

Geomok s.r.l.



LE VIBRAZIONI NEI CANTIERI E NELLA PROGETTAZIONE

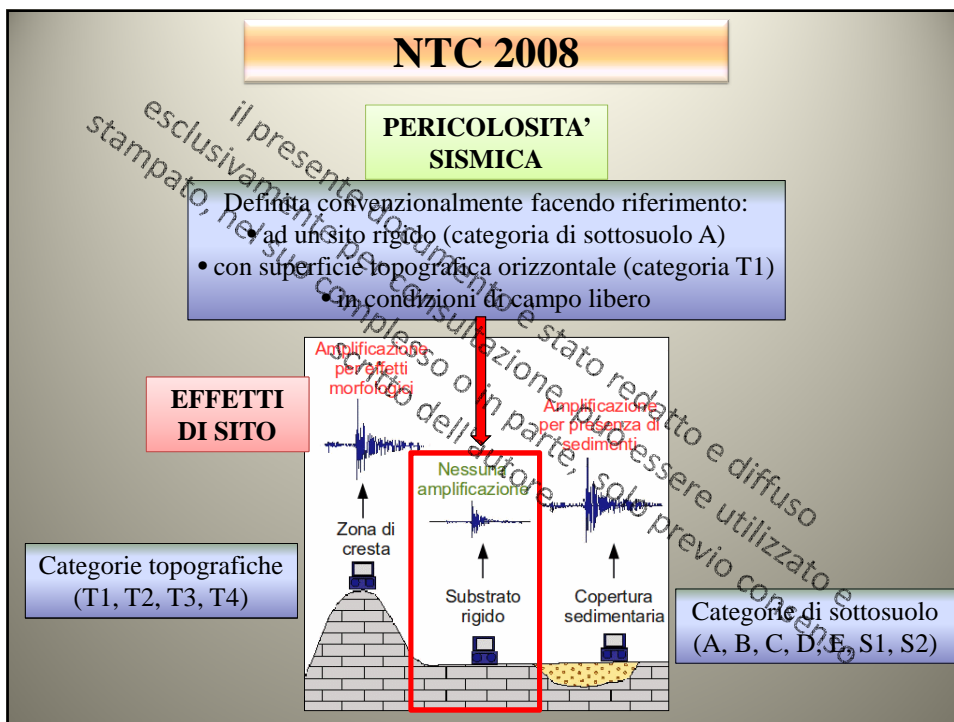


**VALUTAZIONE DEI MICROTREMORI PER LE AMPLIFICAZIONI DI SITO
E ANALISI DELLE VS30 PER LE NTC 2008**

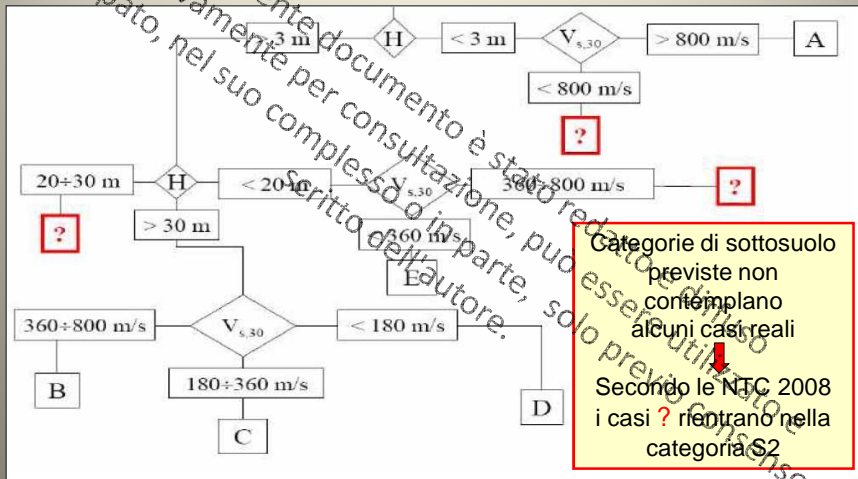
Alessandro Pavan



Udine 18 Novembre 2011



CATEGORIE DI SOTTOSUOLO (METODO SEMPLIFICATO)



PARAMETRI PER LA CLASSIFICAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Prove SPT

$N_{spt,30}$; $C_{u,30}$

Metodi sismici

$V_{s,30}$

geologi/geotecnici

strutturisti

NSPT, V_{s30}

caratterizzazione del terreno
categoria di suolo A, B, C, D, E



PARAMETRO Vs30

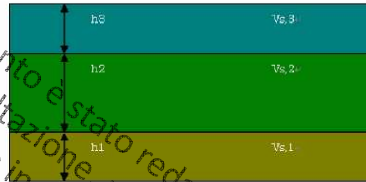
Significato della $V_{s,30}$

$$V_{s,30} = 30 \cdot \sqrt{\sum_{i=1, N} \rho_i \cdot V_i}$$

**VELOCITA' EQUIVALENTE
NON MEDIA DELLE ONDE DI
TAGLIO NEI PRIMI 30M DI
SOTTOSUOLO**

Il valore e' fortemente
influenzato dagli strati meno
rigidi

Il valore è indipendente
dall'ordine degli strati di terreno



$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

$$t_1 = h_1 / V_{s,1} \quad t_2 = h_2 / V_{s,2} \quad t_3 = h_3 / V_{s,3}$$

$$V_{s,m} = (h_1 + h_2 + h_3) / (t_1 + t_2 + t_3)$$

$$V_{s,m} = \sum h_i / (h_i / V_{s,i} + h_j / V_{s,j} + h_k / V_{s,k})$$

COME MISURARE IL PARAMETRO Vs30

Down-Hole

Prove in foro

Cross-Hole

Attive

Prove in superficie

Passive

Sorgente
vibrazioni
indotte
meccanicamente
nel suolo

MASW

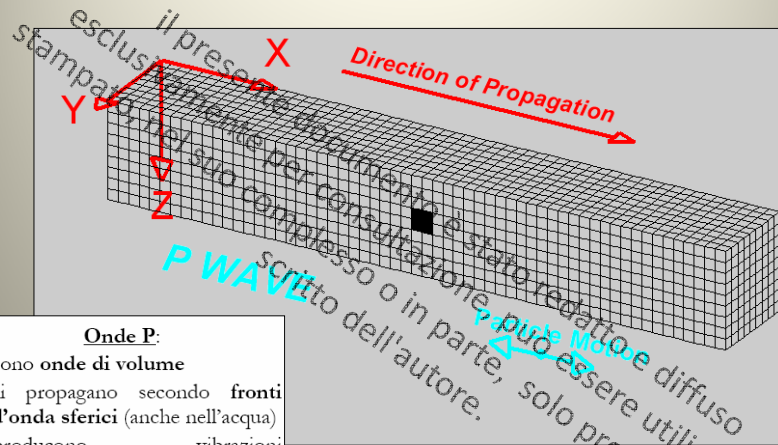
Remi

Sorgente
vibrazioni
naturali
del suolo

SISMICA A RIFRAZIONE

HVSR

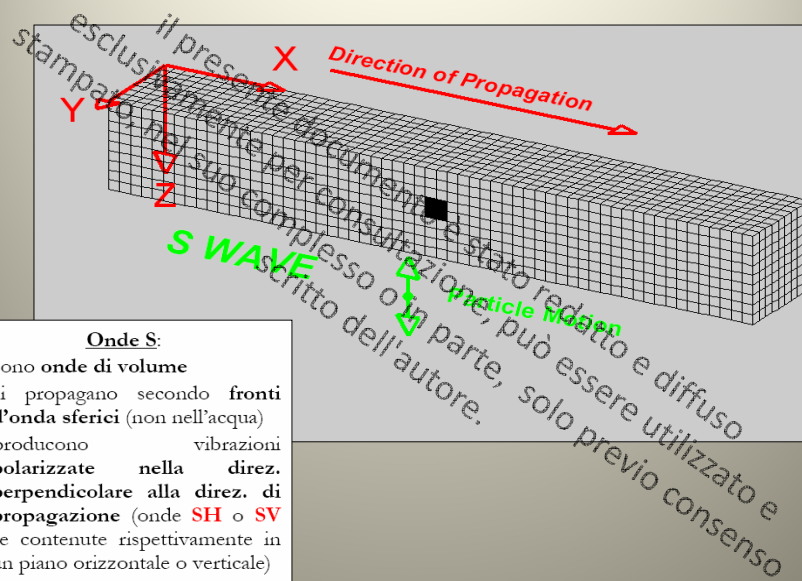
ONDE DI VOLUME - ONDE P



Onde P:

- sono **onde di volume**
- si propagano secondo **fronti d'onda sferici** (anche nell'acqua)
- producono **vibrazioni polarizzate nella direz. di propagazione**
- inducono **deformazioni di contrazione o estensione**
- hanno velocità più elevate delle altre onde

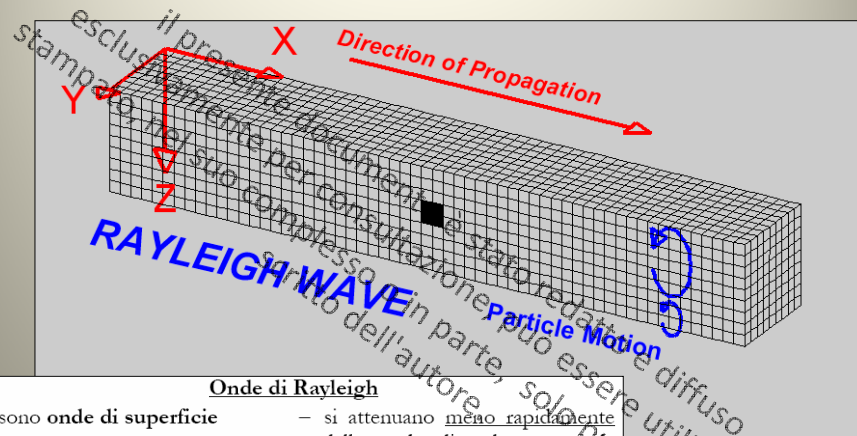
ONDE DI VOLUME - ONDE S



Onde S:

- sono **onde di volume**
- si propagano secondo **fronti d'onda sferici** (non nell'acqua)
- producono **vibrazioni polarizzate nella direz. perpendicolare alla direz. di propagazione** (onde **SH** o **SV** se contenute rispettivamente in un piano orizzontale o verticale)
- inducono **nel mezzo deformazioni di taglio**

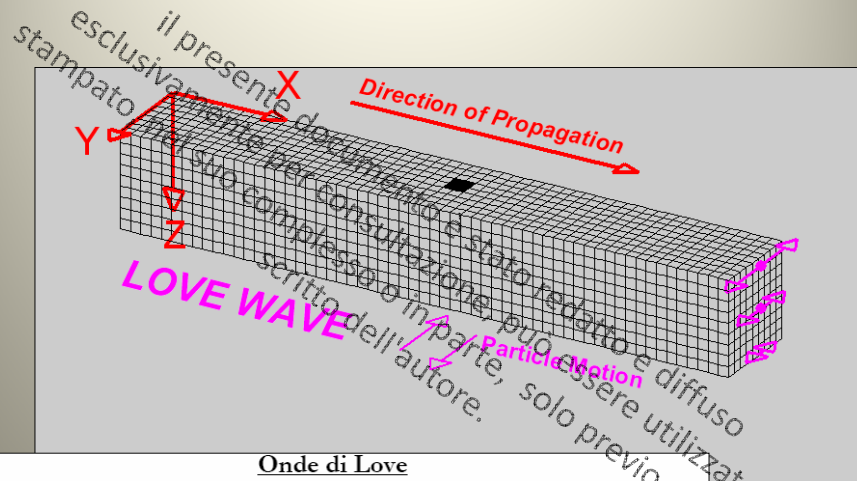
ONDE SUPERFICIALI - ONDE DI RAYLEIGH



Onde di Rayleigh

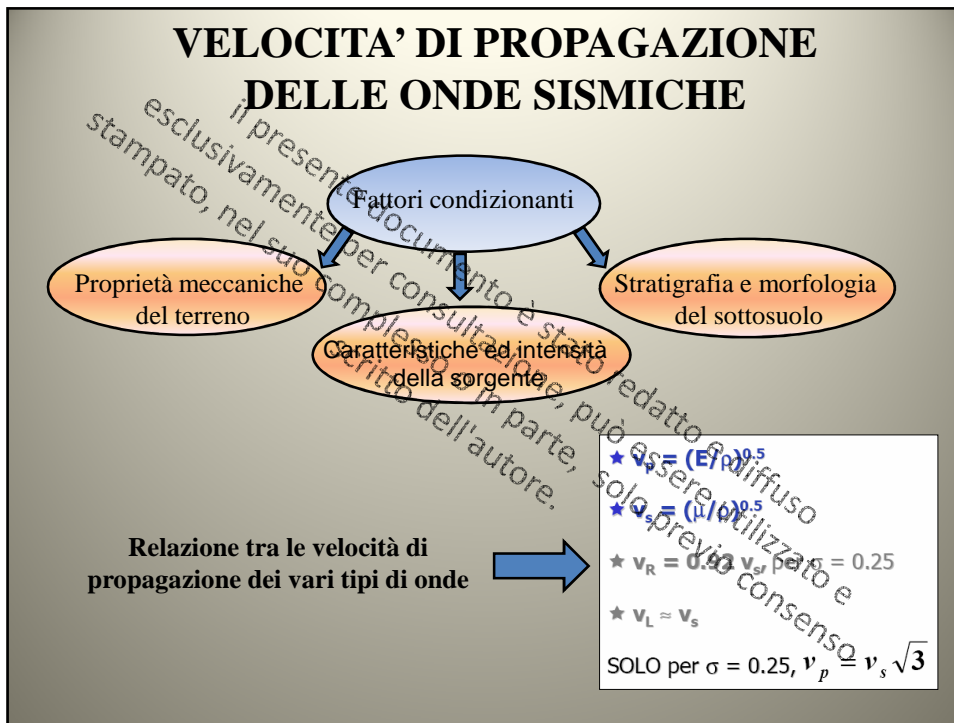
- sono onde di superficie
- si propagano secondo fronti d'onda cilindrici
- producono vibr. polarizzate su piani verticali nella direzione di propagazione e in quella perpendicolare
- si attenuano meno rapidamente delle onde di volume con profondità
- la componente verticale del moto predominante su quella orizzontale e significativa fino a profondità pari alla lunghezza d'onda λ

ONDE SUPERFICIALI - ONDE DI LOVE



Onde di Love

- sono onde di superficie
- inducono vibr. orizzontali perpendicolari alla direz. di prop.



VELOCITA' CARATTERISTICHE DI ALCUNI TIPI DI TERRENO E ROCCE

Rock type	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ρ (kg/m ³)
Vegetal soil	300-700	100-300	1700-2400
Dry sands	400-1200	100-500	1500-1700
Wet sands	1500-2000	400-600	1900-2100
Saturated shales and clays	1000-2500	200-800	2000-2400
Marls	2000-3000	750-1500	2100-2600
Saturated shale / sand sections	2000-2200	500-750	2100-2400
Porous saturated sandstones	2000-3000	800-1800	2100-2400
Limestones	4000-6000	2000-3000	2400-2700
Chalk	2500-3600	1100-1500	1800-2300
Salt	4500-5500	2500-3100	2100-2300
Anhydrite	4000-5500	2200-3000	2900-3000
Dolomite	3500-4500	1800-3600	2500-2700
Granite	4500-6000	2500-3000	2500-2700
Basalt	5000-6000	2800-3400	2700-3100
Gneiss	4400-5200	2700-3200	2500-2700
Coal	2200-2700	1000-1400	1300-1800
Water	1450-1500	—	1000
Ice	3400-3800	1700-1900	900
Oil	1200-1250	—	600-900

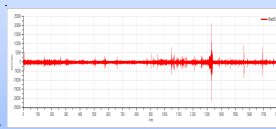
SISTEMA DI ACQUISIZIONE DATI

Sorgente di energia

Di tipo meccanico



Di tipo naturale
(microtremori)



Geofoni



Digitalizzatore SR04HS
con sensori interni SS45
collegato a PC portatile

Sismografo Geode Geometrics
collegato a PC portatile



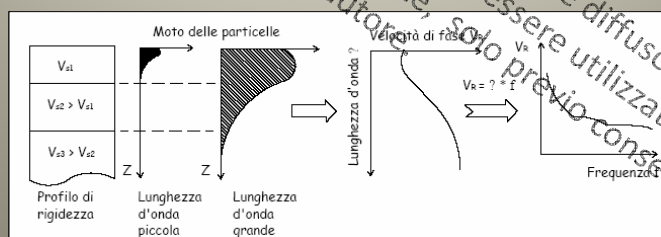
METODOLOGIE CHE UTILIZZANO ONDE DI SUPERFICIE

- MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)
- ReMi (Refraction Microtremor)

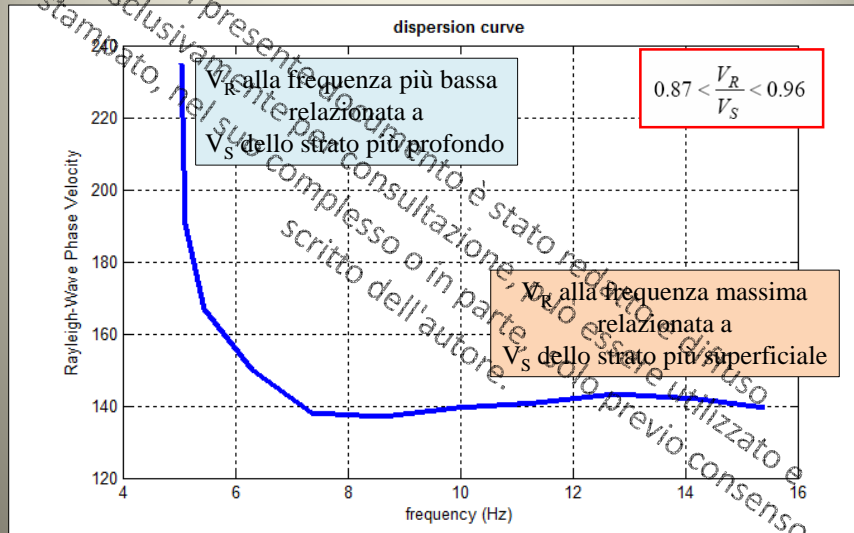
Principio fondamentale

Comportamento dispersivo del terreno

Velocità di fase varia in funzione della frequenza



CURVA DI DISPERSIONE



METODO MASW

• Metodo attivo (energizzazione di tipo meccanico)

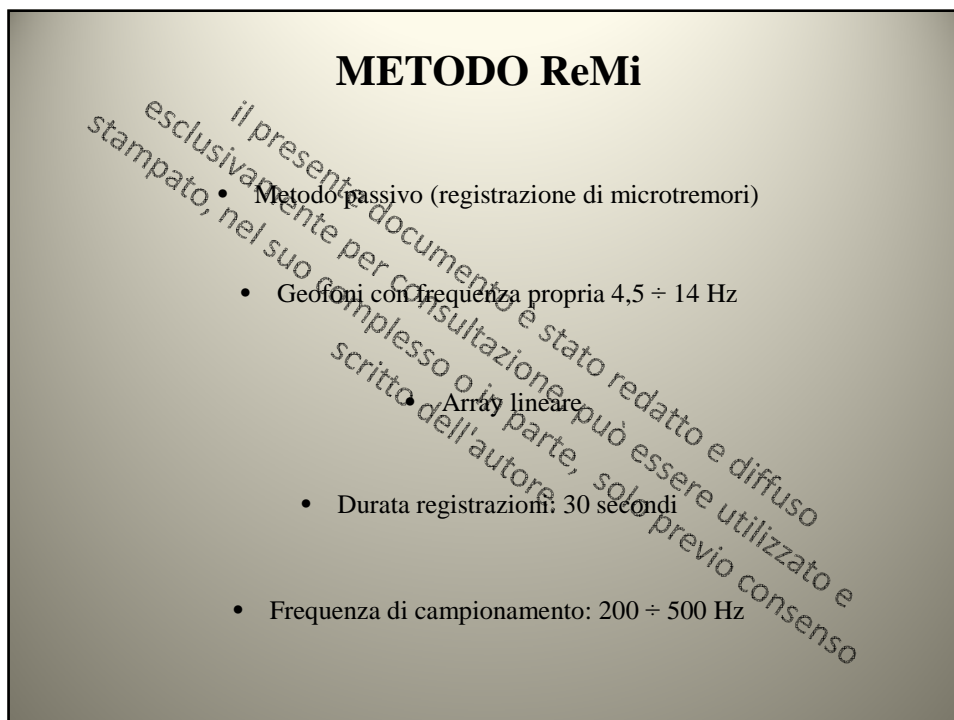
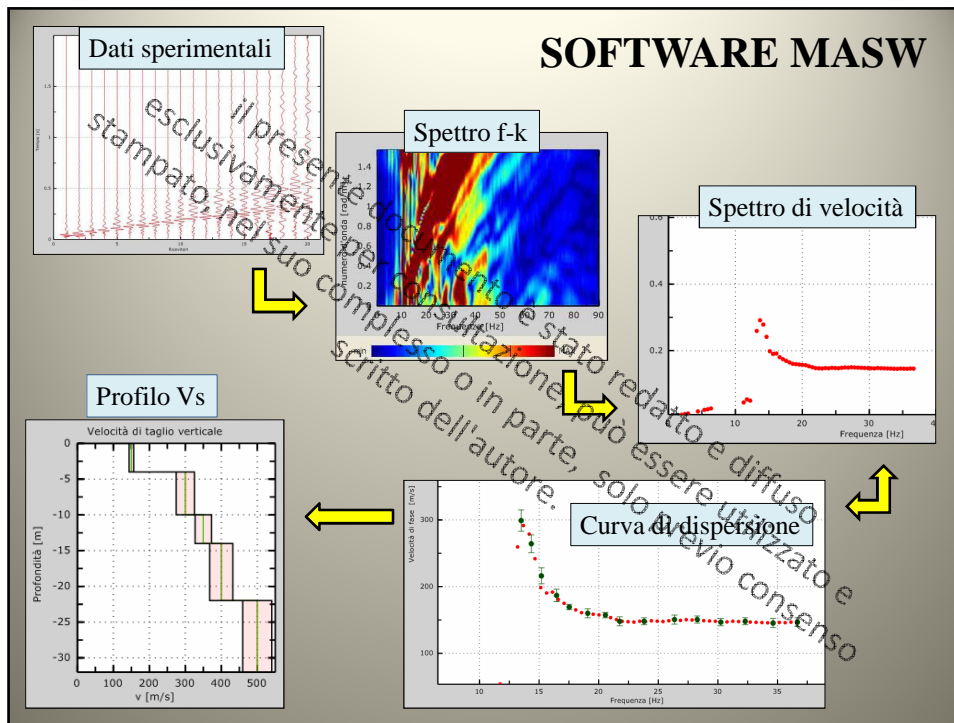
• Geofoni con frequenza propria di 4,5 Hz



Onde di Love

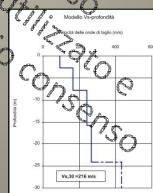
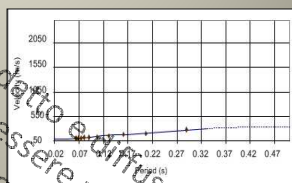
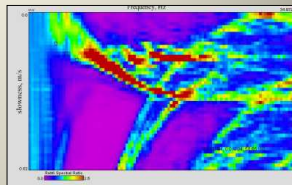
Onde di Rayleigh

- Durata registrazioni: 1 ÷ 2 secondi
- Frequenza di campionamento: 1000 Hz



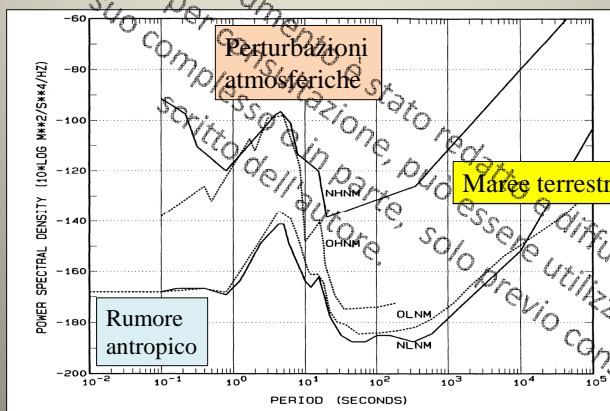
SOFTWARE ReMi - SEISOPT

- Modulo per la trasformazione del record di campagna nello spettro di potenza p-f . La tecnica di trasformazione slowness-frequency (p-f) dei microtremori consente di separare le onde di Rayleigh dagli altri arrivi e di identificare la velocità di fase vera rispetto a quella apparente
- Modulo per l'effettuazione del picking della curva di dispersione
- Modulo per la modellazione della curva di dispersione per la creazione del profilo di velocità 1-D per le onde S



MICROTREMORI

Rumore sismico ambientale costituito da oscillazioni continue di piccola ampiezza (10 μ m) originate dalla sovrapposizione di effetti generati sia da sorgenti naturali (perturbazioni meteorologiche a larga scala, vento, onde oceaniche,...), che da sorgenti antropiche (traffico, attività industriali, ...).



Modello del rumore di fondo globale

RILIEVO DEI MICROTREMORI



HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (Metodo di Nakamura)

Apparato di registrazione dotato di 3 velocimetri
disposti nelle tre direzioni dello spazio (N-S, E-W, Vertical)

Frequenza di campionamento: $128 \div 512$ Hz

Durata registrazione: 20 minuti sufficienti per risoluzione del segnale $0.5 \div 10$ Hz

OTTIMIZZAZIONE DEL RILIEVO

Linee guida e protocollo sperimentale



SESAME (Site EffectS assessment using **A**mbient **E**xcitation)

Verificare accoppiamento sensori-terreno

Verificare sufficiente distanza da edifici, alberi, strutture in elevazione,
per evitare risonanze non dipendenti dalle strutture del sottosuolo

Verificare l'assenza di sorgenti dominanti di rumore
o sorgenti ad elevata intensità in prossimità del sito di misura

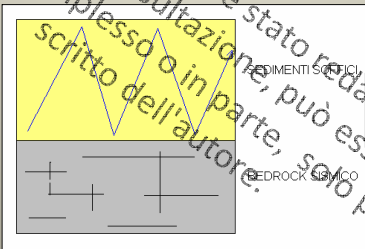
TECNICA HVSR

Principio fondamentale ➔ **CONCETTO DI RISONANZA**

La risonanza è dovuta all'intrappolamento delle onde tra due superfici in cui si verifica una variazione di impedenza acustica ($I = \rho v$).

$I_1 = \rho_1 v_1$

$I_2 = \rho_2 v_2$



SISTEMI OMOGENEI E ISOTROPI (2 STRATI)

FREQUENZA DI RISONANZA
 Frequenza a cui un sistema, eccitato da un impulso, risponde alla massima ampiezza

FREQUENZA DI RISONANZA

$F_0 = \frac{v_s}{4H}$

La frequenza di risonanza F_0 del sito dipende dallo spessore H e dalla velocità media v_s delle onde nello strato sedimentario

Verifica dell'occorrenza di condizioni di pericolosità per doppia risonanza con le strutture esistenti e/o di progetto

PERIODO FONDAMENTALE
 (reciproco della frequenza di risonanza)

$T_{ed} \approx C h^{3/4} \approx n/10$

T_{ed} = periodo fondamentale
 $C = 0.050$ edifici in muratura
 $C = 0.075$ edifici in muratura e calcestruzzo
 $C = 0.085$ edifici a telaio in calcestruzzo
 h = altezza dell'edificio
 n = numero di piani dell'edificio

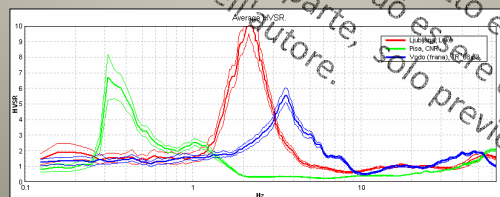
METODO DI NAKAMURA

ASSUNZIONE DI BASE

la componente verticale (V) del noise, nel passare dal substrato alla superficie, non subisce amplificazione

Rapporto tra gli spettri delle componenti orizzontali e verticale

Valore max in corrispondenza della frequenza di risonanza



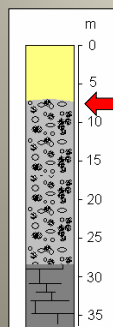
Curva H/V piatta
↓
Sito su roccia

← profondità → superficie

STIMA DELLA Vs30

Conoscere la profondità di un orizzonte qualsiasi (es. da prove penetrometriche)

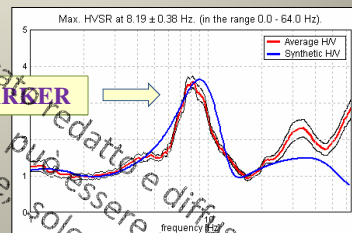
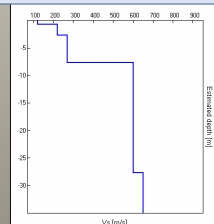
Riconoscere il rispettivo marker sulla curva H/V



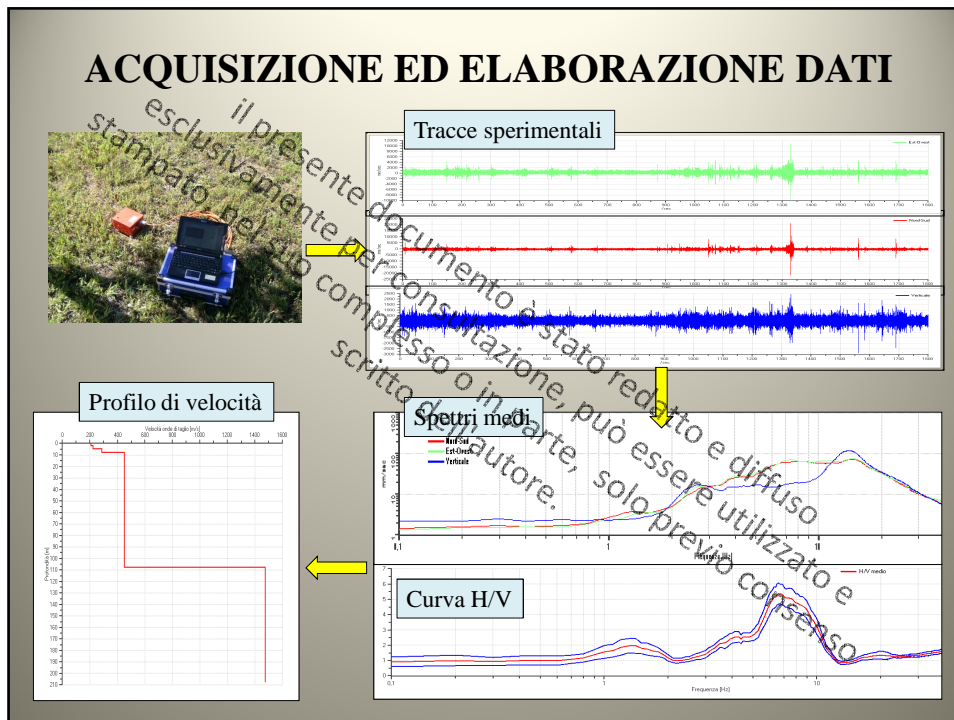
VINCOLO

MARKER

PROFILO DI VELOCITA'



N.B.: se la curva H/V non è vincolata esistono infinite soluzioni!



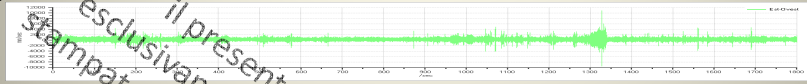
TECNICA HVSR

Vantaggi della tecnica di indagine:

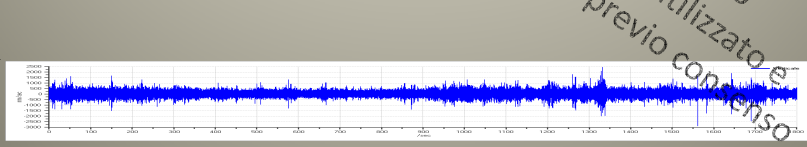
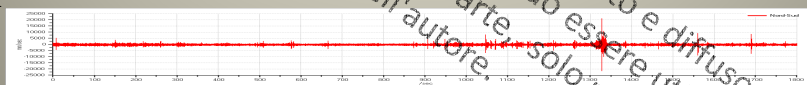
- Spazio limitato necessario all'esecuzione della misura
- Non necessita di energizzazioni (rumore ambientale sempre presente)
- Elevata profondità di penetrazione nel sottosuolo
- Costi contenuti

L'inversione della curva H/V vincolata alla conoscenza di un orizzonte stratigrafico superficiale consente di:

- Fornire una stima della V_{s30}
- Fornire le frequenze di risonanza del sottosuolo (ancora più importanti della V_{s30} ai fini della caratterizzazione degli effetti di sito)
- Riconoscere eterogeneità laterali



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



il presente documento è stato redatto e diffuso
esclusivamente per consultazione, può essere utilizzato e
stampato, nel suo complesso o in parte, solo previo consenso
scritto dell'autore.