

Sismologia e rischio sismico

concetti fisici – applicazioni - normativa

Sismologia
Propagazione onde elastiche
parte 07

Foglio Excel:

Calcolo Moduli elastici dinamici (da misure sperimentali)

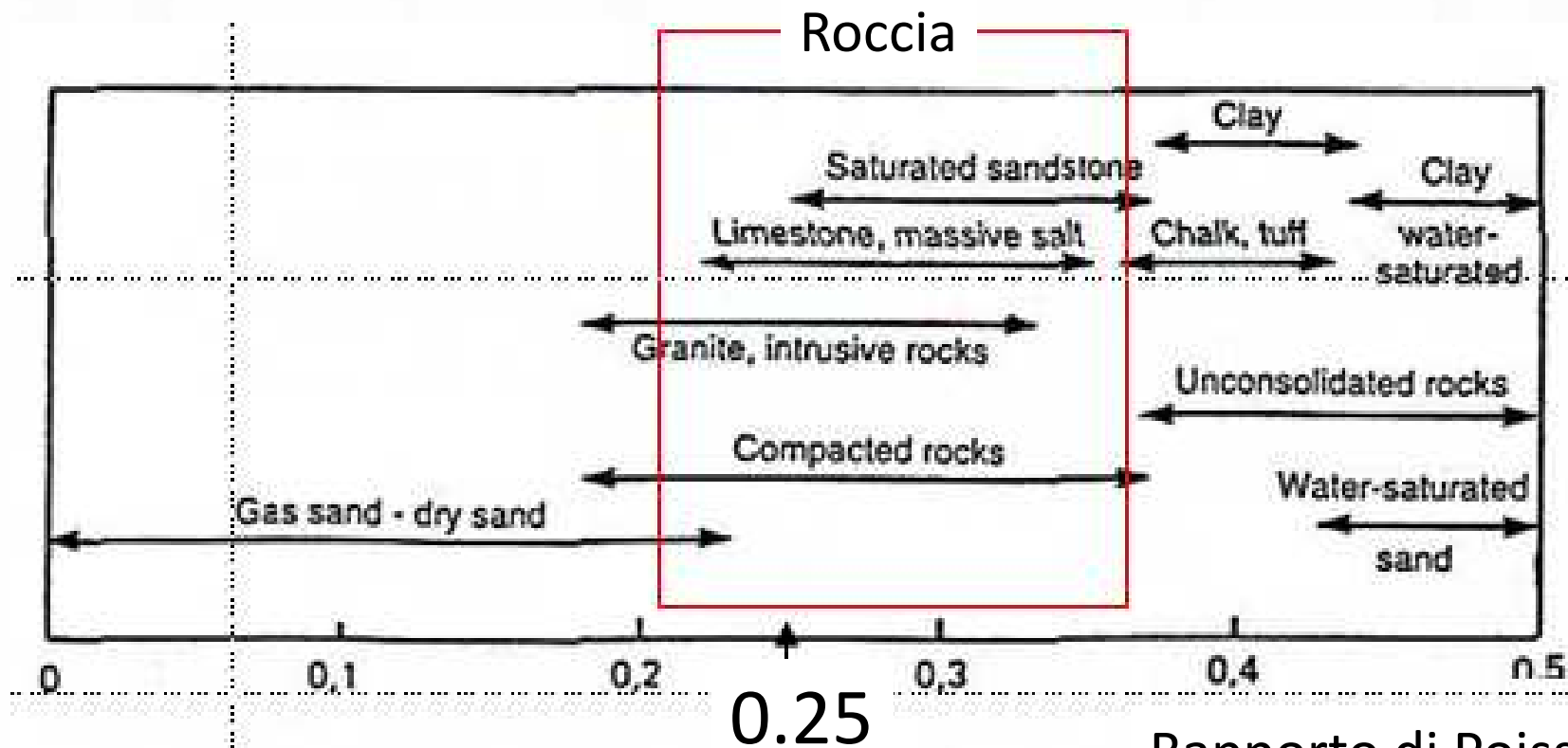
Relazione tra i parametri sismici

N. Abu Zeid, 2004

Inserisci il parametro noto nella relativa casella (evidenziata in giallo)
per osservare l'effetto sugli altri parametri lungo la stessa riga

										Onde di volume	
	$\rho(\text{kg/m}^3)$	E(pa)	ν	k(pa)	$\mu(\text{pa})$	$\lambda(\text{pa})$	Vp(m/s)	Vs(m/s)	Vp/Vs	Vp da λ, μ, ρ	Vs da μ, ρ
	densità	Young	Poisson	Bulk	Rigidità	Lamè-1	Longitudinale	Taglio	rapporto		
E, ν	2600	5.00E+10	0.25	3.33E+10	2.00E+10	2.00E+10	4803.84	2773.50	1.732	4803.84	2773.50
E, k	2600	5.00E+10	0.25	3.30E+10	2.00E+10	1.96E+10	4792.65	2776.31	1.726	4792.65	2776.31
E, m	2600	5.00E+10	0.25	3.33E+10	2.00E+10	2.00E+10	4803.84	2773.50	1.732	4803.84	2773.50
ν, κ	2600	4.95E+10	0.25	3.30E+10	1.98E+10	1.98E+10	4779.77	2759.60	1.732	4779.77	2759.60
ν, μ	2600	5.00E+10	0.25	3.33E+10	2.00E+10	2.00E+10	4803.84	2773.50	1.732	4803.84	2773.50
ν, λ	2600	5.00E+10	0.25	3.33E+10	2.00E+10	2.00E+10	4803.84	2773.50	1.732	4803.84	2773.50
k, m	2600	4.99E+10	0.25	3.30E+10	2.00E+10	1.97E+10	4790.48	2773.50	1.727	4790.48	2773.50
k, λ	2600	4.89E+10	0.25	3.30E+10	1.95E+10	2.00E+10	4763.64	2738.61	1.739	4763.64	2738.61
μ, λ	2600	5.00E+10	0.25	3.33E+10	2.00E+10	2.00E+10	4803.84	2773.50	1.732	4803.84	2773.50
Vp, Vs	3000	5.77E+10	0.25	3.85E+10	2.31E+10	2.31E+10	4803.84	2773.5	1.732	4803.84	2773.50
ν			0.25						1.732		
Vp/Vs			0.25						1.732		
Vp/Vs			0.25				4803.84	2773.50	1.732		
Vp/Vs			0.25				4803.70	2773.5	1.732		

Velocità onde elastiche e rapporto di Poisson nei materiali



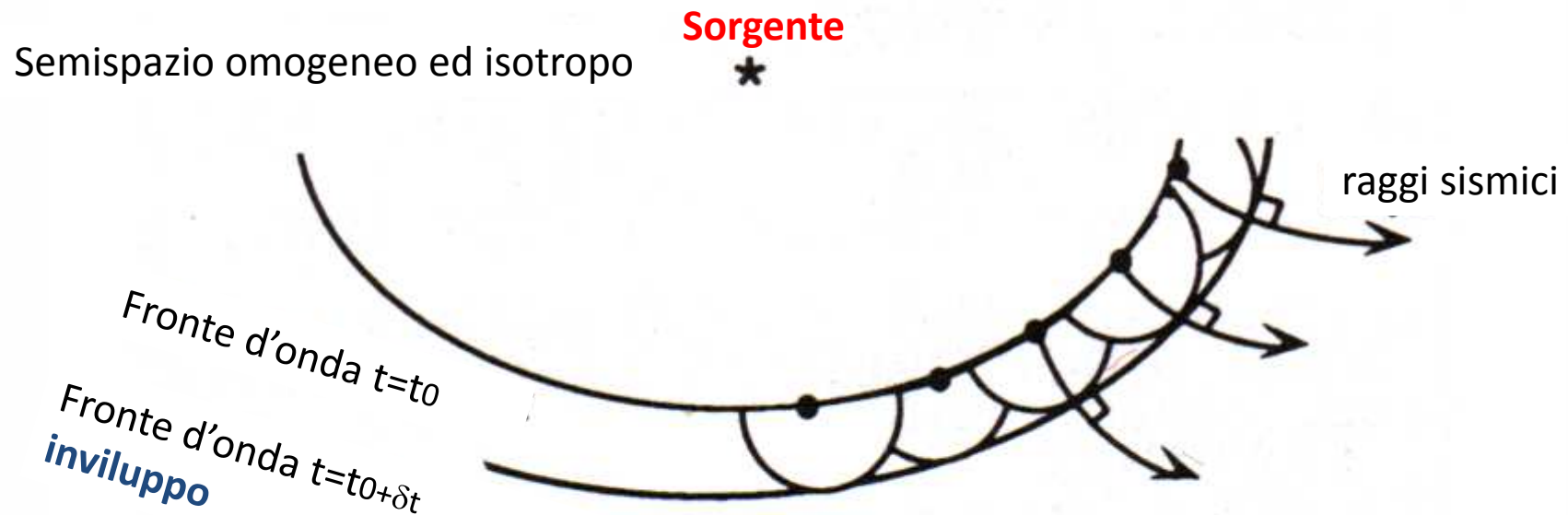
Rapporto di Poisson

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{3}$$

$$\nu = \frac{(V_p^2 - 2 \times V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

Onde elastiche – propagazione onde elastiche - principi

- Il fronte d'onda è sempre perpendicolare al raggio sismico a condizione che il mezzo sia omogeneo ed isotropo



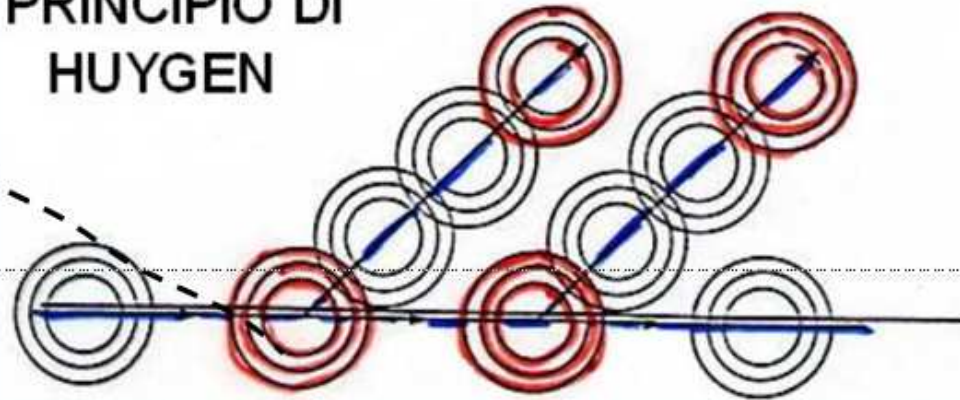
Fronte d'onda indica tutti i luoghi (spazio-temporali) di fase identica della perturbazione elastica si trovi di fase raggi sismici

Come si trasmettono le onde elastiche



Il mezzo è omogeneo ed isotropo. La superficie di discontinuità è solo indicativa

PRINCIPIO DI HUYGEN



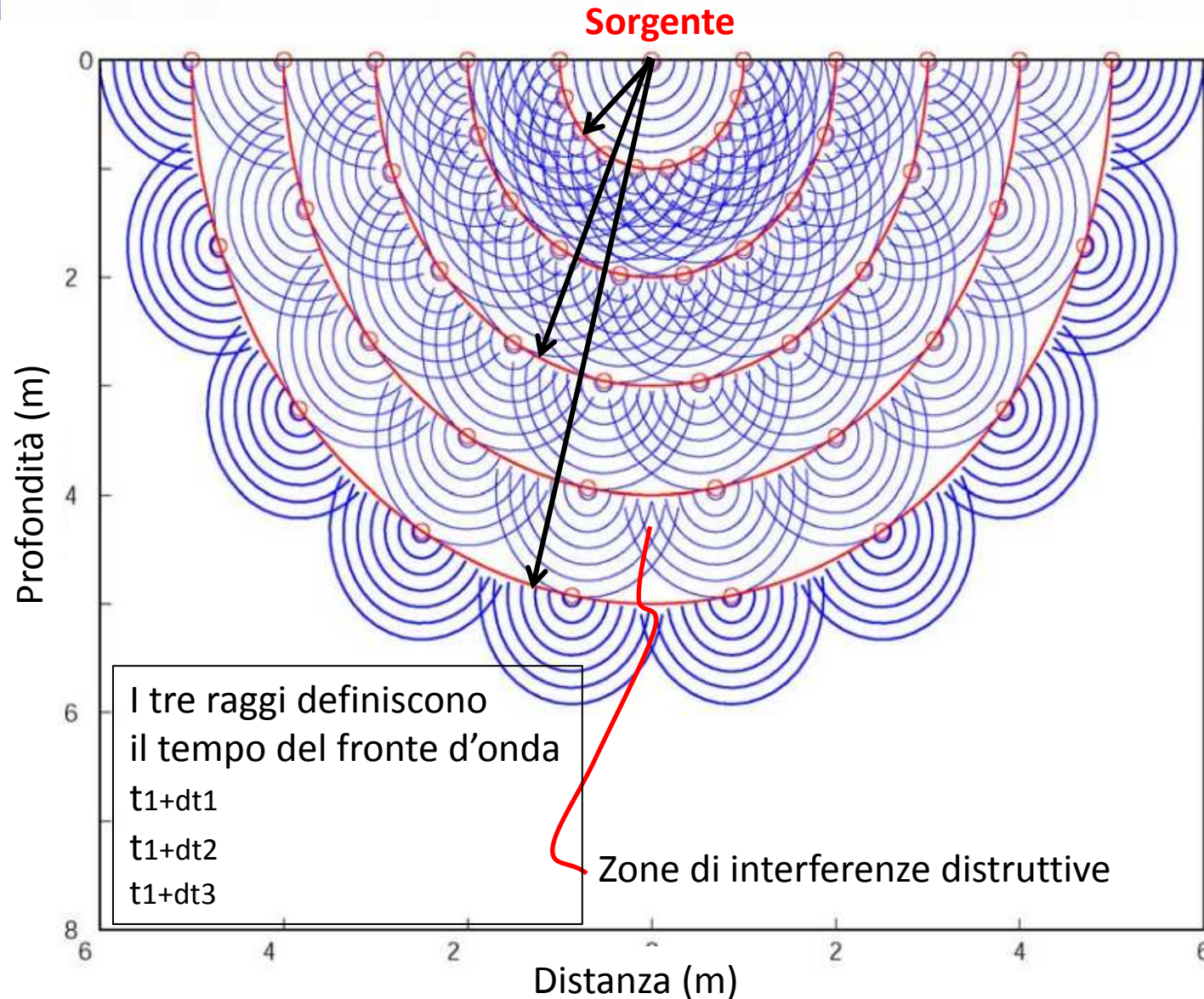
Principio di Huygen

un fronte d'onda rappresenta l'involuppo dei tanti fronti d'onda elementari generati dalle particelle sollecitate dal passaggio dell'energia elastica.

Ogni punto sul fronte d'onda genera pertanto altri fronti d'onda spiegando così la trasmissione delle onde elastiche.

Onde elastiche – propagazione onde elastiche –

Principio di Hygens – esistono zone di **interferenza distruttiva** e **costruttiva**



Semispazio
omogeneo
ed isotropo

Onde elastiche – propagazione onde elastiche –

Legge di Fermat: il tempo di volo che compie il raggio è sempre minimo (quindi è funzione della velocità)

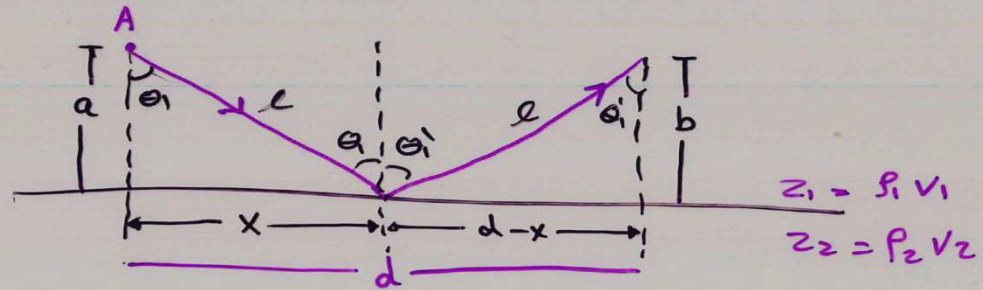
A: punto di energizzazione
onde elastiche

l : lunghezza raggio o distanza
compiuta dal raggio

$a(b)$: distanza perpendicolare alla
discontinuità

Linea tratteggiata verticale: la
normale alla discontinuità

X e $d-x$: distanza sulla superficie di
discontinuità



l : lunghezza raggio

- lunghezza totale raggio $l = \sqrt{a^2 + x^2} + \sqrt{b^2 + (d-x)^2}$

- per minimizzare la lunghezza $\Rightarrow \frac{dl}{dx} = 0$

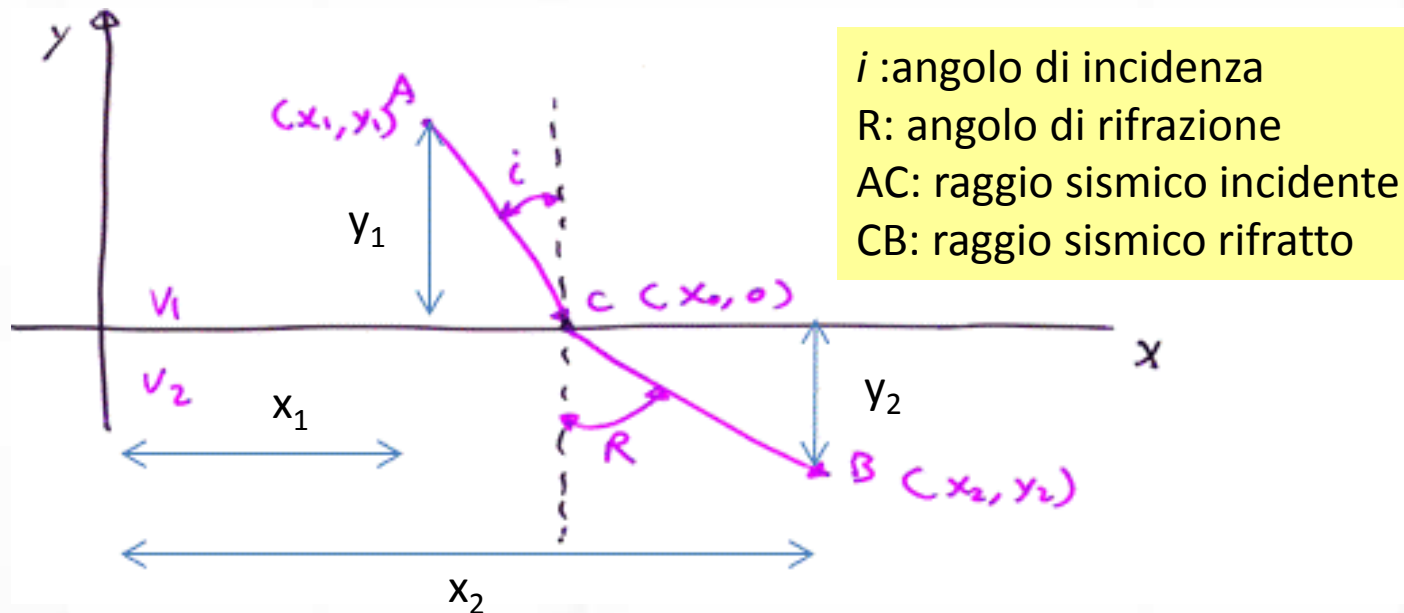
$$\therefore \frac{dl}{dx} = \frac{1}{2} (a^2 + x^2)^{-1/2} (2x) + \frac{1}{2} (b^2 + (d-x)^2)^{-1/2} (2)(d-x)(-1) = 0$$

$$0 \quad \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = \frac{d-x}{\sqrt{b^2 + (d-x)^2}}$$

cioè $\sin \theta_1 = \sin \theta_1'$

quindi $\theta_1 = \theta_1'$

Onde elastiche – propagazione onde elastiche – Legge di Snell: rifrazione, riflessione onde elastiche

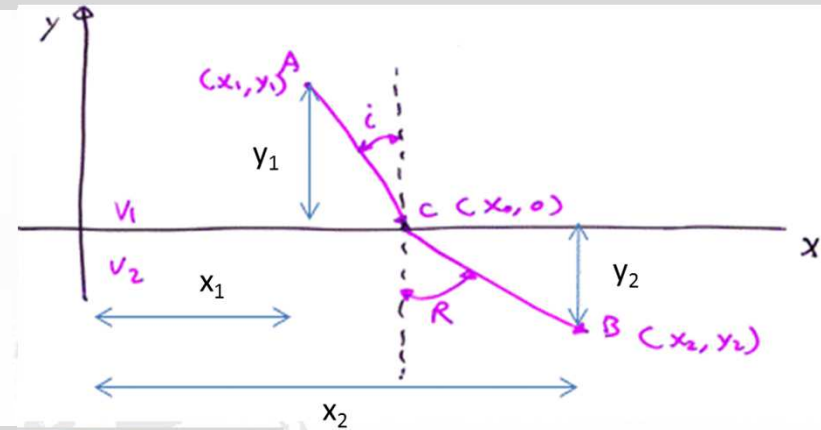


T_{AB} : il tempo necessario per percorrere il percorso ACB

$$= \frac{AC}{v_1} + \frac{CB}{v_2}$$
$$= \frac{1}{v_1} \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + y_1^2} + \frac{1}{v_2} \sqrt{(x_0 - x_2)^2 + (0 - y_2)^2}$$

Onde elastiche – propagazione onde elastiche – Legge di Snell: rifrazione, riflessione onde elastiche

i : angolo di incidenza
 R : angolo di rifrazione
 AC : raggio sismico incidente
 CB : raggio sismico rifratto



$$= \frac{1}{v_1} \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + y_1^2} + \frac{1}{v_2} \sqrt{(x_0 - x_2)^2 + y_2^2}$$

$$\frac{dT_{ACB}}{dx_0} = 0$$

arremmo

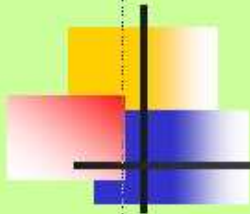
$$\frac{1}{v_1} \left((x_1 - x_0)^2 + y_1^2 \right)^{-1/2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2(x_1 - x_0)(-1) + \frac{1}{v_2} \left((x_0 - x_2)^2 + y_2^2 \right)^{-1/2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 2(x_0 - x_2) = 0$$

$$\therefore \frac{1}{v_1} \frac{x_1 - x_0}{AC} = \frac{1}{v_2} \frac{x_0 - x_2}{CB}$$

risultato

$$\frac{\sin(i)}{v_1} = \frac{\sin(R)}{v_2}$$

leggi fisiche che controllano la propagazione delle onde sismiche



Legge di Snell

$$\frac{\sin(i)}{V_1} = \frac{\sin(r)}{V_2}$$

dove,

i : angolo di incidenza

r : angolo di rifrazione

i_c : angolo critico

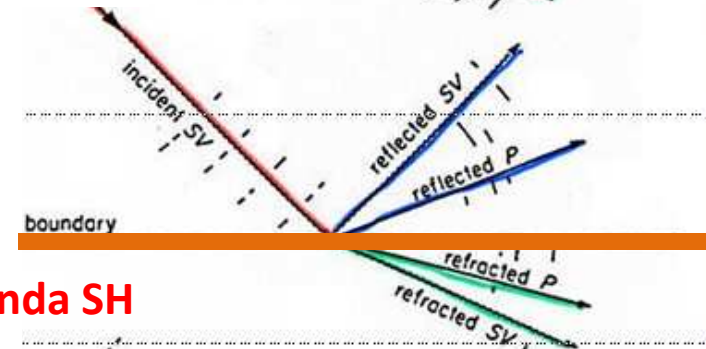
$$i_c = \sin^{-1} \left[\frac{V_1}{V_2} \right]$$

se $V_1 > V_2$, il raggio rifratto nel secondo mezzo si avvicina alla normale quindi non dà luogo ad onde rifratte dal secondo mezzo (il noto problema dell'inversione di velocità)

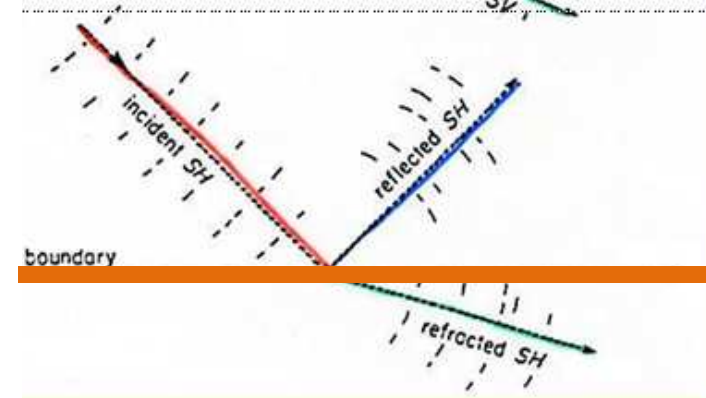
Onda P



Onda SV



Onda SH



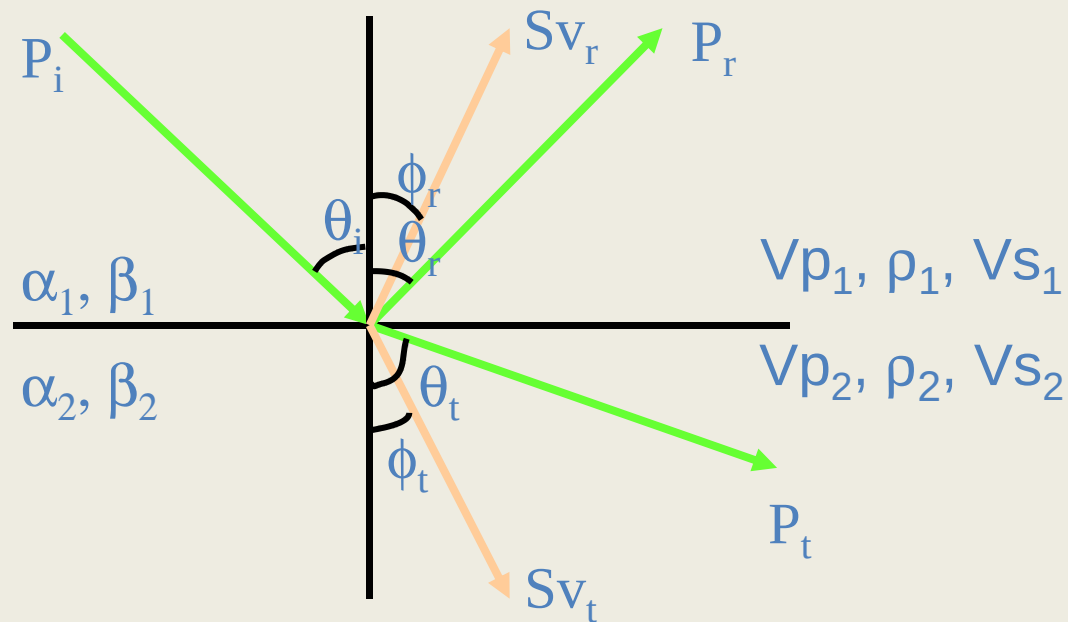
Effetti dei mezzi sulla propagazione di onde elastiche – legge di Snell – governa gli angoli di riflessione e rifrazione

Spesso in sismologia

$V_p = \alpha$

$V_s = \beta$

discontinuità acustica



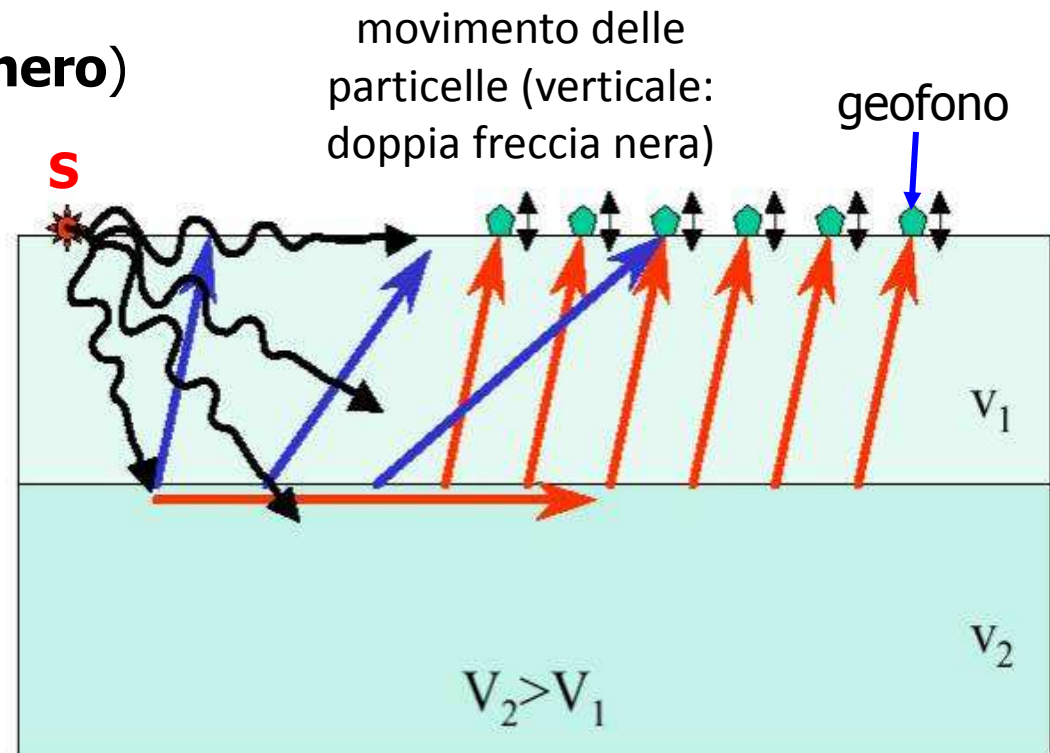
$$\frac{\text{Sen}\theta_i}{Vp_1} = \frac{\text{Sen}\theta_r}{Vp_1} = \frac{\text{Sen}\theta_t}{Vp_2} = \frac{\text{Sen}\phi_r}{Vs_1} = \frac{\text{Sen}\phi_t}{Vs_2} = p$$

P : parametro del raggio sismico = $1/\text{velocità}$. È la velocità di avanzamento del fronte d'onda

Partizione dell'energia elastica (onde di volume)

Quando l'energia elastica raggiunge una superficie di discontinuità essa subisce un indirizzamento (partizione) tramite:

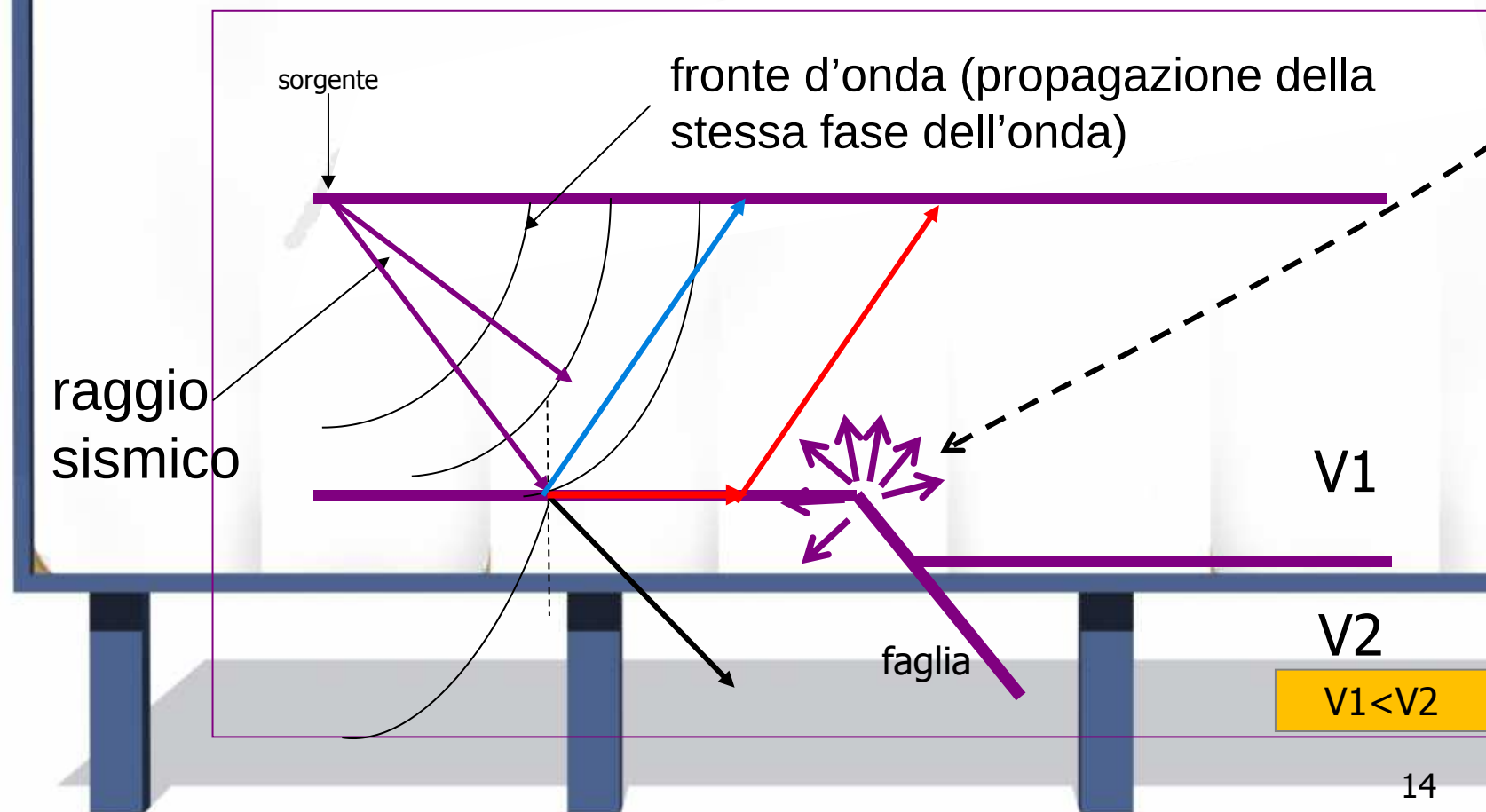
- 1) Rifrazione (bi-rifratta) (**rosso**)
- 2) Riflessione (**blu**)
- 3) Diffrazione (!!!)
- 4) rifrazione nel secondo mezzo (**nero**)
- 5) Onda diretta (propagazione nel terreno superficiale [**nero**])



Partizione dell'energia: riflessione, rifrazione e **diffrazione**

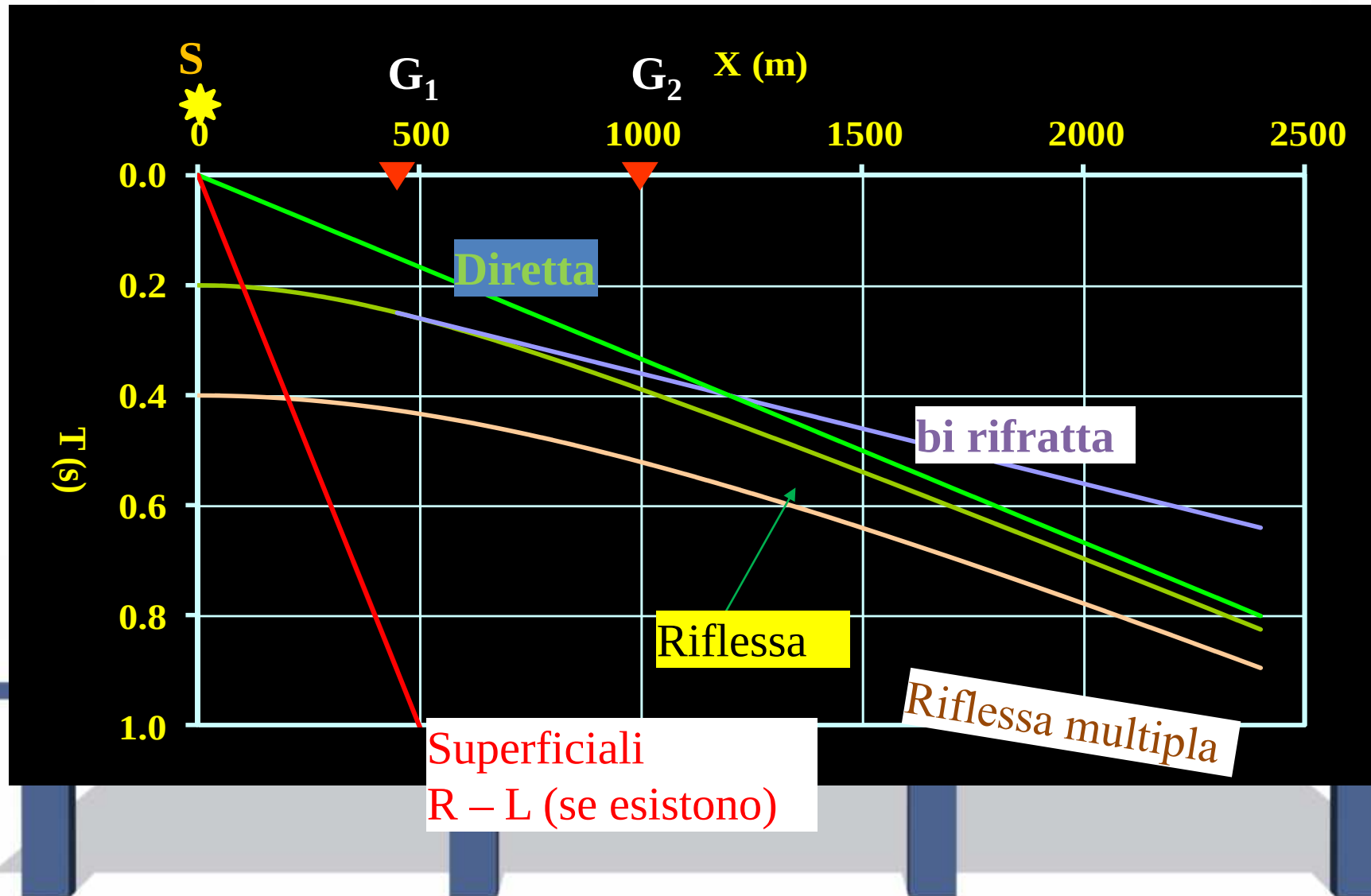
- 1) Rifrazione (bi-rifratta) (**rosso**)
- 2) Riflessione (**blu**)
- 3) Diffrazione (!!!)
- 4) rifrazione nel secondo mezzo (**nero**)

lo spigolo diventa una nuova
sorgente di energia elastica
Secondo il principio di Hygens



Onde sismiche: semispazio omogeneo ed isotropo

tempi d'arrivo e tipo onde (P, S, R, L)



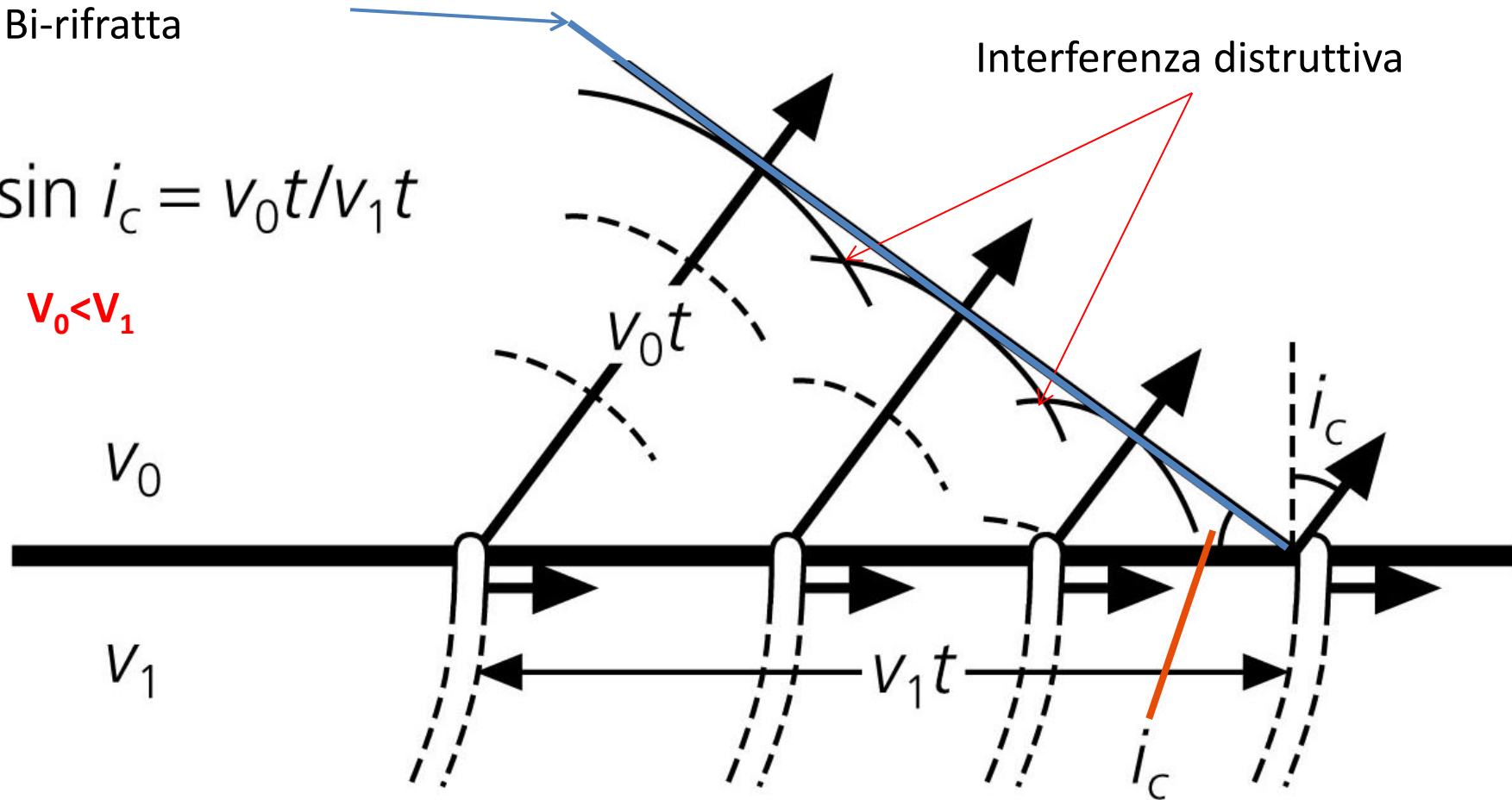
Onde coniche

Inviluppo del fronte d'onda dell'onda
Bi-rifratta

$$\sin i_c = v_0 t / v_1 t$$

$$v_0 < v_1$$

Interferenza distruttiva



Fronte d'onda nel secondo mezzo

i_c : angolo critico

$$\sin(i_c) = v_0 / v_1$$
$$i_c = \arcsin(v_0 / v_1)$$

Onde coniche: video per dimostrare il concetto



<https://youtu.be/6B4IVcCuIZE>

L'onda

un'onda elastica **rappresenta la propagazione di energia meccanica** di **oscillazione** e non implica in nessun modo trasporto di **materia**.

Il **passaggio** di un'onda elastica attraverso le varie discontinuità presenti nel sottosuolo **si traduce** in superficie in una oscillazione del terreno di cui interessa conoscere due parametri di interesse (geologico-ingegneristico e di ingegneria sismica) :

1) Ampiezza

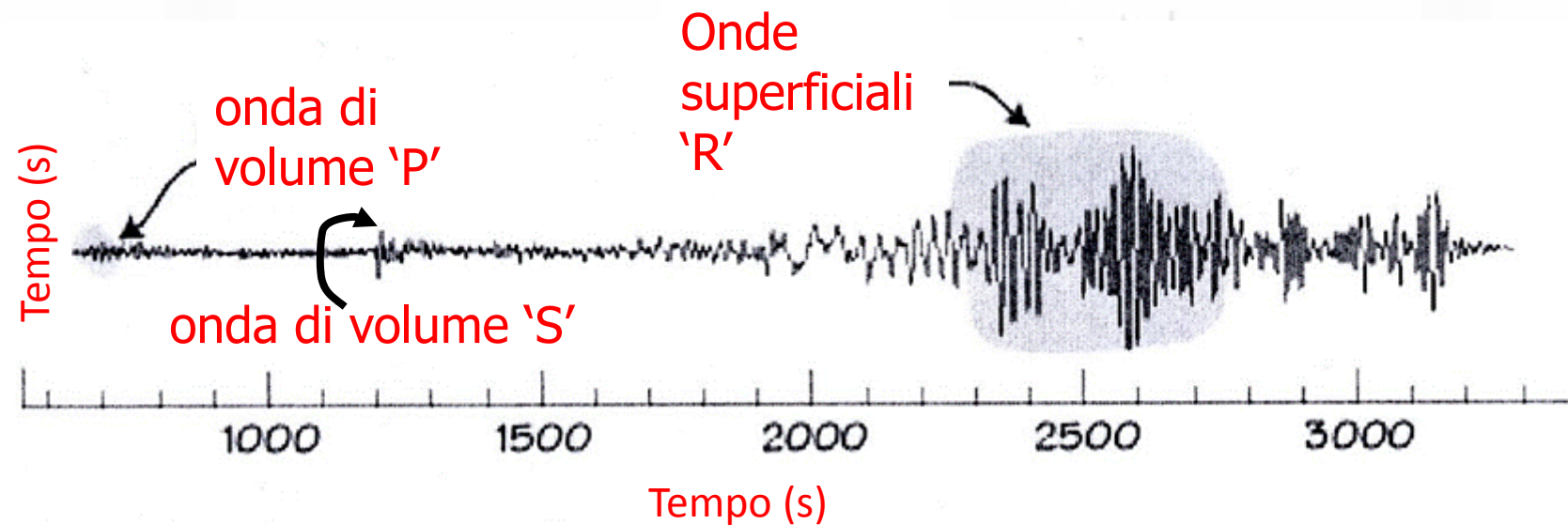
2) Accelerazione massima

in funzione della frequenza

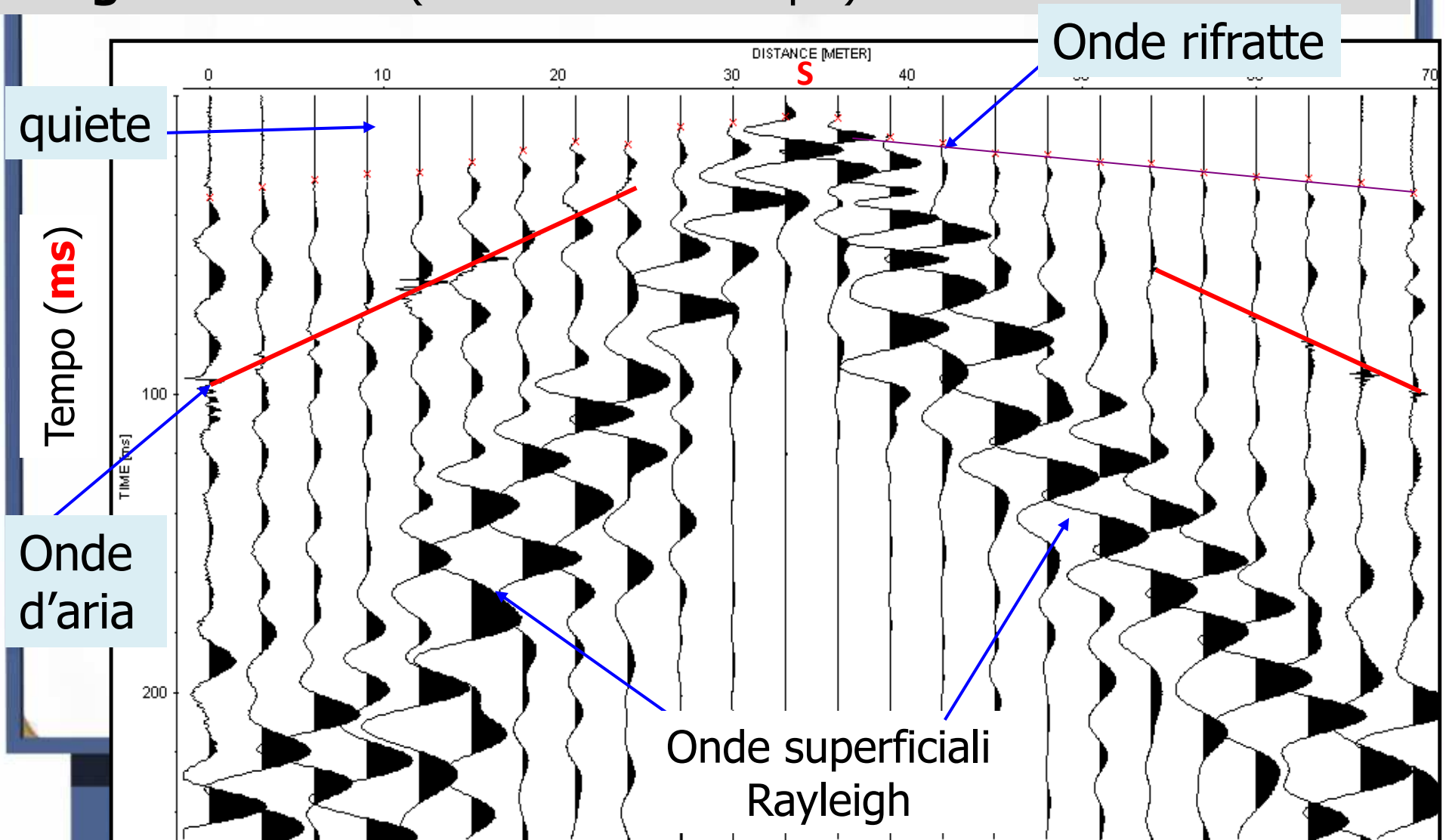
Tuttavia, conoscere le velocità dei mezzi materiali consente al geologo di caratterizzare/integrare/migliorare il **modello geologico concettuale del sottosuolo di interesse**.



L'onda: esempio traccia sismica di un terremoto lontano (telesisma, $M > 7$)



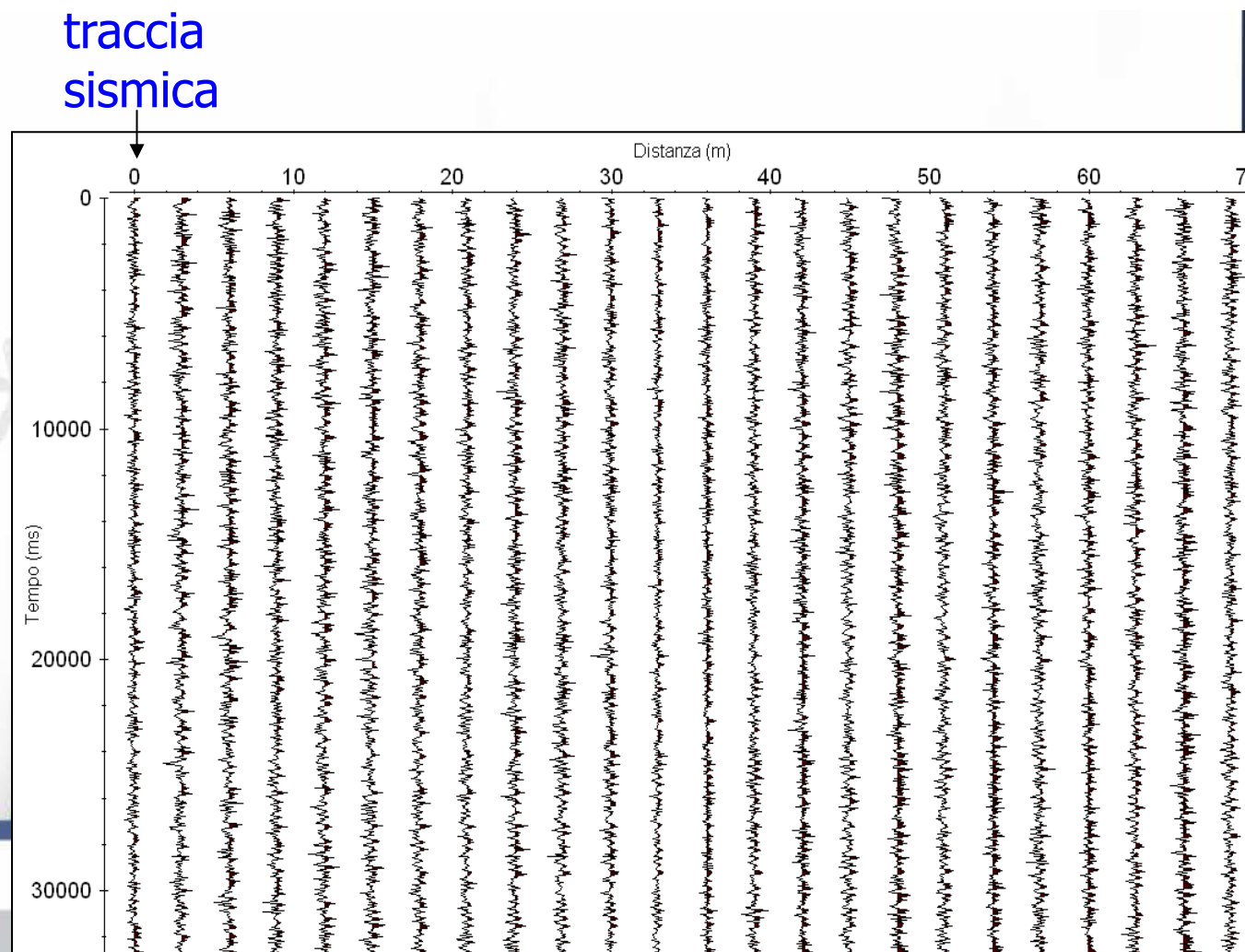
Sismogramma di onde sismiche sorgente attiva (dominio del tempo)



Sismogramma di onde sismiche–sismica passiva

Rumore sismico ambientale (sorgente passiva!) (dominio del tempo)

Il sismogramma ottenuto mediante registrazione del rumore ambientale (antropico + naturale) è stato ottenuto impiegando un sismografo modello Geometrics a 24 canali. Il passo tra i geofoni è di 3 m. La lunghezza registrazione è di 32 secondi circa

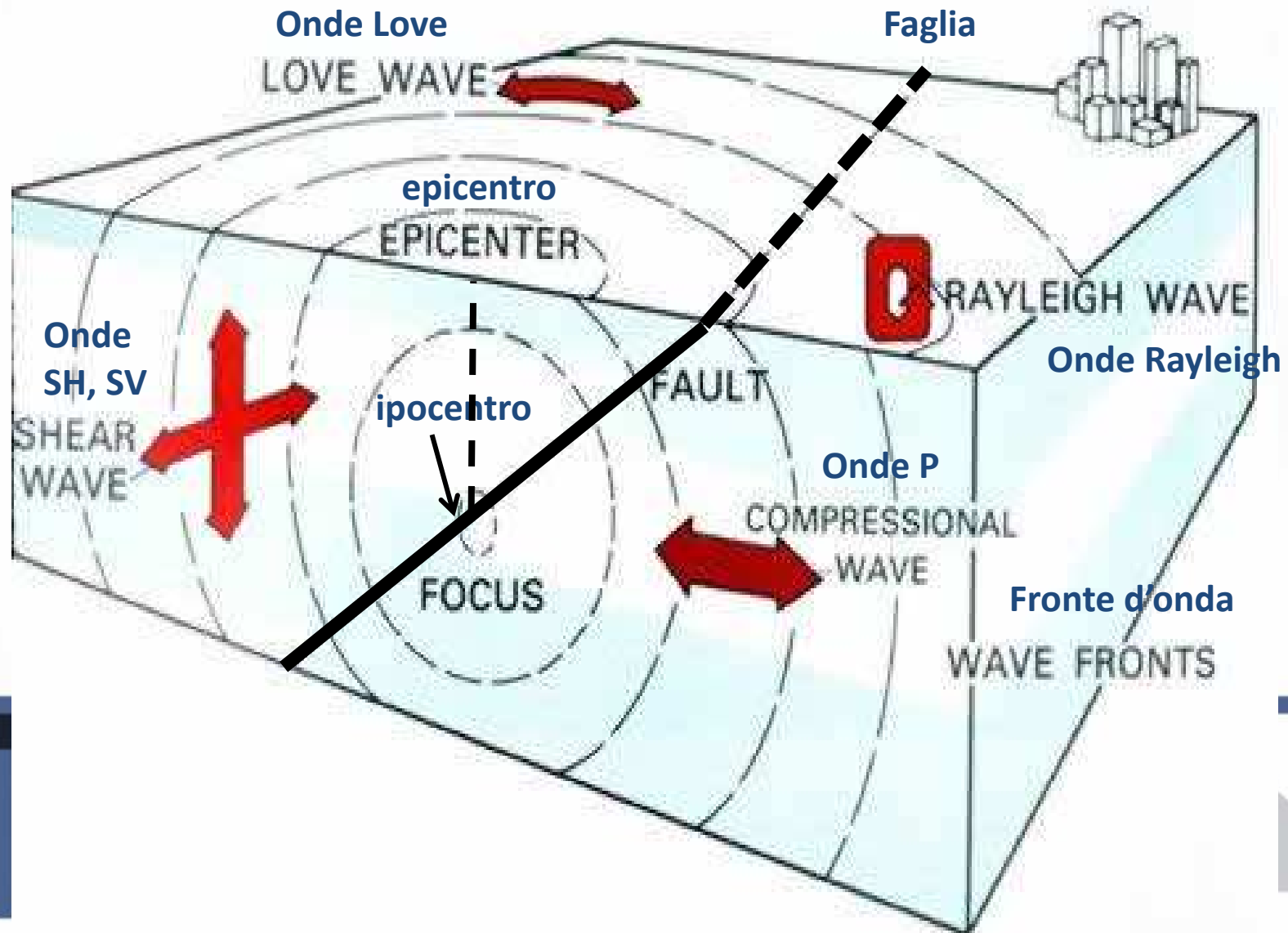


sismogramma

21



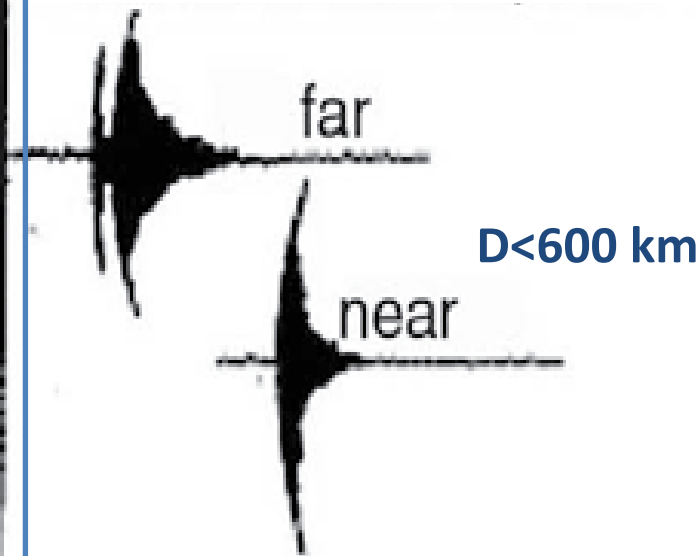
Terremoti – onde elastiche



Sismogrammi tipici di terremoti locali, regionali, telesismi e onde «T»

Classificazione terremoti in base alla
distanza dalla stazione di registrazione

Terremoto locale



D: distanza epicentro-stazione

Terremoto regionale



$D > 600 \text{ km}$

Telesisma ($D > 2000 \text{ km}$)

a.) P-wave

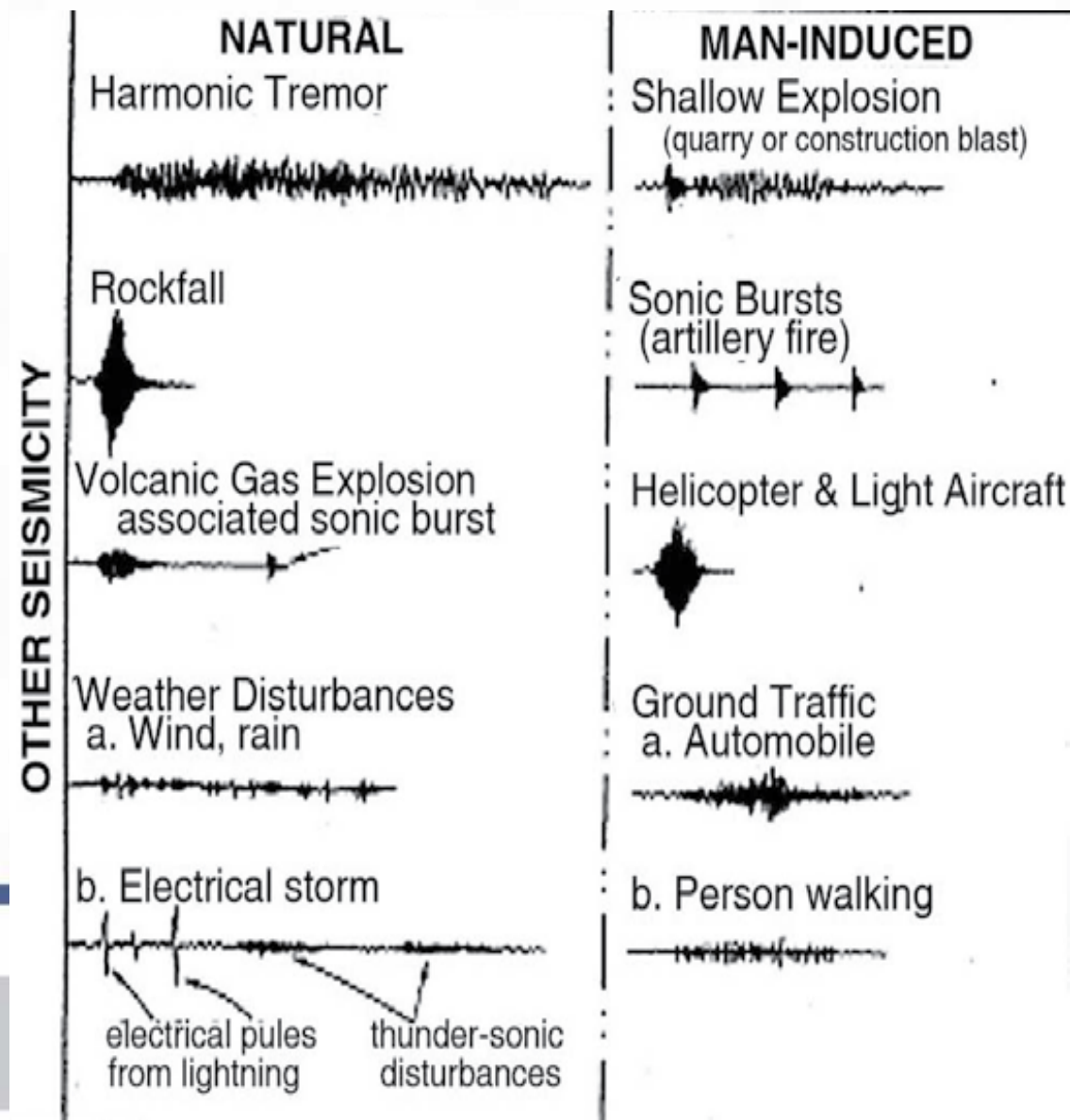


Onde T: particolare tipo di onde che una volta prodotte da un terremoto raggiungono la stazione propagandosi in mare a velocità inferiore quindi arriva con un notevole ritardo rispetto al tempo di origine 'T0'



Sismogrammi tipici di terremoti locali, regionali, telesismi e onde «T»

Classificazione terremoti in base alla
distanza dalla stazione di registrazione

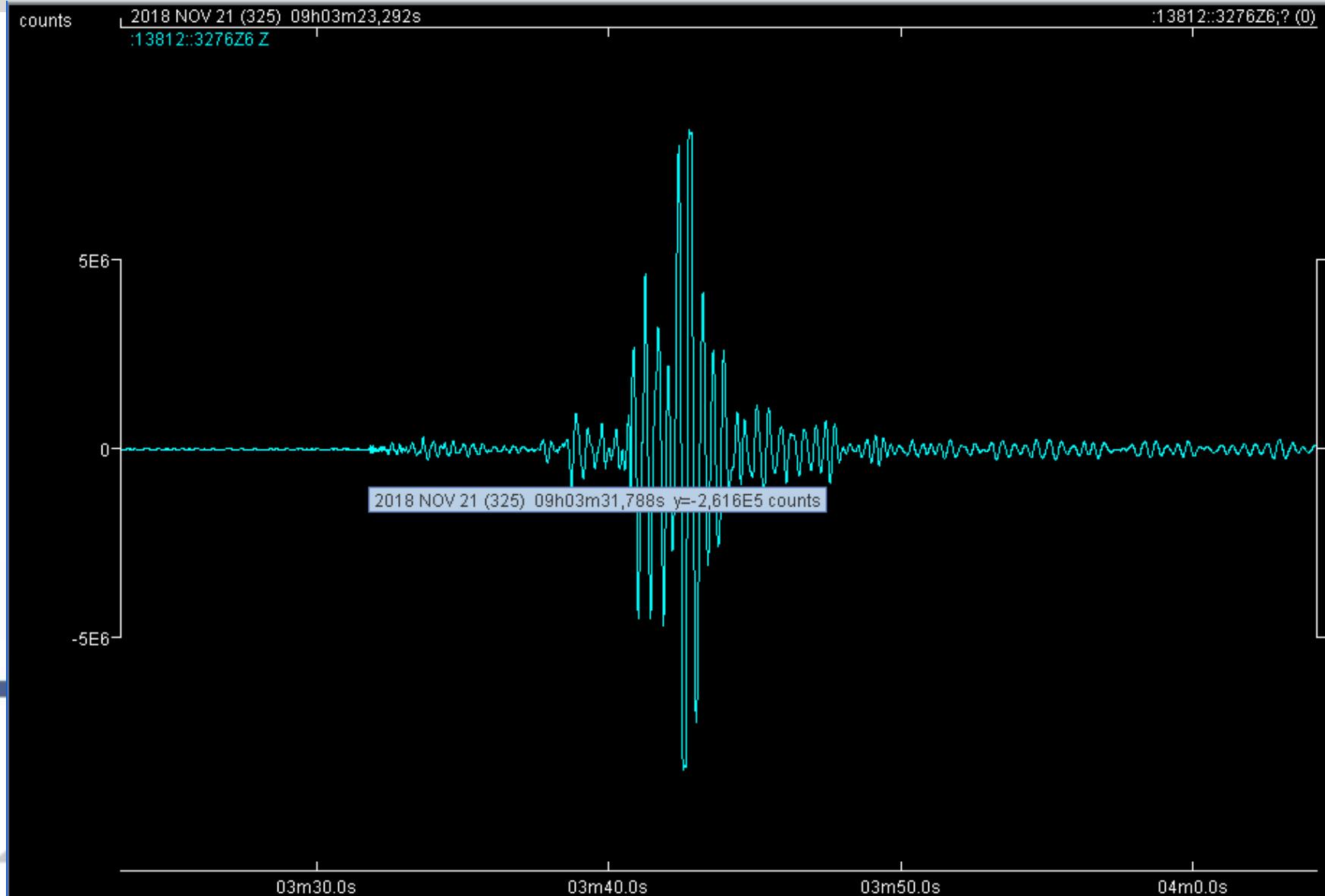


Evento antropico

Abbattimento ciminiera dell'ex-inceneritore di Via Conchetta, Ferrara (carica: 15 kg)

data: 20181121

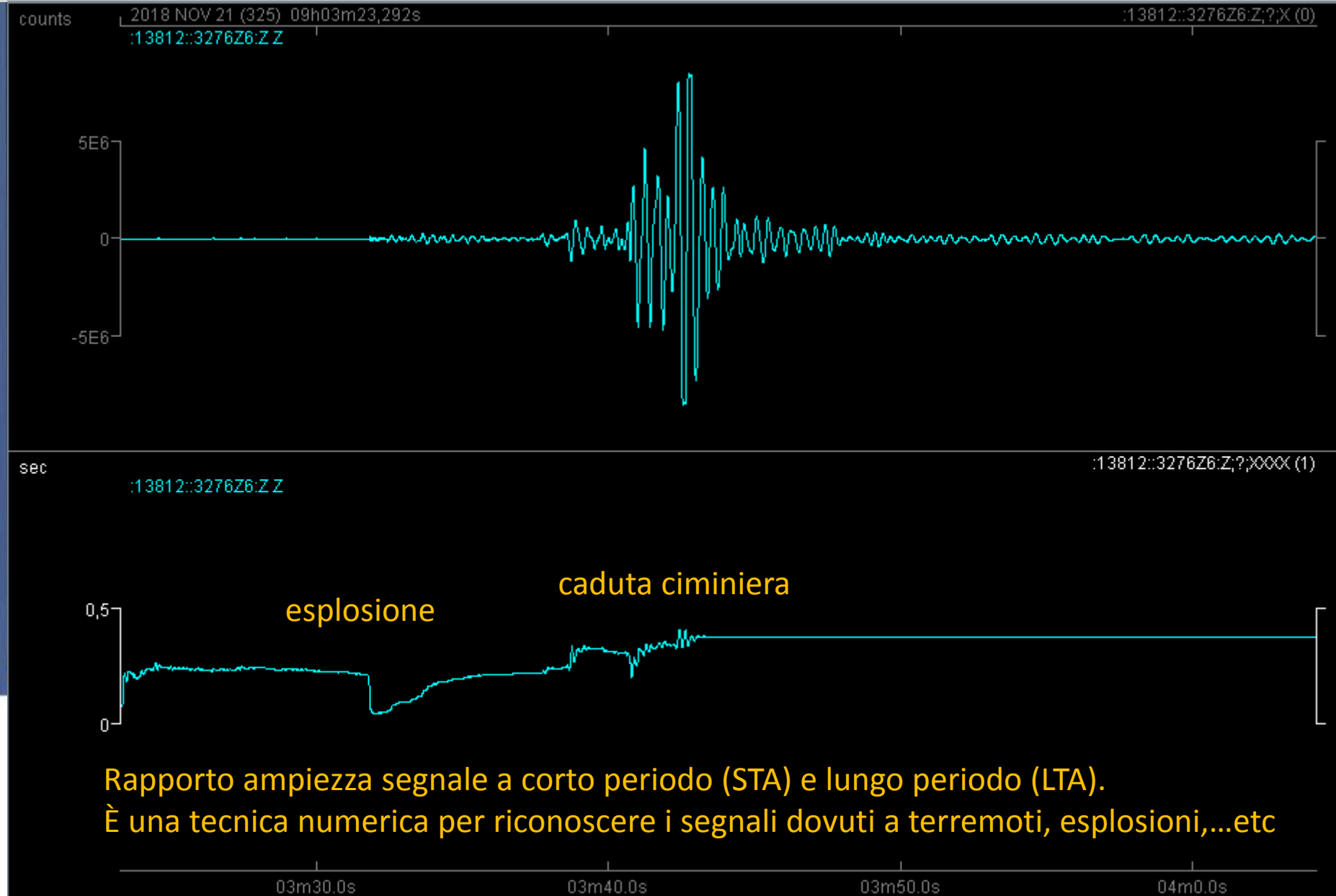
Ore: 09.03 utc - 10.03IT – stazione DEP-componente HHE



Evento antropico

Abbattimento ciminiera dell'ex-inceneritore di Via Conchetto, Ferrara

data: 20181121, Ore: 09.03 utc - 10.03IT – stazione DEP. Periodo istantaneo



Sismologia
Propagazione onde elastiche
Fine parte 07