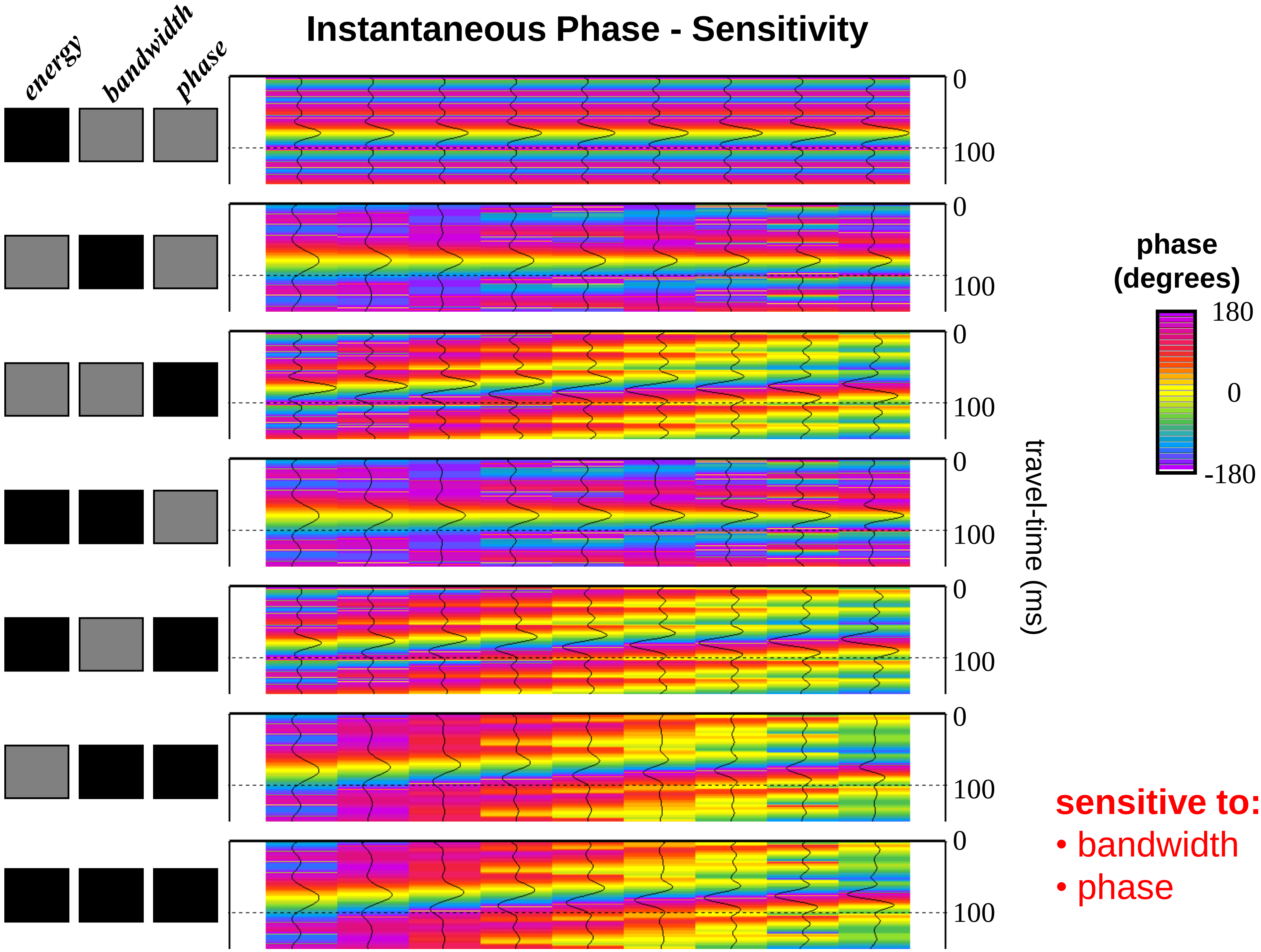
Instantaneous Phase





- Strong and weak events exhibit equal strength.
- Discontinuous at trough locations (+/-180 degrees).
- Commonly displayed with a wrapped color bar.

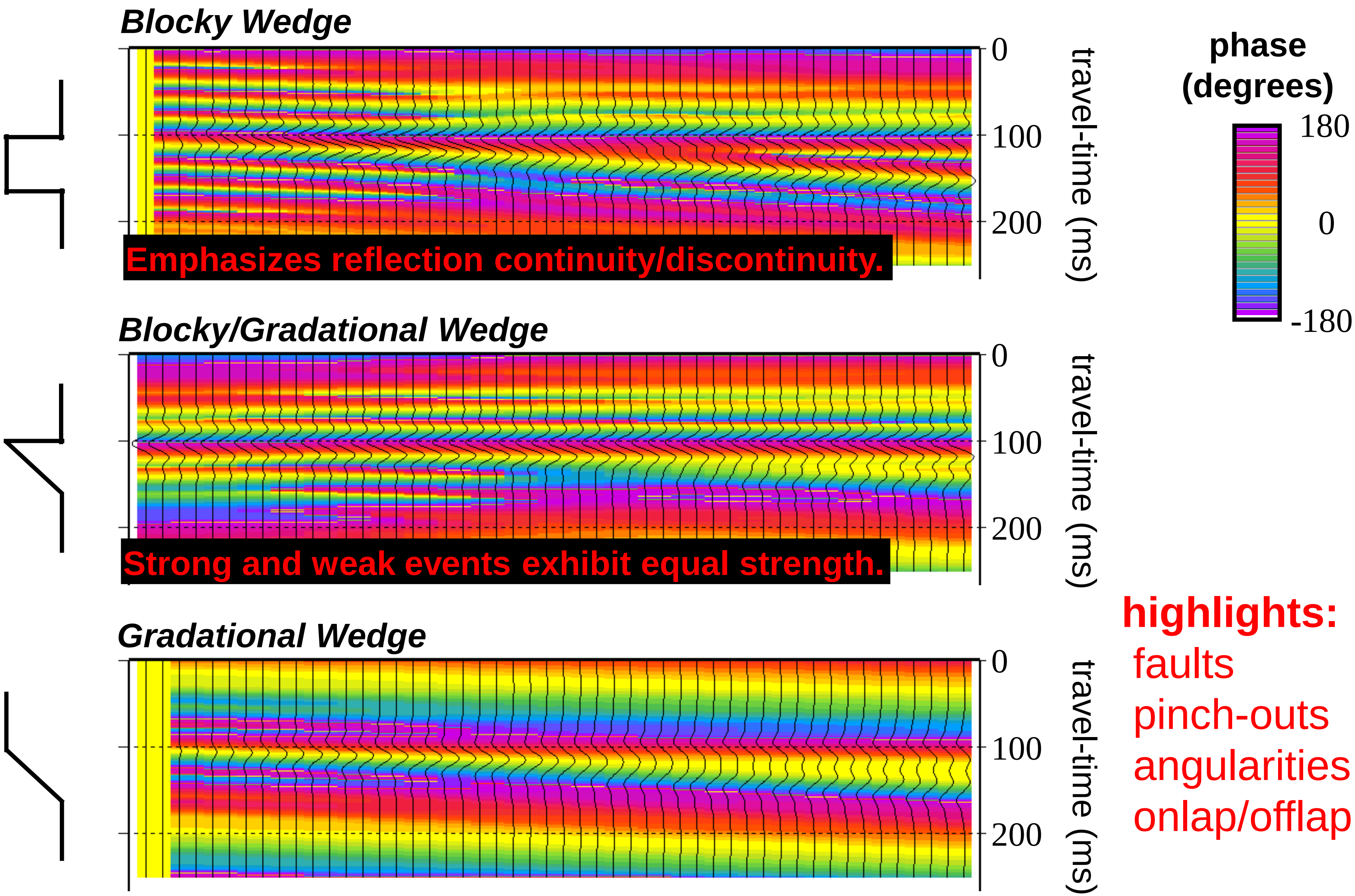
Instantaneous Phase - Sensitivity



sensitive to:

- bandwidth
- phase

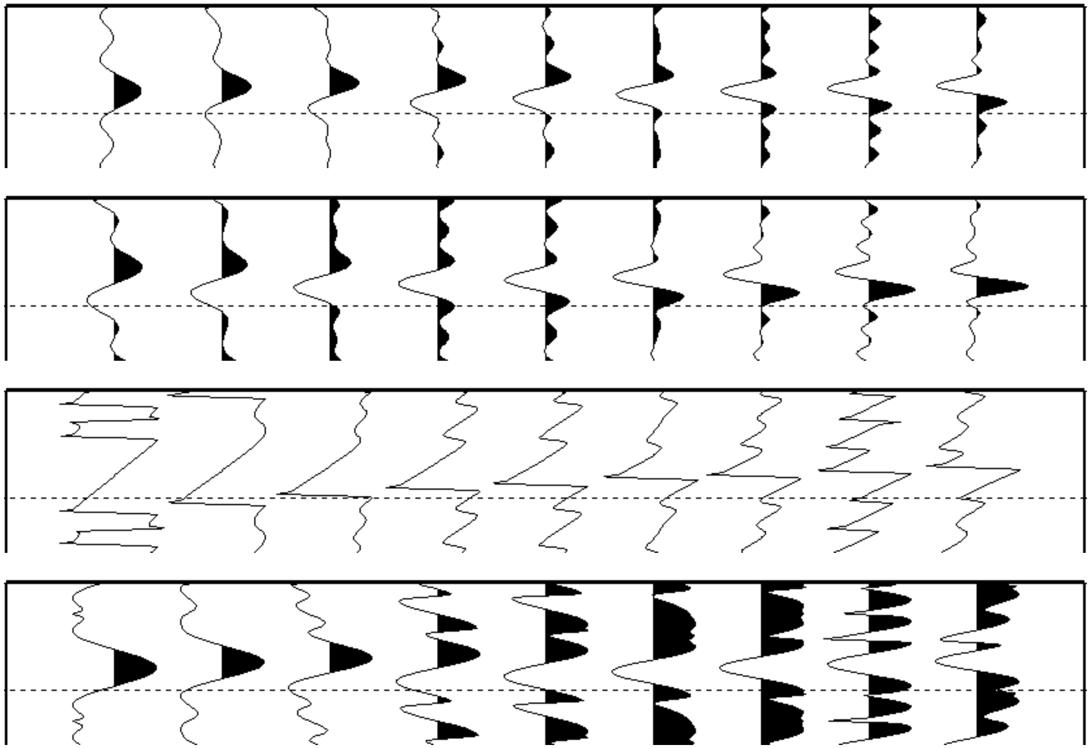
Instantaneous Phase



highlights:

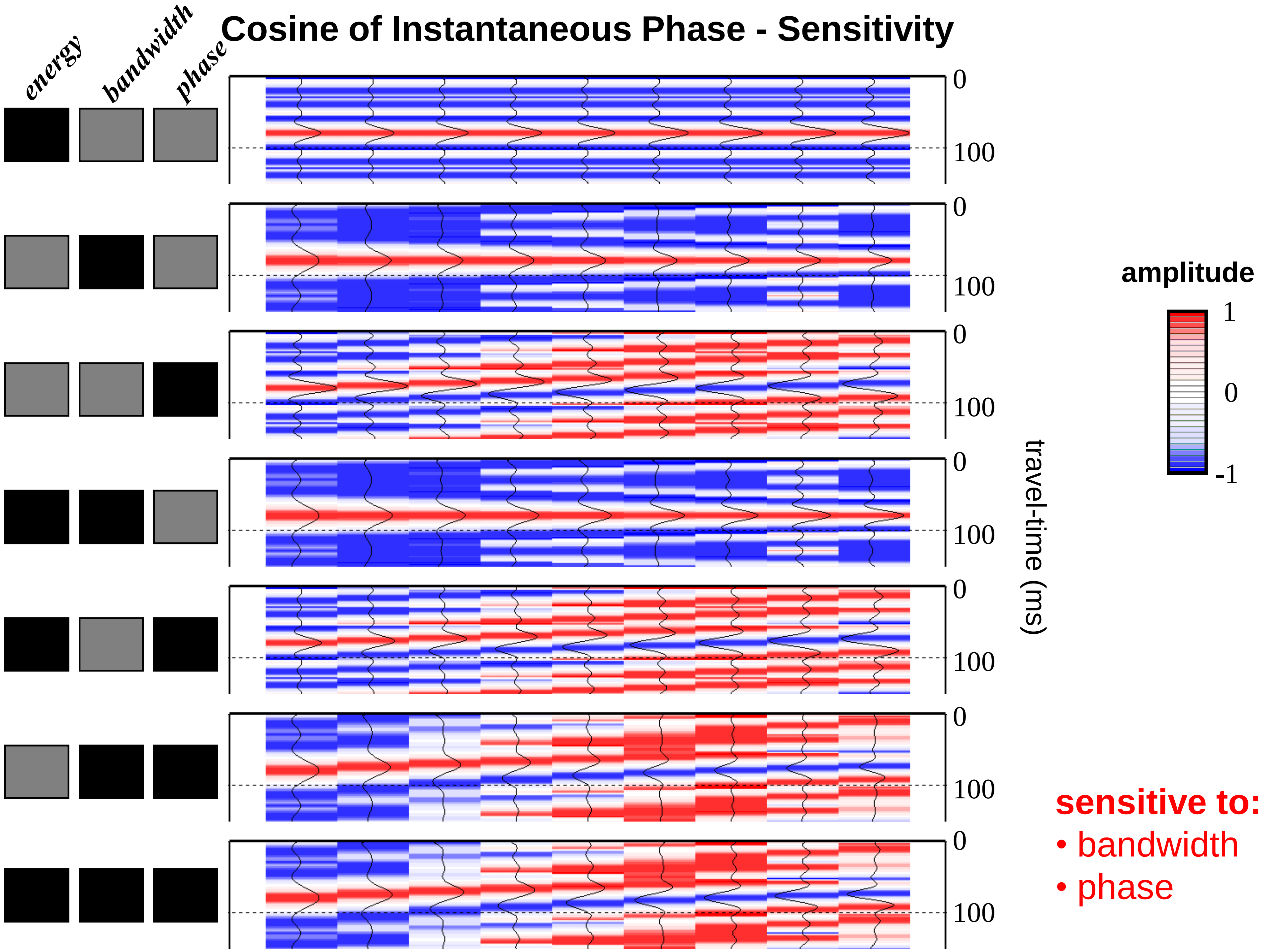
- faults
- pinch-outs
- angularities
- onlap/offlap

Cosine of Instantaneous Phase



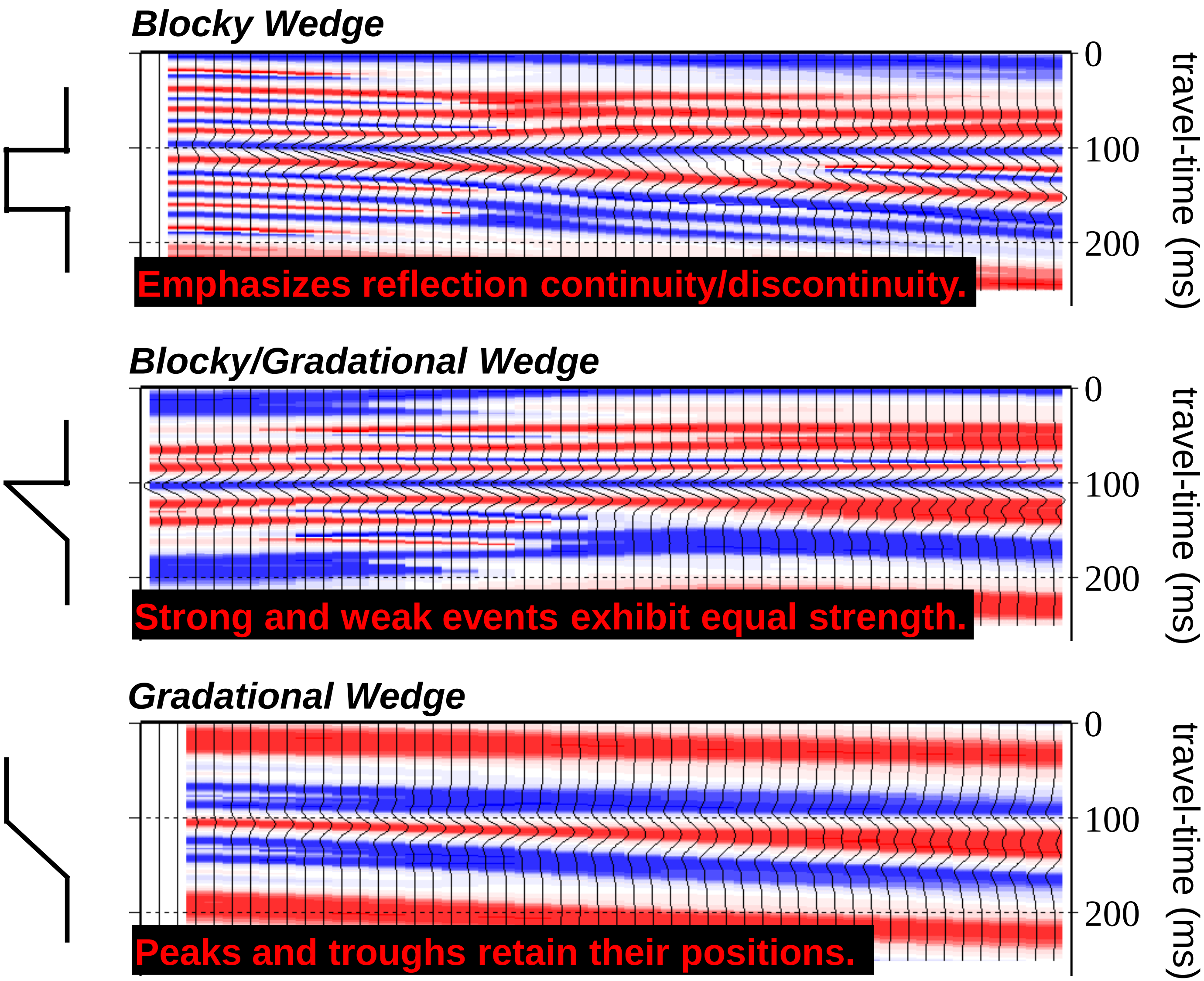
- Like instantaneous phase, but
- Avoids the +/-180 degree discontinuity that plagues phase.
- Can therefore be further processed.

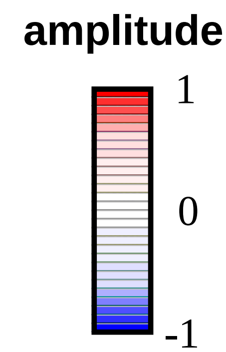
Cosine of Instantaneous Phase - Sensitivity



sensitive to:
- bandwidth
- phase

Cosine of Instantaneous Phase

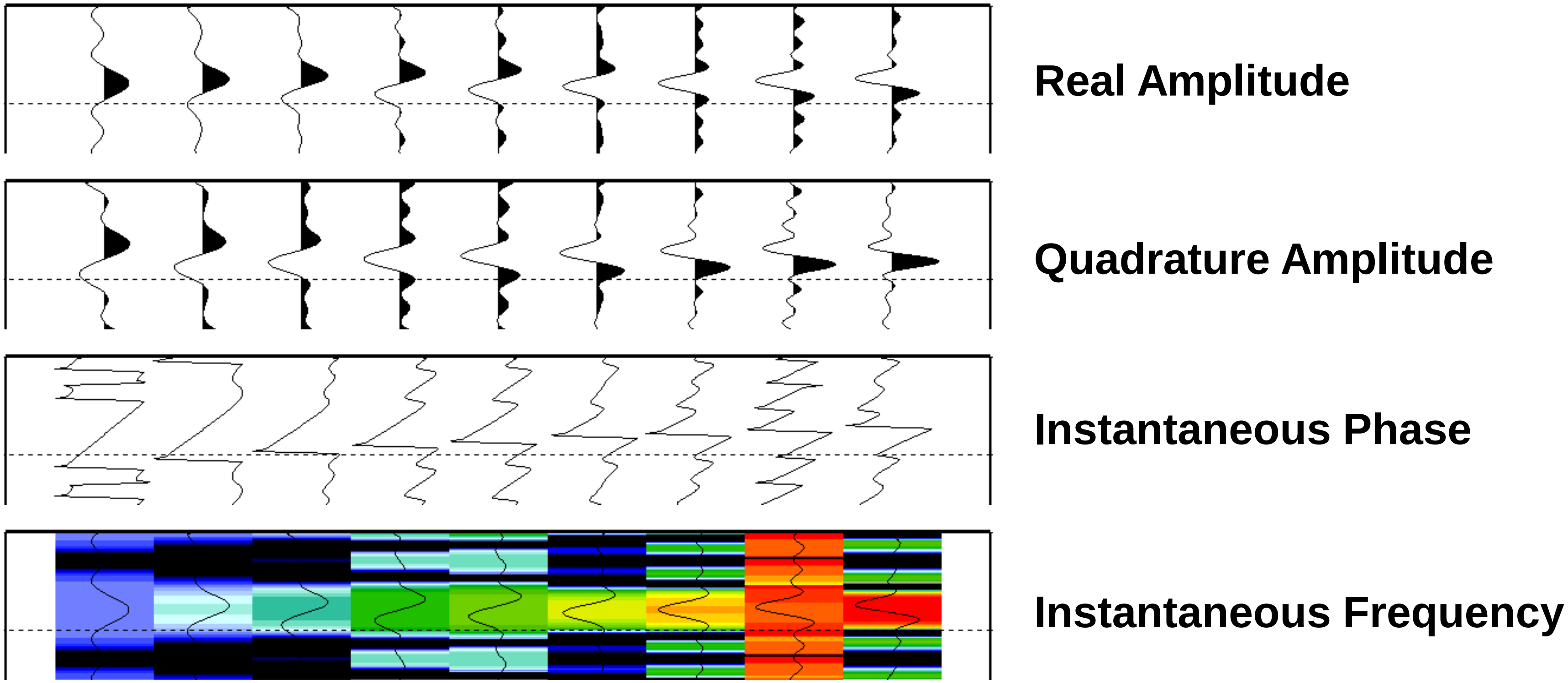




highlights:

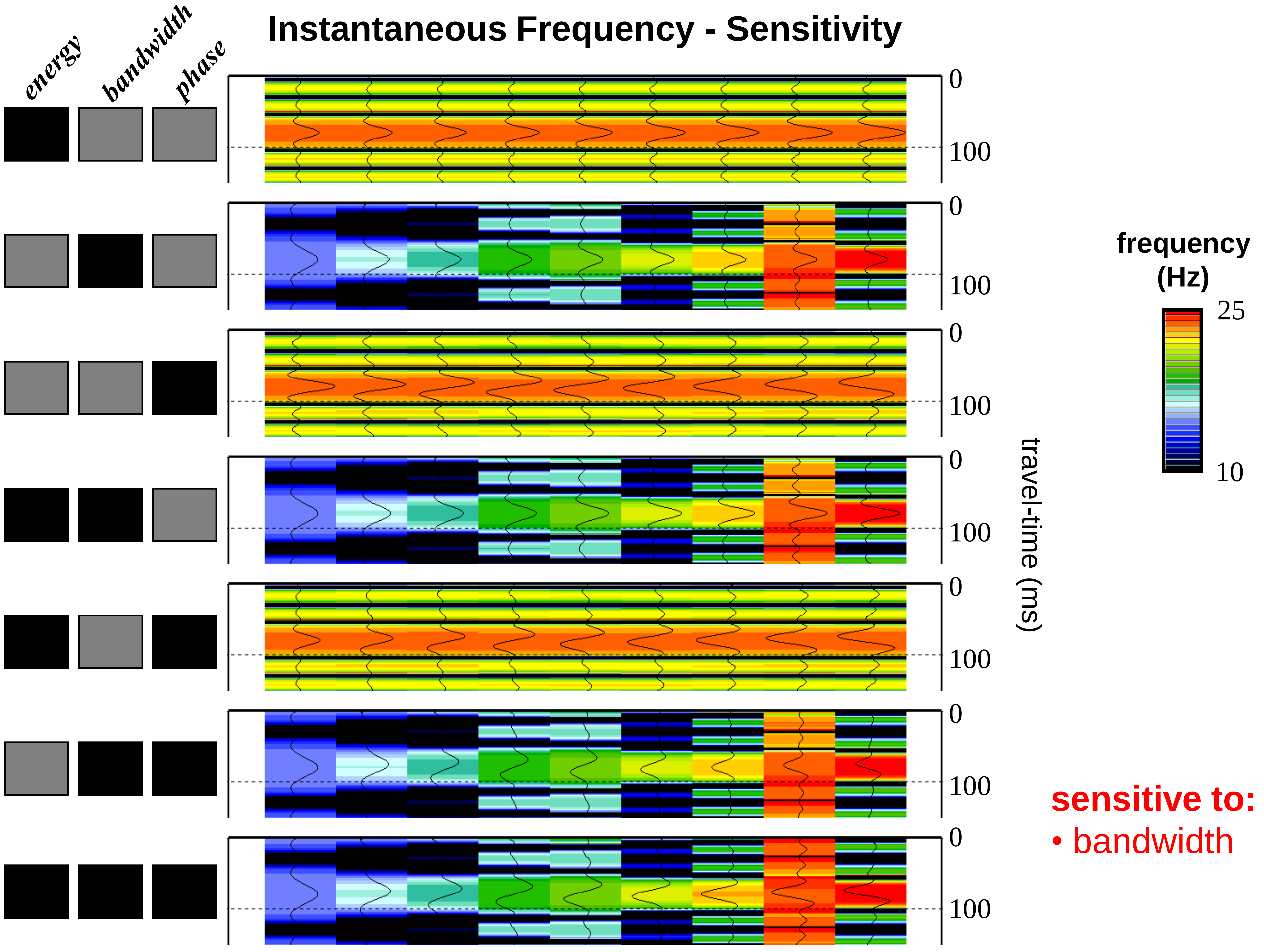
- faults
- pinch-outs
- boundaries
- onlap/offlap

Instantaneous Frequency



- Rate of change of instantaneous phase.
- A measure of time-dependent mean frequency.

Instantaneous Frequency - Sensitivity



Instantaneous Frequency

Evidenzia zone di interferenza (ma anche di rumore)