

INDAGINI SISMICHE PER L'APPLICAZIONE DELLE NORMATIVE VIGENTI

Presentazione a cura di:

Dott. Maurizio Furani

Dott. Gabriele Pulelli

30 MAGGIO 2008



PROGEO srl

Via Talete 10/8

47100 Forlì

tel. 0543 -723580

fax. 0543 721486

mail.progeo@gmail.com

www.progeo.info



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

D.M. 21 GENNAIO 2008

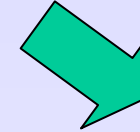
MICROZONAZIONE SISMICA

NORMATIVE REGIONALI



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

AZIONE SISMICA



1 norma nazionale

Determinazione delle azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito in costruzione.
Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

MICROZONAZIONE SISMICA

RISPOSTA SISMICA LOCALE



Normative regionali diverse

La Microzonazione sismica rappresenta l’attività svolta ai fini di una più dettagliata suddivisione del territorio in aree in cui i valori di pericolosità sismica rispecchiano rigorosamente le condizioni locali. L’analisi della risposta di un suolo alle sollecitazioni sismiche (Risposta Sismica Locale), costituisce la parte fondamentale delle attività di Microzonazione Sismica



Applicazione normative

- Richiede un **approccio di tipo multidisciplinare** che integri i contributi provenienti dalla Sismologia, dalla Geofisica, dalla Geotecnica e dall'Ingegneria Strutturale
- Collaborano **geologi, geofisici, sismologi e ingegneri geotecnici.**



V_{S30} – NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

3.2.1. CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

- A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
- B - *Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti*, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media N_{SPT} > 50, o coesione non drenata media c_u > 250 kPa).
- C - *Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s (15 < N_{SPT} < 50, 70 < c_u < 250 kPa).
- D - *Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti*, caratterizzati da valori di V_{S30} < 180 m/s (N_{SPT} < 15, c_u < 70 kPa).
- E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di V_{S30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V_{S30} > 800 m/s.

Per i terreni di seguito illustrati andranno svolti studi speciali per la definizione dell'azione sismica:

S1 - Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e contenuto di acqua, con 10 < c_u < 20 kPa e caratterizzati da valori di V_{S30} < 100 m/s.

S2 - Terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{S30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} \quad [3.2.1]$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio γ < 10⁻⁶) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di V_{S30}, se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{SPT} (per terreni prevalentemente granulari) ovvero di c_u (per terreni prevalentemente coesivi).

Nelle definizioni precedenti N_{SPT}, c_u e V_i sono i valori rappresentativi degli strati considerati, valutati dal progettista e/o committente sulla base di insiemi statistici sperimentali.

Calcolo dell'azione sismica di progetto §3.2

Zona sismica - Fattore di amplificazione

Tipologia azione sismica – Condizioni topografiche

Spettro di risposta elastico - Accelerogrammi

I valori dei parametri che definiscono lo spettro derivano dalle indagini di risposta sismica locale



Es. tabella

Tabella 3.2.II - Valori dei parametri nelle espressioni [3.2.2] dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali

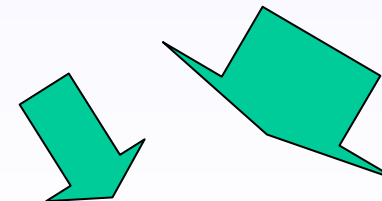
Categoria suolo	S	T _B	T _C	T _D
A	1,0	0,15	0,40	2,0
B, C, E	1,25	0,15	0,50	2,0
D	1,35	0,20	0,80	2,0

3.2.5.3. Variabilità spaziale del moto

Nei punti di contatto dell'opera con il terreno (fondazioni delle pile, spalle), il moto sismico è generalmente diverso, a causa del suo carattere intrinsecamente di propagazione, delle disomogeneità e delle discontinuità eventualmente presenti, e della diversa risposta locale del terreno dovuta a particolari caratteristiche meccaniche e morfologiche.

Degli effetti sopra indicati dovrà tenersi conto quando tali effetti possono essere significativi e in ogni caso quando le condizioni di sottosuolo sono variabili lungo lo sviluppo del ponte in misura tale da richiedere l'uso di spettri di risposta diversi.

Indagini puntuali e aerali



Sismica a varie risoluzioni



RISPOSTA SISMICA LOCALE

Gli studi sulla vulnerabilità hanno come obiettivo:

- 1) Individuare le aree dove i terremoti possono creare effetti locali
- 2) Stimare e quantificare la risposta sismica locale dei depositi (RSL)
- 3) Suddividere il territorio in zone a diversa pericolosità (Microzonazione)

I FASE

1) Studio iniziale

La prima fase è impostata per la definizione degli scenari di pericolosità sismica locale cioè deve portare ad identificare nel territorio porzioni suscettibili di effetti locali (amplificazione locale del segnale sismico, cedimenti, frane, liquefazioni, ecc.).

Siamo in una fase di rilievo delle aree con osservazioni e valutazioni geologiche e geomorfologiche, a scala territoriale, utilizzando dati disponibili e/o eventualmente realizzati (sondaggi, penetrometrie, rilievi ecc.).

II – III FASE – Zonazione Sismica

2) Analisi semplificata

L'analisi della pericolosità locale si può basare su una integrazione del data base geologico/geomorfologico anche su prove geofisiche e prove geotecniche standard. Il numero di tali prove sarà tale da consentire una adeguata e areale caratterizzazione del sito.

Categorie del suolo e Vs30

3) Analisi approfondita

E' questo un tipo di attività, ad integrazione dei precedenti, che può essere richiesto e/o necessario laddove siano possibili episodi di liquefazione, in presenza di aree instabili, per coperture di spessore fortemente variabile (aree pedemontane, di fondovalle sui fianchi vallivi) oppure nel caso di realizzazione di rilevanti opere d'interesse pubblico.

In questi casi saranno necessarie, sempre partendo dai livelli precedenti, ulteriori indagini geofisiche e geotecniche sia in sito che in laboratorio ma in questo caso volta alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica..

Sono da realizzare analisi ed indagini nell'ambito della pianificazione provinciale:

per la fase 1 - **PTCP (Piano territoriale di Coordinamento Provinciale)**

per le fasi 2 e 3 viene richiesta per la predisposizione degli strumenti di pianificazione urbanistica a livello comunale e la redazione del

PSC (Piano Strutturale Comunale) dal quale scaturiranno le prescrizioni necessarie alla progettazione attuativa assegnata al

RUE - Regolamento Urbanistico ed Edilizio ed al **POC - Piano Operativo Comunale**.

Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

$V_s - V_{s30} - G_o$

Frequenze naturali



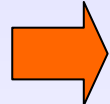
**MODELLO DI CALCOLO
RISPOSTA SISMICA LOCALE DI UN SOTTOSUOLO IDEALE
FASE 1- FASE 2**

**Studio iniziale
Analisi semplificata e approfondita**

CARTA
GEOLOGICA 1: 5000



CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA



Indagini penetrometriche

Indagini sismiche a
Rifrazione (onde P e S)

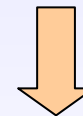
Sondaggi geognostici

Prove di laboratorio



Parametri ricavati dalle indagini,
necessari per la realizzazione della
carta litotecnica e della RSL:

- Modulo di taglio
- Rigidità sismica
- Frequenza e periodo fondamentale
- Spessori



Vs Go

Carta litotecnica e della RSL



**Vs Go
Frequenze di
sito**

Coltre, detrito, ect.

Formazione lapidea.

Modello geologico tecnico

SUOLO CATEGORIE



Individuazione aree a maggior rischio

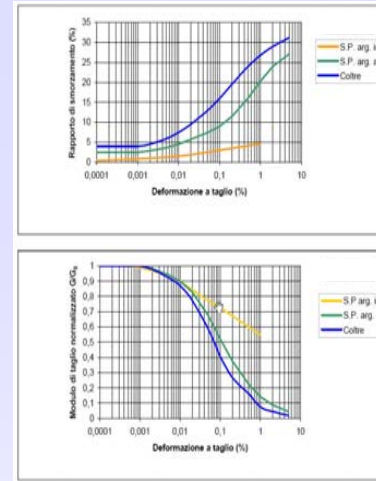
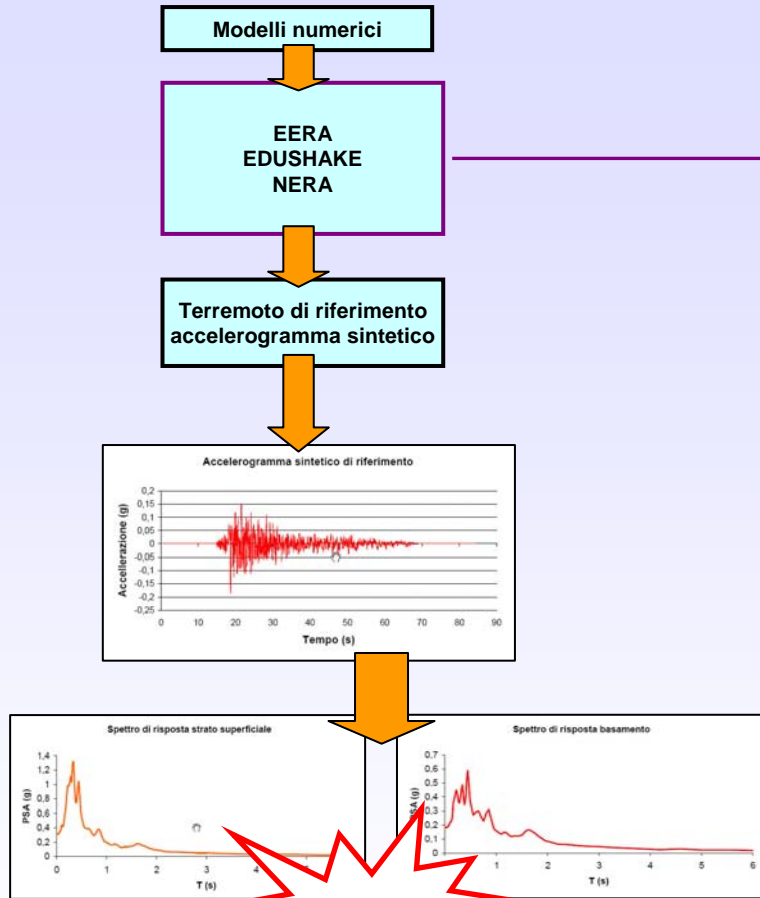
MICROZONAZIONE SISMICA



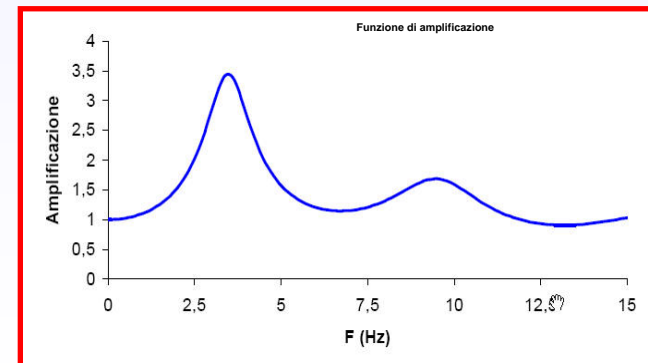
FASE 2



**INDIVIDUAZIONE AREE A MAGGIOR RISCHIO
FASE 1 – FASE 2**



**FASE 3
RISPOSTA SISMICA LOCALE
DI UN SOTTOSUOLO REALE**



NORME TECNICHE E MICROZONAZIONE SISMICA – INDAGINI DI FASE 2 E 3



La normativa prevede la misura della velocità delle onde di taglio



TECNOLOGIE SISMICHE

MISURE IN SITO



INDAGINI SISMICHE

La prospezione sismica si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso l'analisi e lo studio della propagazione di onde sismiche. Queste onde elastiche vengono generate mediante esplosioni, energizzazioni o vibrazioni prodotte sulla superficie e/o in foro; l'impiego di varie fonti di energizzazione dipende dallo scopo dell'indagine e dalla profondità da investigare.

Le discontinuità ricercate, su cui ci si basa per la determinazione della geometria e natura del sottosuolo, sono **discontinuità elastiche determinate da reali variazioni litologiche, tettoniche e di consistenza.**

Pertanto la prospezione sismica è una tecnica di esplorazione del “sottosuolo” e di “manufatti” che trova largo impiego nella geologia applicata all'ingegneria e nelle indagini non distruttive; **conoscere la struttura e le caratteristiche elastiche di un terreno o opera d'arte è infatti essenziale ai fini progettuali.**



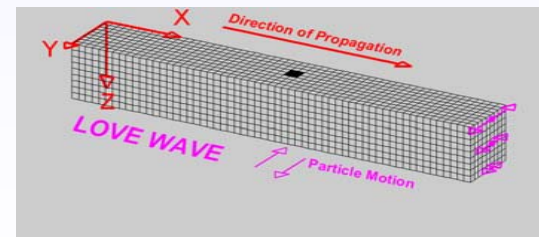
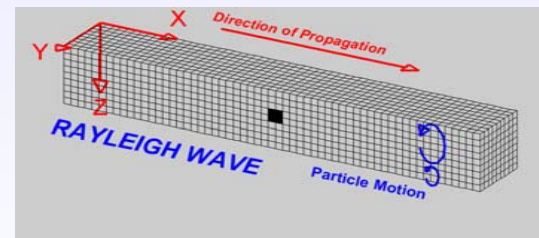
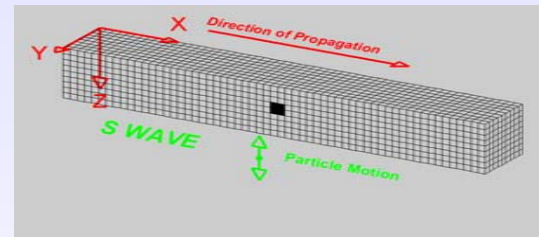
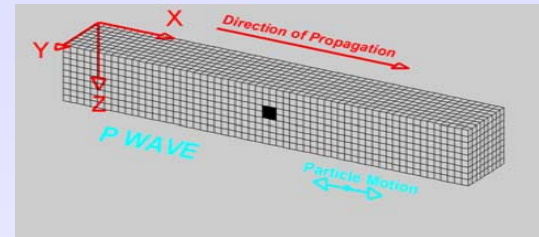
ONDE SISMICHE

L'applicazione di una sollecitazione dinamica ad un mezzo continuo produce vibrazioni che si trasmettono sotto forma di onde sismiche. La distinzione tra i differenti tipi di onde va operata in base alla loro direzione di propagazione ed a quella del moto degli elementi di volume investiti.

Le onde di compressione (**primarie – P Wave**) si trasmettono sotto forma di deformazioni di contrazione ed estensione nel mezzo.

Nel caso delle onde di taglio (**secondarie o trasversali – S Wave**) le deformazioni sono puramente distorsionali e le vibrazioni sono dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione (SH se contenute su un piano orizzontale e SV se nel piano verticale).

Le onde di superficie (**Rayleigh e Love**) sono caratterizzate da componenti longitudinali e trasversali. Sono onde nelle quali l'ampiezza decade rapidamente con la profondità.



VELOCITA' E PARAMETRI ELASTICI

Consideriamo un corpo elastico sottoposto ad uno sforzo impulsivo normale e la serie di particelle allineate.

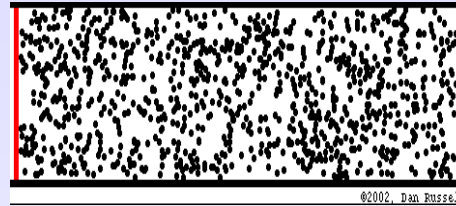
Una causa perturbatrice sposterà le particelle in avanti avvicinandole a quelle successive e così via per inerzia mantenendo inalterata la distanza tra le particelle; per reazione elastica queste torneranno al proprio punto di riposo e dopo vari cicli si stabilizzeranno.

E' una oscillazione intorno ad una posizione di equilibrio che consente la propagazione della perturbazione che sarà caratterizzata da una velocità finita funzione della elasticità di volume rappresentata dal **MODULO DI COMPRESSIBILITA'**.

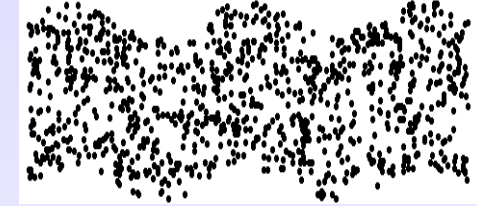
La vibrazione longitudinale si trasmette nella stessa direzione del movimento alla velocità delle onde di compressione (**V_p**) per compressione e dilatazione mentre quella trasversale invece è determinata dalla reazione elastica che impedisce lo scorrimento delle particelle tra di loro dando origine ad una variazione di forma per sforzi di taglio. Questa sollecitazione si propaga alla velocità delle onde di taglio (**V_s**).

A seguito di una sollecitazione impulsiva possono propagarsi entrambe le onde dando origine alle onde di massa (Rayleigh **V_r** e Love **V_l**) che si producono alla superficie libera del mezzo con la massima intensità.

Onde di compressione (P)



Onde di taglio (S)



Relazioni tra velocità sismiche e parametri elastici

Coefficiente di Poisson	$\nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$
Peso di volume	$\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_{p \frac{m}{sec}}^{0.19}$
Densità geofisica	$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g} \quad (g = 9.8 - \text{accelerazione di gravità m/sec})$
Modulo di Elasticità	$E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1-\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)}$
Modulo di Taglio	$G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2$
Modulo di Compressibilità	$K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2 \cdot \nu)}$



TIPOLOGIE INDAGINI SISMICHE

Indagini dalla superficie

Parametrizzazioni in

Sismica a rifrazione tradizionale e Tomografica	$V_p + V_s + \text{Attenuazione}$
Sismica a riflessione	$V_p + V_s$
SASW (Signal Analysis Surface Wave)	V_s
MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave)	V_s
RE.MI. (Refraction Microtremor)	V_s
HVSR (H/V Spectral Ratio – Nakamura)	Frequenza di sito (NO V_s)

Indagini in foro

Down Hole	$V_p + V_s + \text{Attenuazione}$
Cross Hole	$V_p + V_s + \text{Attenuazione}$
Cross Hole Tomografico	$V_p + V_s + \text{Attenuazione}$
VSP (Vertical Seismic Profile)	Riflessioni profonde

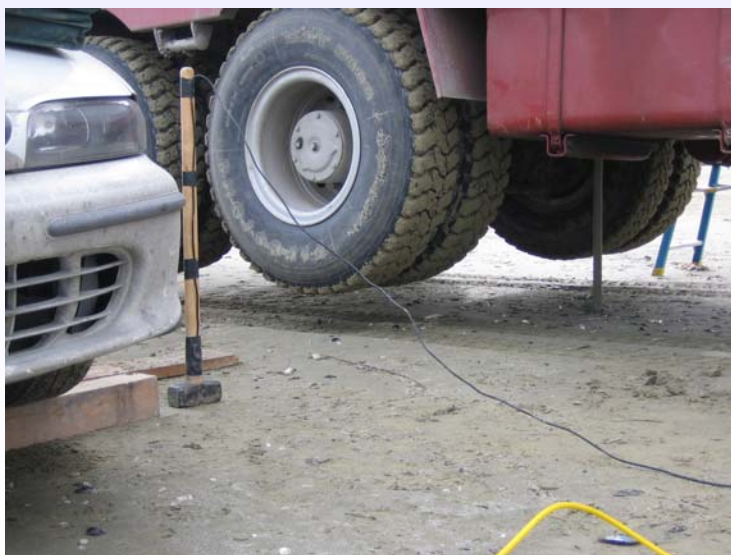


TECNOLOGIE DI MISURA IN SITO

Sismica dalla superficie



Strumentazioni per prove in foro



Cono sismico

Seis Monitor Mark GS-1 (1 Hz)



Misura rumore sismico



PROCESSING INDAGINI SISMICHE APPROCCIO METODOLOGICO

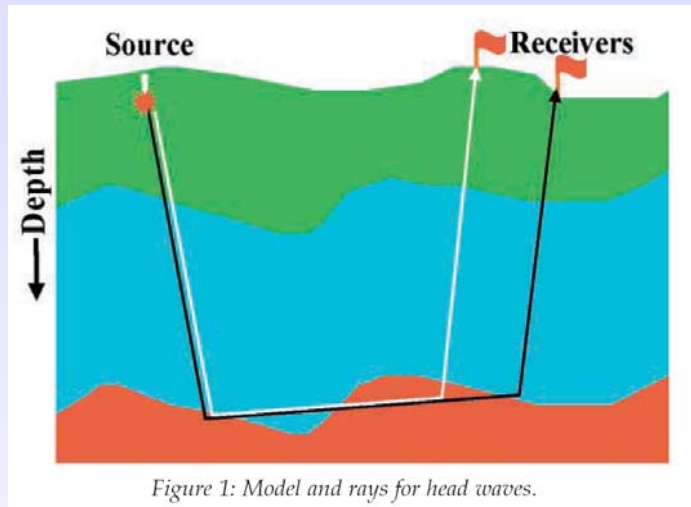
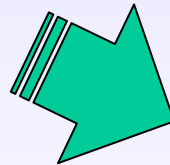


Figure 1: Model and rays for head waves.

Elaborazione Tradizionale

L'elaborazione della sismica a rifrazione tradizionale richiede modelli di calcolo semplificati come ad esempio velocità costante degli strati, anisotropie di velocità laterali ridotte, spessori degli strati crescenti vs profondità, gradiente di velocità crescente in profondità.

La rifrazione totale avviene sulla superficie del rifrattore secondo l'angolo limite il quale è funzione delle velocità degli strati.



Elaborazione Tomografica

La rifrazione tomografica è stata sviluppata per risolvere i gradienti di velocità, le anisotropie verticali rapide operando, con elementi finiti o distinti, nella definizione di un modello del terreno il più verosimile e completo.

Le traiettorie dei raggi sismici sono curvilinee il cui andamento è determinato da un processo iterativo di affinamento del sistema tempo di percorrenza-velocità.

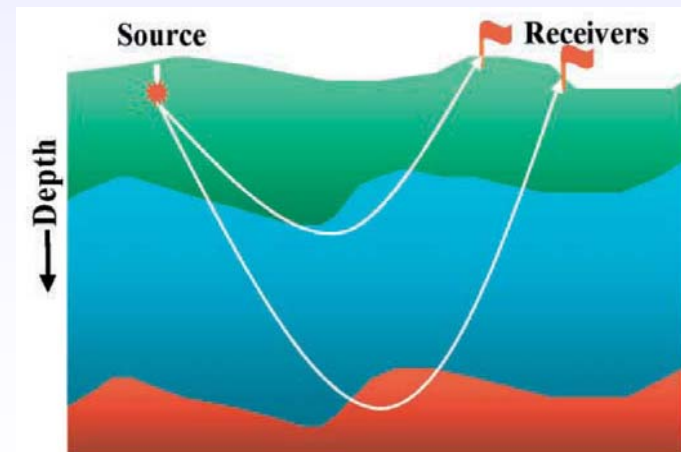


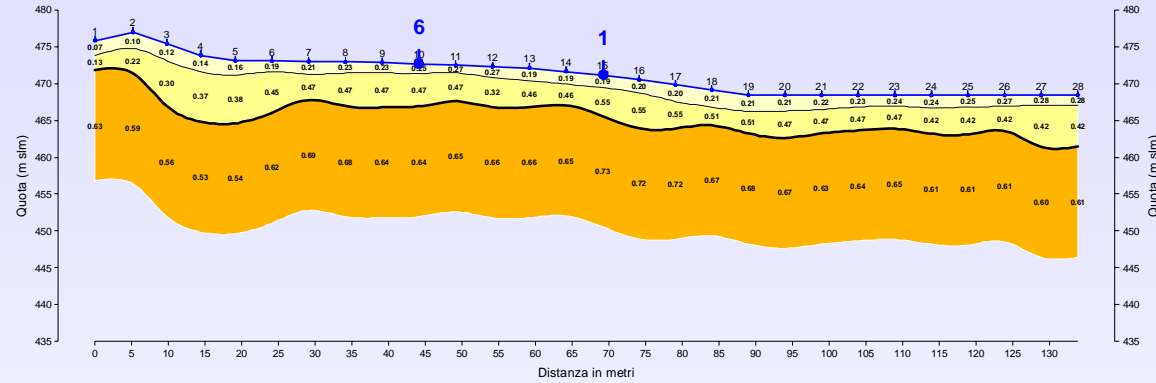
Figure 2: Model and rays for diving waves.



SISMICA A RIFRAZIONE E SISMICA TOMOGRAFICA

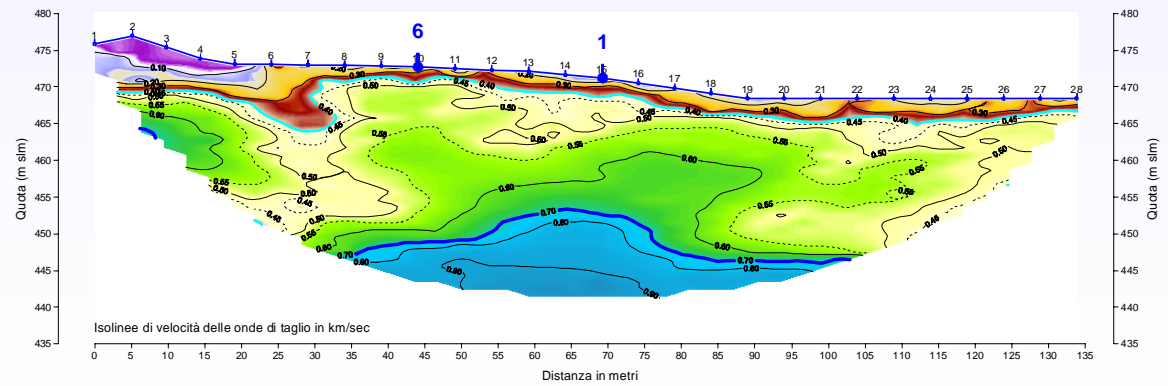
Processing tradizionale - GRM

SEZIONE SISMICA 3S
[Velocità onde di taglio km/sec]



Processing Tomografico

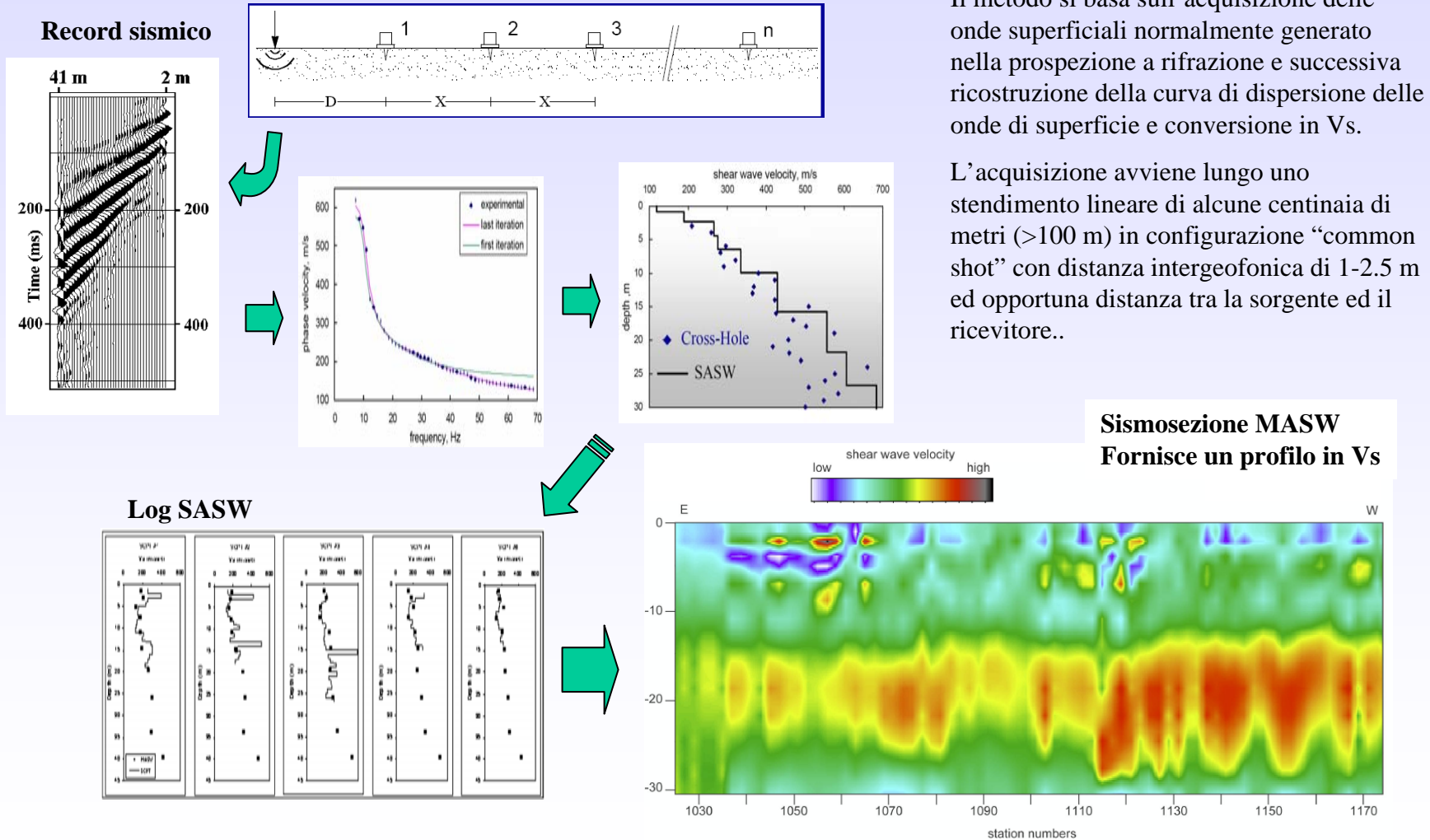
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 3
[Velocità onde di taglio km/sec]



MASW

Si utilizzano sensori con frequenza naturale < 4.5 Hz

Metodologia di analisi delle onde superficiali



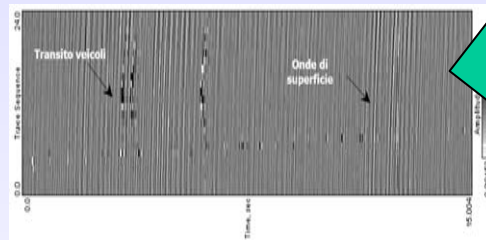
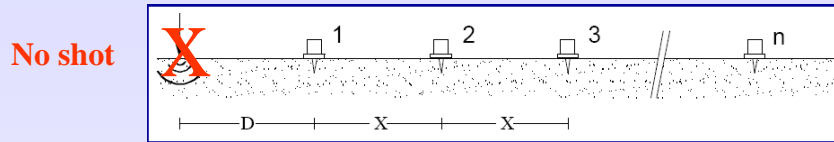
Il metodo si basa sull'acquisizione delle onde superficiali normalmente generato nella prospezione a rifrazione e successiva ricostruzione della curva di dispersione delle onde di superficie e conversione in Vs.

L'acquisizione avviene lungo uno stendimento lineare di alcune centinaia di metri (>100 m) in configurazione "common shot" con distanza intergeofonica di 1-2.5 m ed opportuna distanza tra la sorgente ed il ricevitore..



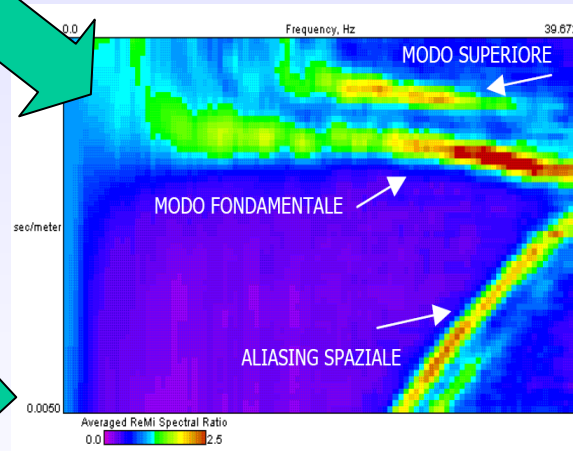
RE.MI. – REFRACTION MICROTREMOR

Metodologia di analisi del noise ambientale

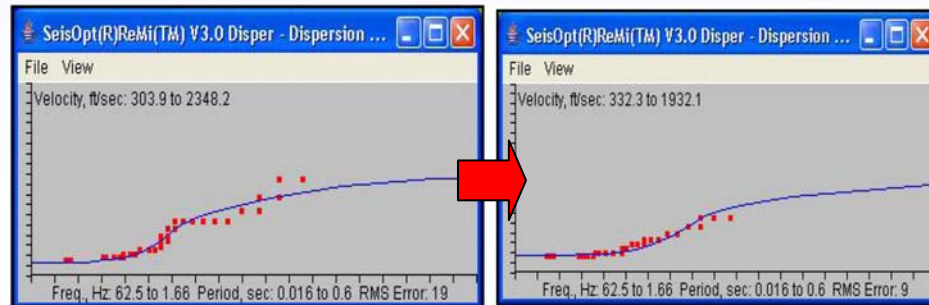


Si utilizzano sensori con frequenza naturale < 4.5 Hz

Curva di dispersione



Fit dati



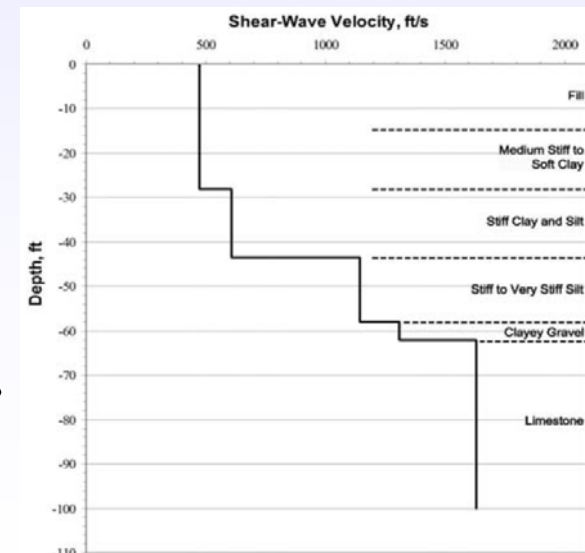
Sismica a bassa risoluzione

Il rumore sismico è principalmente costituito da onde di superficie ed è di origine naturale ed antropica e si suppone essere isotropo.

In presenza di sorgenti di rumore può essere caratterizzato da una direzione preferenziale di propagazione che può essere o meno in linea con lo stendimento di misura.

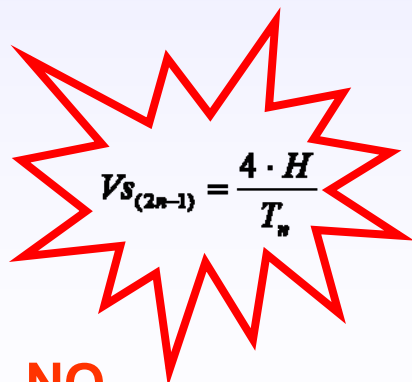
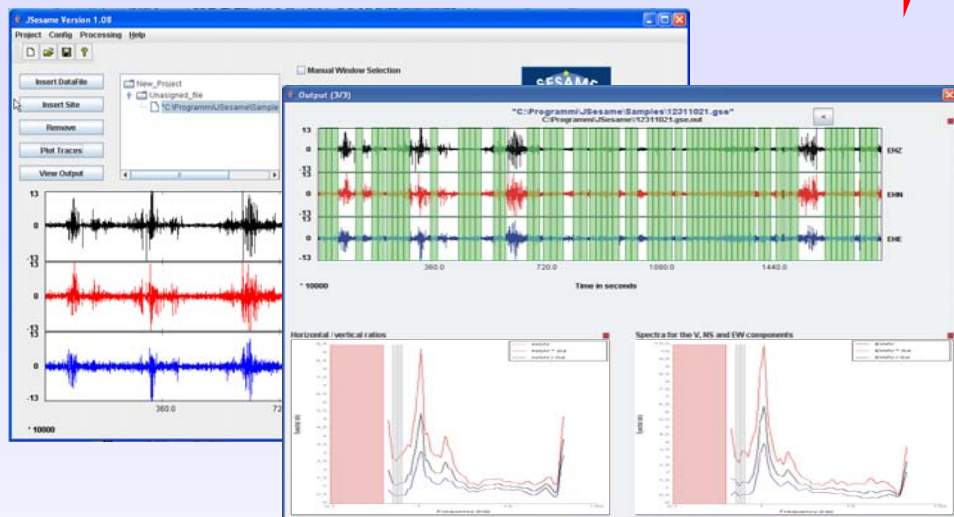
L'acquisizione deve prevedere almeno due stendimenti tra loro ortogonali.

Log REMI



HVSR - NAKAMURA

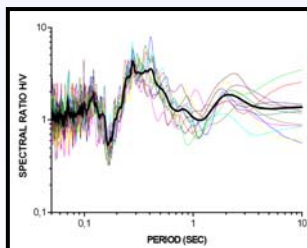
(SOLO per l'analisi della frequenza di risonanza)



NO

Il suolo non è né monodimensionale né isotropo !!

Occorrono svariate misure per una caratterizzazione HVSR del sito



Risultati adeguati per integrare l'analisi della RSL di secondo livello e terzo livello per una caratterizzazione areale del sito

Metodologia semplice ed economica, a bassa risoluzione, che permette di riconoscere le frequenze fondamentali e di risonanza del suolo attraverso un campionamento del rumore sismico di fondo (30 minuti).

Può dare indicazioni sulla origine lito-stratigrafica dei suoli e sulla morfologia sepolta.

Non permette di ricavare un log in Vs né la Vs media

Il metodo non è in grado di tenere conto di comportamenti non lineari o fragili dei terreni fornisce una risposta nel solo campo elastico.

Esiste, per una caratterizzazione areale, la difficoltà di scegliere il sito "giusto" di riferimento per cui occorrono sempre numerose prove in orari diversi con ripetizione delle prove e tempi di acquisizione abbastanza lunghi.

Il metodo si basa sui seguenti assiomi:

La componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione;

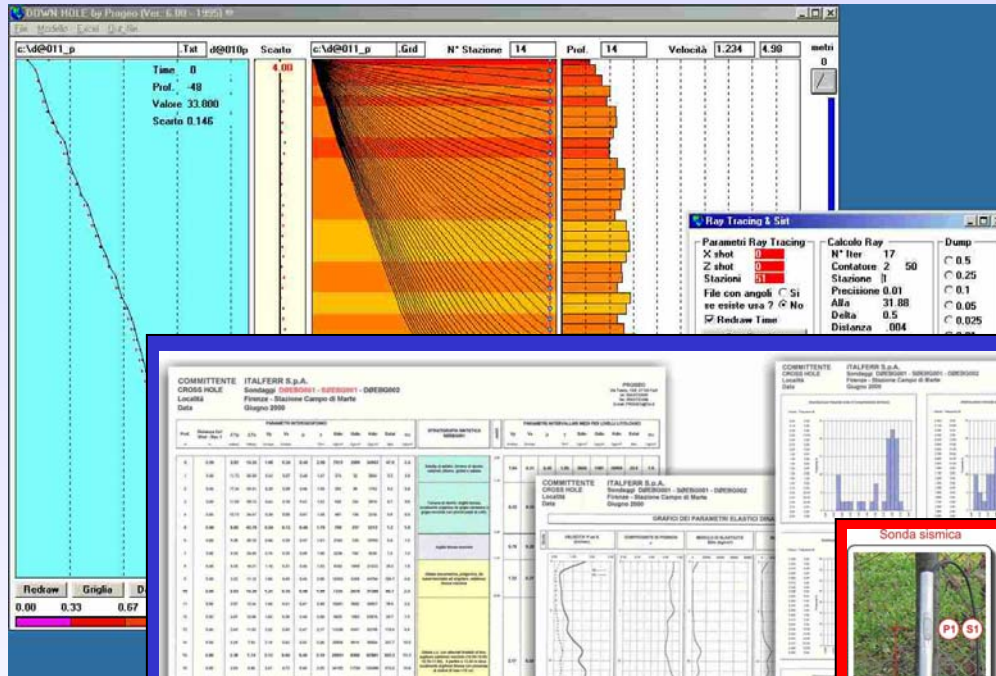
Al bedrock il rapporto tra la componente verticale e quella orizzontale del moto è prossimo all'unità;

Il rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale del moto fornisce un fattore di amplificazione e il periodo proprio dei depositi;

In generale è necessario effettuare la media di quanti più eventi possibile; in questo modo si può inoltre valutare l'effetto di più sorgenti di rumore tra loro combinate, superando il problema di una loro eventuale accentuata localizzazione.



DOWN HOLE – CROSS HOLE – CONO SISMICO



Esempi di certificati

E' una misura che viene realizzata in foro e permette una completa caratterizzazione elastica dei materiali ad alta risoluzione

E' possibile ricavare per piccoli intervalli i seguenti parametri elastici:

- Velocità onde di compressione e taglio;
- Moduli di Attenuazione;
- Costanti elastiche (E, G, K, Poisson, Lamè).



Sonda sismica

PROVA PENETROMETRICA SISMICA

La prova penetrometrica con cono sismico è una tecnica rapida ed affidabile per determinare le velocità sismiche in situ. Viene effettuata a seguito di una prova penetrometrica statica per caratterizzare il sito anche dal punto di vista dinamico. Il metodo sismico della prova consiste nel misurare i tempi di percorrenza delle onde sismiche che si propagano fra una sorgente dell'onda posizionata sulla superficie del suolo e due serie di geofoni inseriti entro la punta sismica. Il treno di onde sismiche polarizzato contiene onde di taglio (SH) e onde di compressione (P). I valori di velocità si calcolano per differenza fra i tempi rilevati dai sensori del primo e del secondo gruppo interspaziati di 1 metro. La conoscenza della velocità sismica consente di ottenere indicazioni sulle caratteristiche del suolo nel campo elastico e quindi a bassa deformazione quali i moduli di taglio G_v , il coefficiente di Poisson e il modulo di Elasticità e Compressibilità. Questi parametri sono fondamentali per valutare la risposta delle fondazioni soggette a carico dinamico, per gli studi di microzonazione sismica e per caratterizzare i terreni secondo la normativa P.C.M. n° 3274 del 2003. E' possibile effettuare inoltre correlazioni tra i dati sismici (Down Hole) e quelli geotecnici, ottenuti dalle prove penetrometriche statiche (C.P.T.E. - C.P.T.U.).

Esempio di record sismico

Esempio di tabella di output

Profondità (m)	V _{SH} (m/s)	V _P (m/s)	G _v (MPa)	ν	E (MPa)	K (MPa)
0.00	1234	4321	10000	0.25	100000	100000
0.33	1200	4200	9000	0.25	90000	90000
0.67	1150	4000	8000	0.25	80000	80000

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SUOLO

ν_s = 225
G_v = 10113
CATEGORIA SUOLO = C



DOWN HOLE – CONO SISMICO – CROSS HOLE

Down Hole – Cono sismico

I rilievi consistono nella misura dei tempi di percorso che le onde elastiche (P ed S), generate in un punto in superficie vicino alla bocca-foro impiegano per raggiungere uno o più geofoni posti nel foro a profondità diverse.

La misura dei tempi di percorso è effettuata mediante un'apparecchiatura di acquisizione di segnali sismici digitale, adottando di norma la tecnica di "averaging" dei segnali rilevati per aumentare il rapporto segnale/rumore. Il geofono nel foro è spostato tra una misura e l'altra di una quantità fissa, compresa di norma tra 1 m e 4 m.

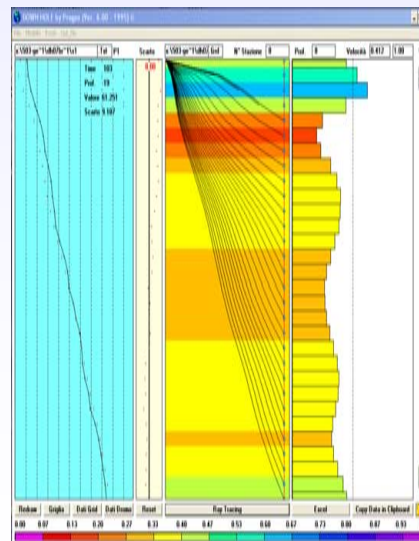
Note le distanze ed i tempi sono quindi calcolate le velocità medie o d'intervallo delle onde P e delle onde S. I risultati sono quindi rappresentati sotto forma di diagrammi delle velocità in funzione della profondità.

L'esecuzione dei rilievi down-hole viene di norma eseguita in fori provvisti di una tubazione di rivestimento in PVC che deve essere cementata con continuità ai materiali circostanti; infatti il geofono calato nel foro è vincolato al casing e tramite questo riceve le sollecitazioni trasmesse dal terreno.

Sonda 3D



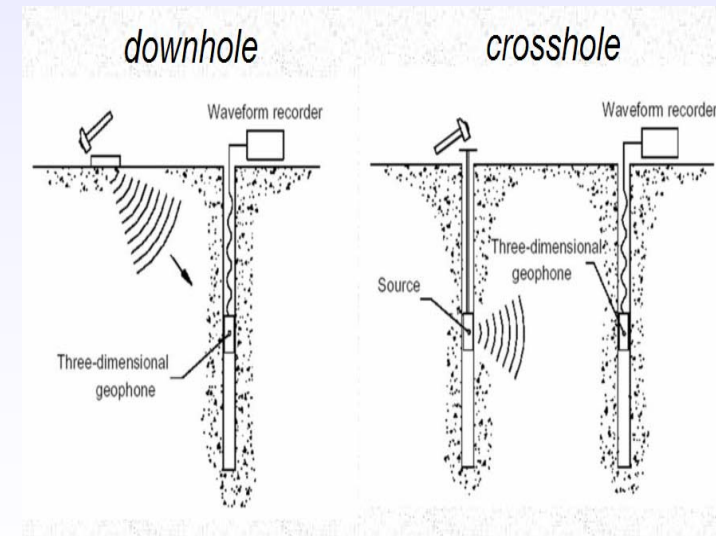
Processing



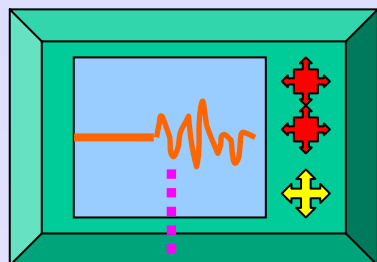
Cross Hole

Per effettuare la caratterizzazione di terreni, finalizzata alla determinazione dei profili di velocità delle onde di taglio (onde SHV e SHH) e di compressione (onde P) ed ottenere quindi i moduli elastico-dinamici degli strati attraversati dalla perforazione, si adotta il metodo del cross-hole.

La prova viene eseguita in conformità con lo standard ASTM D 4428-M, utilizzando due o tre perforazioni appositamente predisposte.



Sismografo



Crosshole

ASTM D 4428

Pompa

Δt

Velocità onde di taglio:

$$V_s = \Delta x / \Delta t$$

Martello da pozzo (Sorgente)

Profondità di misura

packer

Geofono tridirezionale (Ricevitore)

Δx

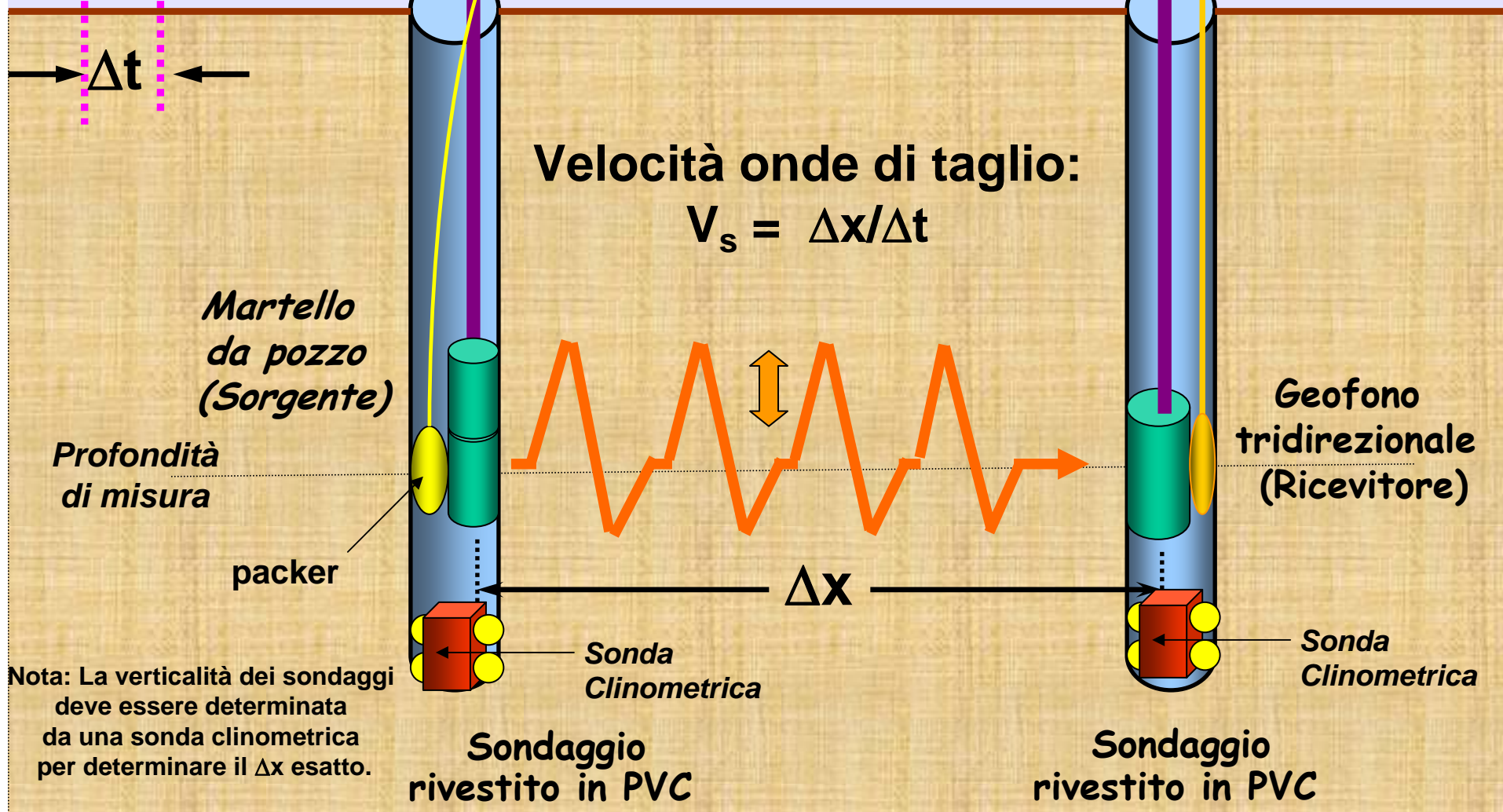
Sonda Clinometrica

Sonda Clinometrica

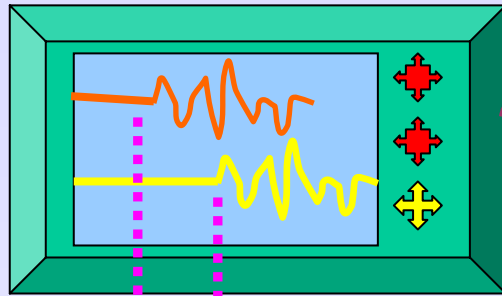
Nota: La verticalità dei sondaggi deve essere determinata da una sonda clinometrica per determinare il Δx esatto.

Sondaggio rivestito in PVC

Sondaggio rivestito in PVC



sismografo



pompa



Downhole

Tavola con carico assiale



Δt

z_1

z_2

martello



packer

Geofoni orizzontali

intervallo di profondità

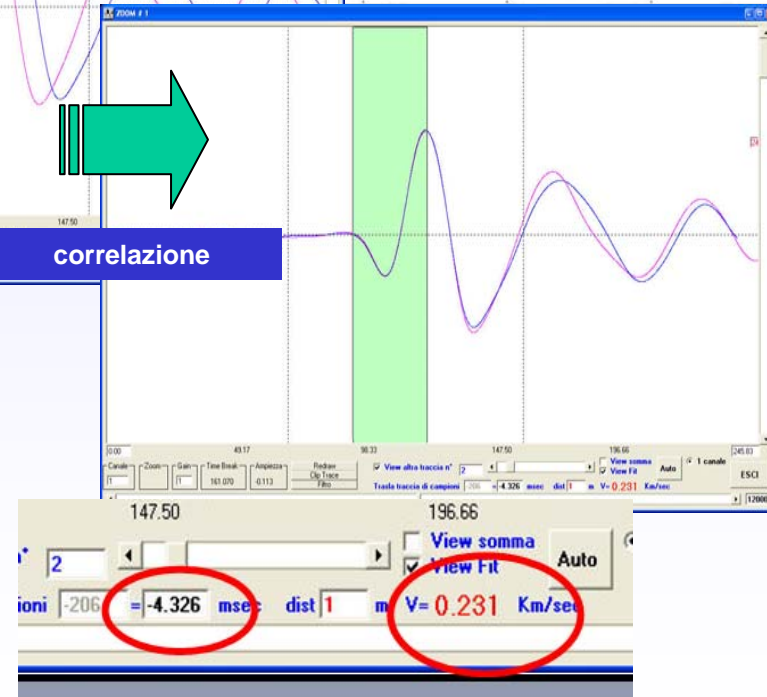
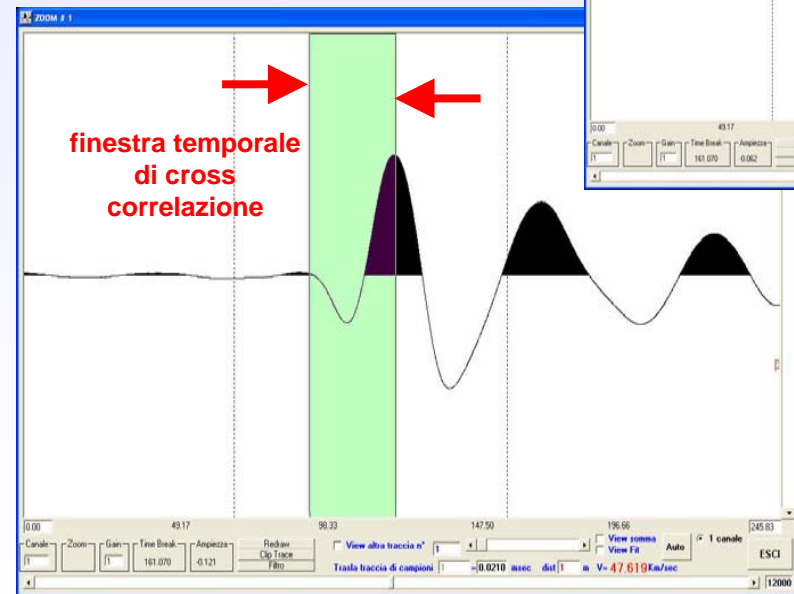
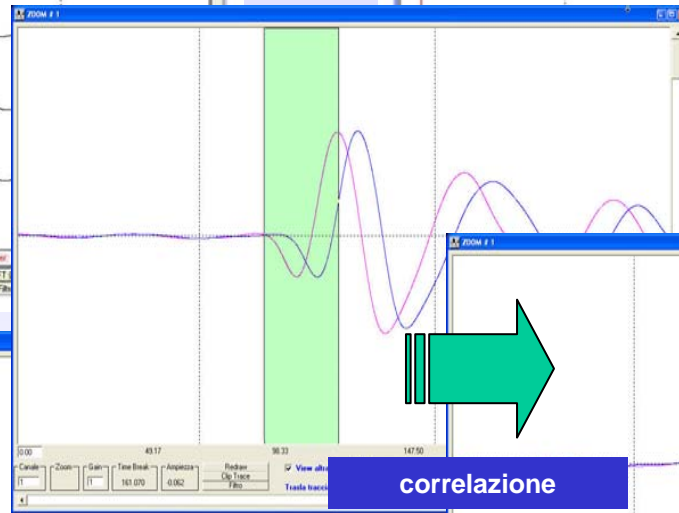
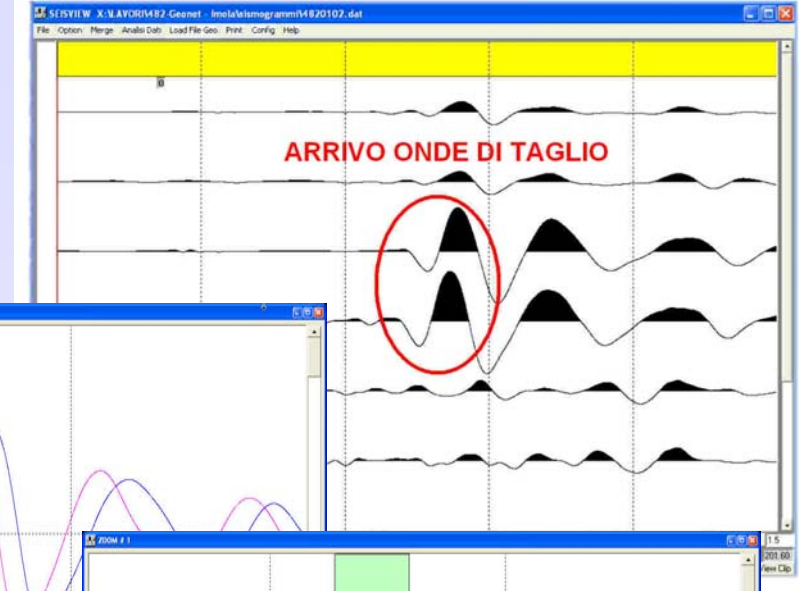
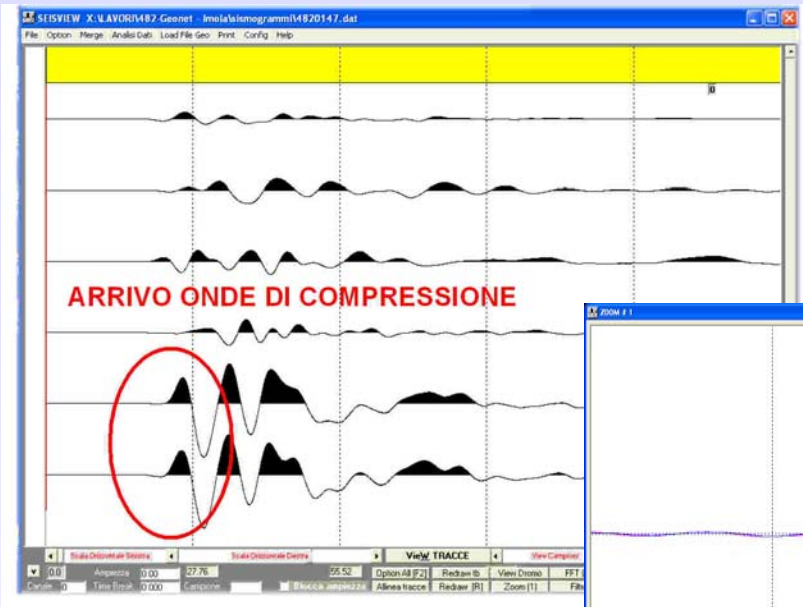
Velocità onde di taglio:
 $V_s = \Delta R / \Delta t$

$$R_1^2 = z_1^2 + x^2$$

$$R_2^2 = z_2^2 + x^2$$

sondaggio rivestito





Cono sismico



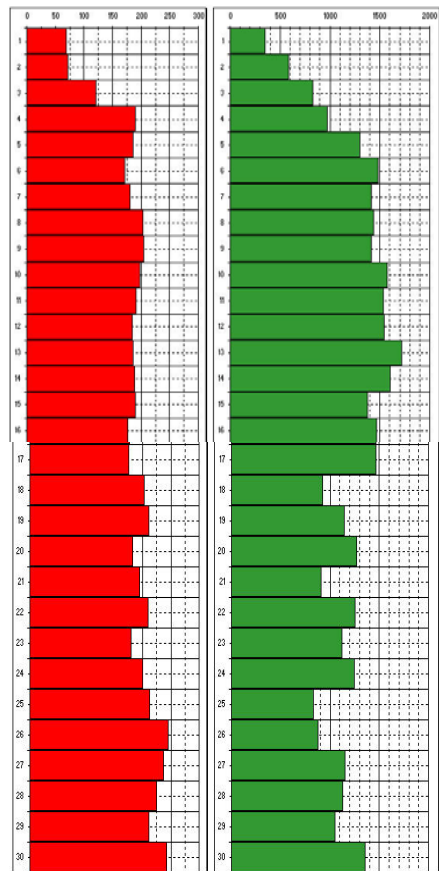
COMMITTENTE	Provincia Rn
CONO SISMICO	CPTU n°24
Località	Bellaria
Data acquisizione	06/02/06



Profondità	Vp	Vs	ν	γ	E _{din}	G _{din}	K _{din}
m/sec.	m/sec.		T/m²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	

Profondità	Vp	Vs	ν	γ	E _{din}	G _{din}	K _{din}
m/sec.	m/sec.		T/m²	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²	
0							
1	346	69	0.48	1.55	224	76	1794
2	585	72	0.49	1.71	270	91	5841
3	828	120	0.49	1.83	806	271	12429
4	974	189	0.48	1.89	2038	688	17303
5	1303	185	0.49	1.99	2076	697	33533
6	1484	171	0.49	2.04	1818	609	45056
7	1412	180	0.49	2.02	1992	668	40253
8	1441	204	0.49	2.03	2559	859	41843
9	1413	205	0.49	2.02	2572	864	40042
10	1575	198	0.49	2.07	2456	823	51127
11	1534	192	0.49	2.06	2297	770	48247
12	1542	185	0.49	2.06	2144	718	48920
13	1721	186	0.49	2.10	2211	740	62435
14	1608	189	0.49	2.07	2249	753	53639
15	1375	189	0.49	2.01	2192	735	37823
16	1454	177	0.49	2.04	1938	649	43667
17	1467	175	0.49	2.04	1903	637	43665
18	922	203	0.47	1.87	2304	781	15125
19	1148	211	0.48	1.95	2621	884	24971
20	1274	183	0.49	1.98	2011	675	31922
21	907	194	0.48	1.86	2110	715	14657
22	1255	210	0.49	1.98	2639	888	30591
23	1125	179	0.49	1.94	1882	633	24160
24	1244	200	0.49	1.98	2383	801	30107
25	830	212	0.47	1.83	2459	839	11725
26	877	245	0.46	1.85	3303	1133	12963
27	1155	237	0.48	1.95	3290	1113	24999
28	1128	225	0.48	1.94	2948	996	23815
29	1053	211	0.48	1.91	2560	865	20480
30	1354	242	0.48	2.01	3552	1197	35942

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO	VELOCITA' ONDE DI COMPRESIONE
m/sec	m/sec

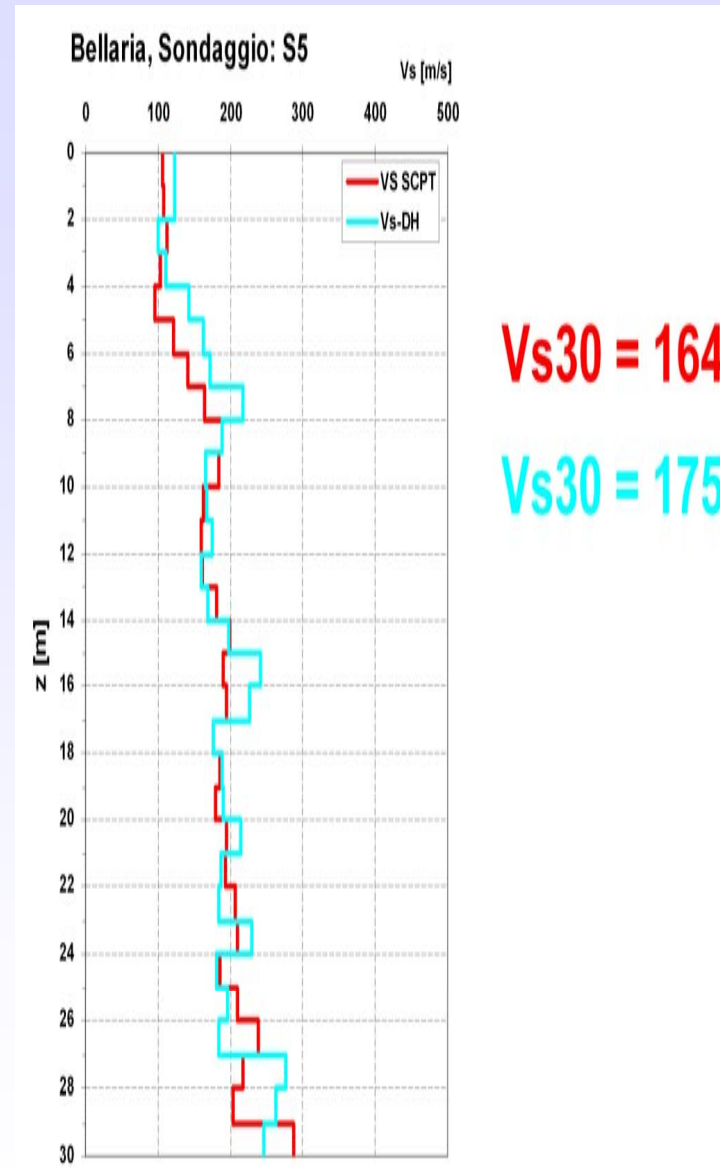


Legenda parametri dinamici			
Tp	Tempi onde di compressione	millisecondi	γ Poco di volume T/m²
Ts	Tempi onde di taglio	millisecondi	E _{din} Modulo di Elasticità dinamico Kg/cm²
Vp	Velocità onde di compressione	m/sec	G _{din} Modulo di Taglio dinamico Kg/cm²
Vs	Velocità onde di taglio	m/sec	K _{din} Modulo di Compressione dinamico Kg/cm²
ν	Coefficiente di Poisson	-	

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003)

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

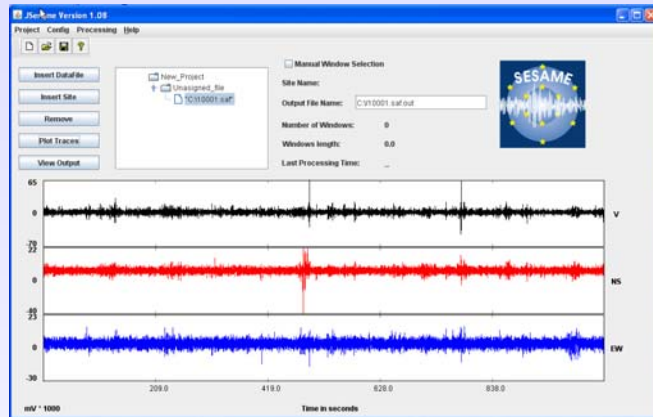
$Vs_{30} = 173$ m/sec
 $G_n = 595$ Kg/cm²
CATEGORIA SUOLO = D



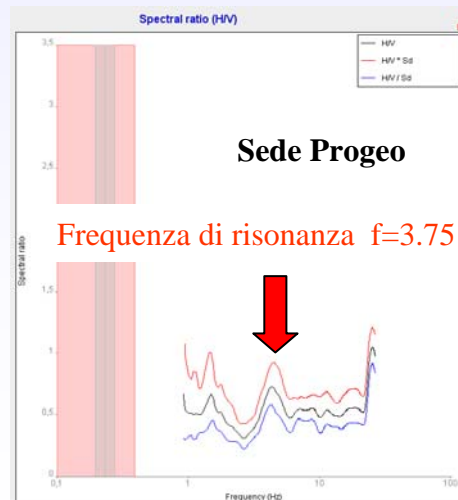
HVSR – ANALISI RUMORE SISMICO (NAKAMURA)

Metodologia di analisi del noise ambientale

Misura noise sede Progeo (30 minuti)



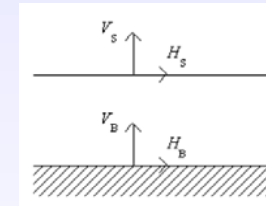
Si utilizzano sensori
con frequenza
naturale < 1-2 Hz



Seis Monitor Mark GS-1 (1 Hz)



Nella sua formulazione originaria, tale metodologia assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato sofficie su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento. Nel dominio della frequenza, 4 sono gli spettri coinvolti: le componenti orizzontali e verticali del moto in superficie (HS e VS) e alla base dello strato (HB e VB).



Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

• i microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde il cui contributo viene trascurato;

• le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base;

• la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale.



TECNOLOGIE SISMICHE

APPLICAZIONI



NORME TECNICHE E MICROZONAZIONE SISMICA – INDAGINI DI FASE 2 E 3

SISMICA PASSIVA

Bassa risoluzione

Indagini RE. MI. (REfraction MIcrotremor);
HVSr (Metodologia NAKAMURA – NO Vs)

Su che base scegliere il
tipo di indagine
sismica ?

- 1) Analisi del sito
- 2) Anisotropia del sito
- 3) Metodologia di analisi
- 4) Problema del log sismico

INDAGINI SISMICHE

SISMICA ATTIVA

Alta risoluzione

Misure tra fori Cross Hole;
Misure in foro Down Hole;
Misure di Cono Sismico;

Media risoluzione

Indagini sismiche tomografiche ad onde di taglio;
Indagini elettriche tomografiche utili alla
ricostruzione geolitologica;

Bassa risoluzione

Indagini sismiche con elaborazione tradizionale ad
onde di taglio;
SASW, MASW;

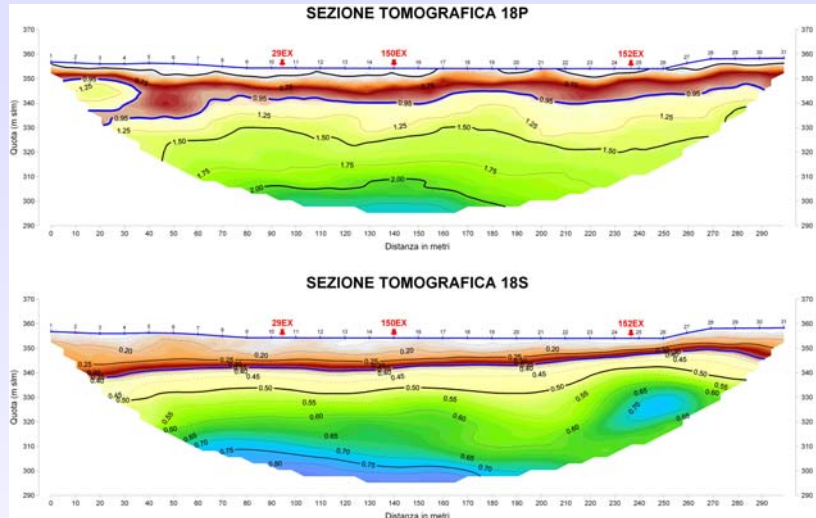
Obiettivi per le indagini sismiche per lo studio della RSL

- Geometria dei terreni;
- Geometria del bedrock;
- Velocità delle onde di taglio Vs – profilo Vs del suolo;
- Modulo di Taglio Go – profilo Go del suolo;
- Modulo di Elasticità dinamico Eo (non sempre necessario);
- Analisi dell'anisotropia
- Rigidità sismica;
- Frequenza e periodo fondamentale del suolo;



VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

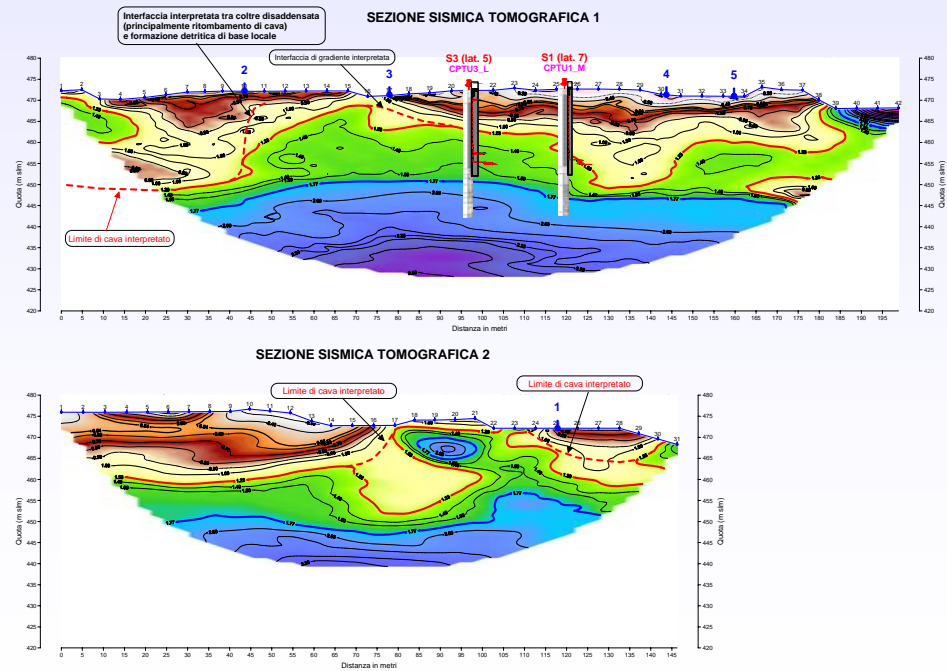
SITO SEMPLICE



Cantiere in Romania per nuova sede ferroviaria

ANALISI DEL SITO

SITO COMPLESSO

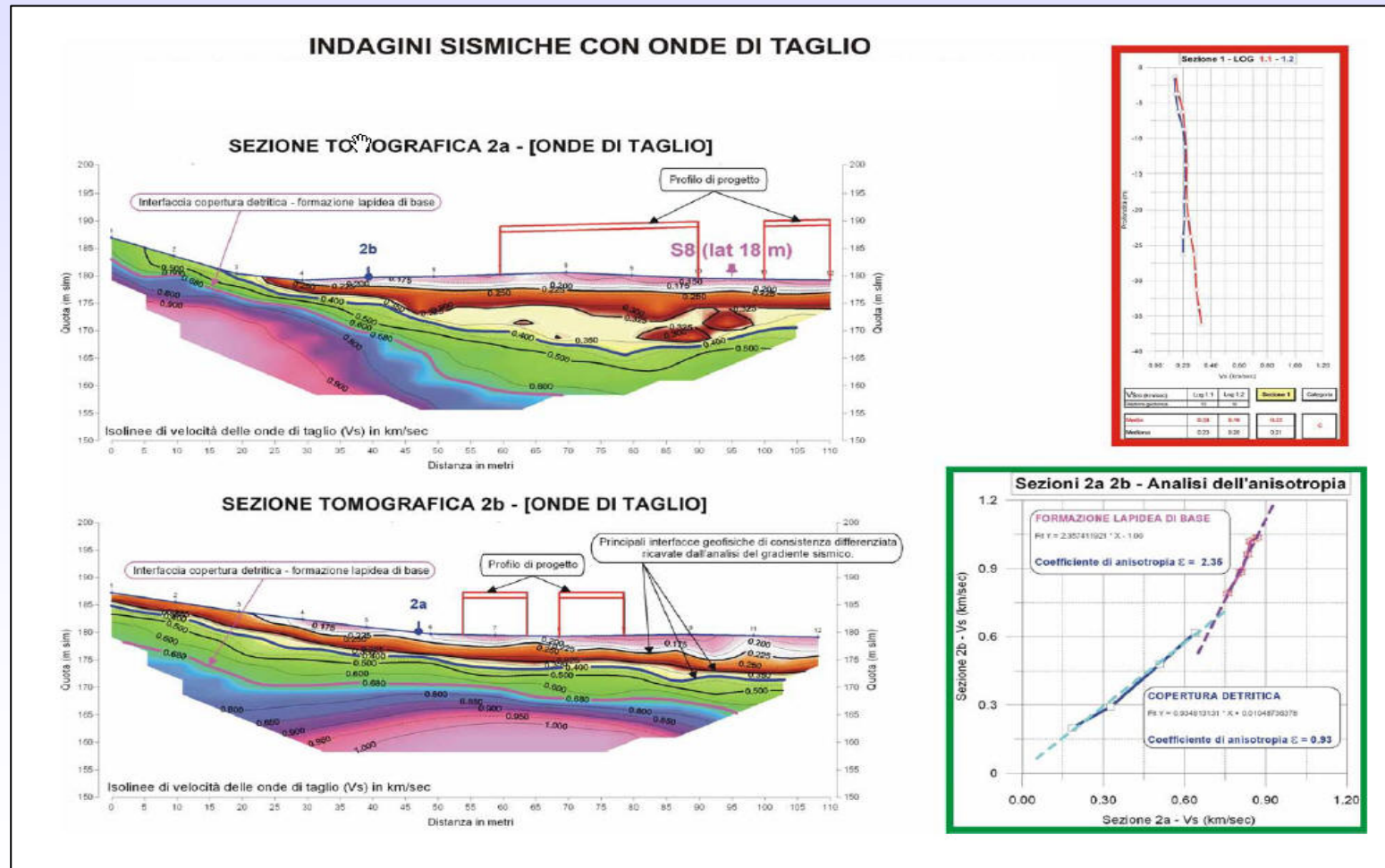


Cantiere in Italia per costruzione di nuova casa circondariale



VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

ANISOTROPIA DEL SITO

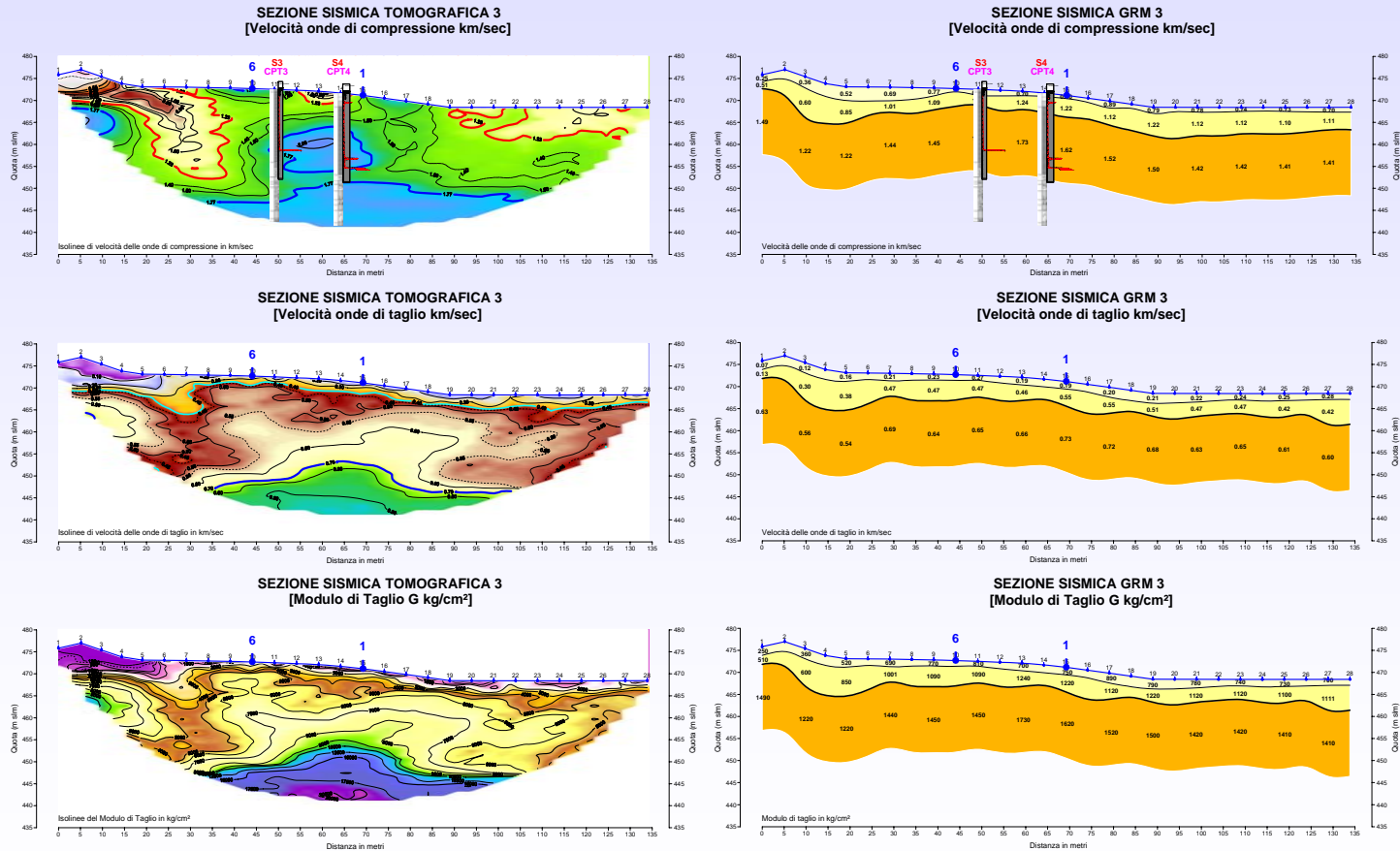


VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

METODOLOGIA DI ANALISI

ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

ELABORAZIONE TRADIZIONALE GRM



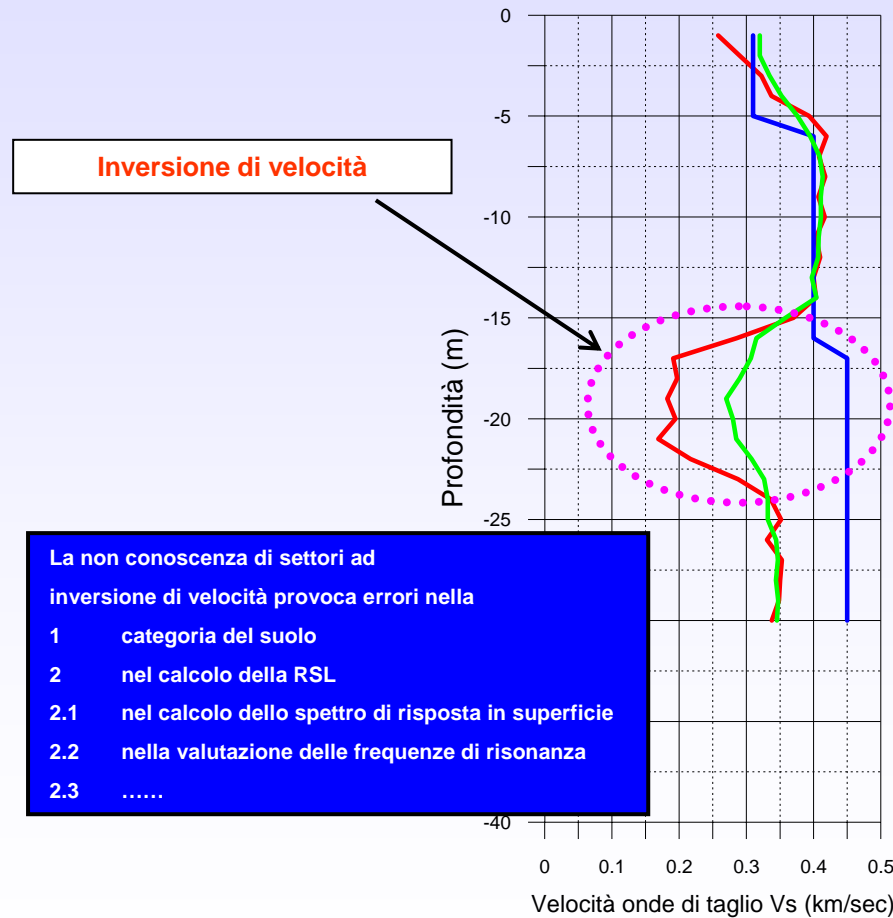
Cantiere in Italia in zona di ritombamento di cava



VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

PROBLEMA DEL LOG SISMICO

LOG SISMICO S1



0-5	Sabbia fine (0.25 mm) con non più del 5% di argilla. Presenta un certo numero di sabbie.
5-10	Sabbia limosa (massima frazione galeata) presente. Ghiaia sabbiosa e ciottoli, sabbie fini, limo, argilla, moderatamente addensata, non plastica.
10-15	Sabbia media fine limosa (massima frazione di ghiaia). Uniforme, umida, moderatamente addensata, non plastica.
15-20	Sabbia media fine limosa grigia. Uniforme. Presenti livelli centimetrici debolmente argillosi e tratti centimetrici nerastri dovuti a probabile apporto di materiale vulcanico. Da 0.50 m molto addensata.
20-25	Sabbia, non plastica. Presente tenso ghiaia calcarea (fino a 0.5 m).
25-30	Sabbia media fine limosa grigia. La ghiaia è di natura calcarea, rotonda, di forma sub-sferica (fino a 2 cm). La frazione sabbiosa tende a divenire fine verso il basso stratigrafico.
30-35	Sabbia, addensata, non plastica. Presenti interstratificazioni dello spessore centimetrico in cui la percentuale della sabbia passa a medio grana.
35-40	Visibili laminationi nerastre dovute a probabile apporto di materiale vulcanico.
40-45	Argilla argillosa sabbiosa grigia, con percentuali calcaree elevate. Umida, arginosa, plastica.
45-50	Argilla di sabbia fine limosa debolmente argillosa con tratti nerastri di tipo argilloso grigio. Sabbia, moderatamente addensata, debolmente plastica in fase sabbiosa.
50-55	Limo argilloso sabbioso grigio; presenti tratti decimetrici in cui prevale la frazione sabbiosa.
55-60	Visibili nodi e frammenti sferulizzati.
60-65	Umido, da poco a moderatamente consistente, plastico.
65-70	La frazione sabbiosa diminuisce verso il basso stratigrafico.
70-75	Limo con argilla grigia; presenti laminationi sabbiose, aspetto securo.
75-80	Umido consistente, plastico.

SISTEMI DI CALCOLO BIDIMENSIONALI

ANALISI DA LOG DOWN HOLE

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(in Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14 Settembre 2005)

$$V_{S_{30}} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{S_{30}} = 301 \text{ m/sec}$$

$$G_0 = 1828 \text{ Kg/cm}^2$$

CATEGORIA SUOLO = **C**

ANALISI DA SEZIONE TOMOGRAFICA

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(in Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14 Settembre 2005)

$$V_{S_{30}} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{S_{30}} = 344 \text{ m/sec}$$

$$G_0 = 2394 \text{ Kg/cm}^2$$

CATEGORIA SUOLO = **C**

ANALISI DA SEZIONE SISMICA GRM

CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI
(in Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14 Settembre 2005)

$$V_{S_{30}} = \frac{H}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}} \quad V_{S_{30}} = 400 \text{ m/sec}$$

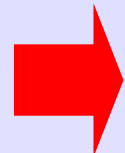
$$G_0 = 3233 \text{ Kg/cm}^2$$

CATEGORIA SUOLO = **B**



SISMICA ALTA RISOLUZIONE

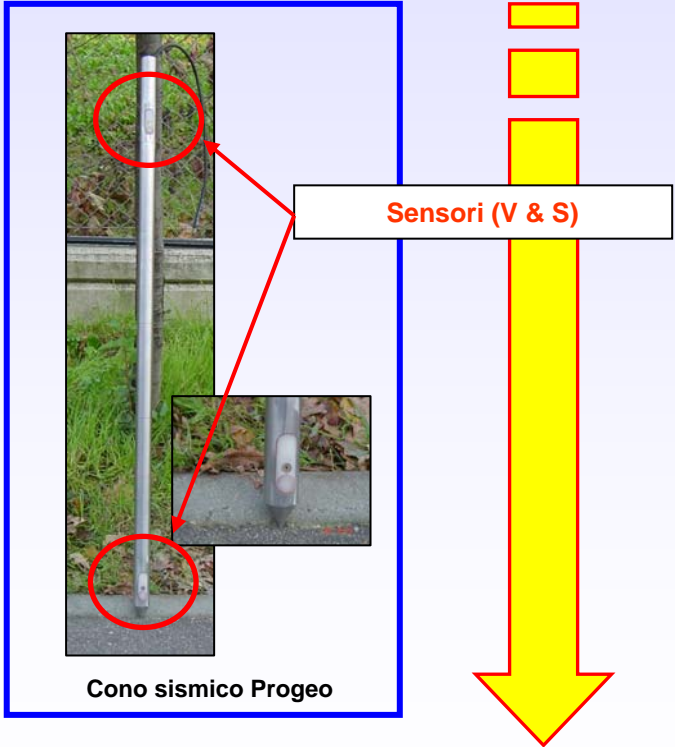
- Cross Hole
- Down Hole
- Cono sismico



DOWN HOLE		S 504	
Località		Maccarese (Roma)	
Data		Febbraio 2006	
PARAMETRI INTERGEOLOGICI			
Prof. (m)	Ta (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
0	1.00	1410	1770
1	4.21	1130	1410
2	5.79	1040	1280
3	8.00	1010	1240
4	7.48	1010	1240
5	7.74	1010	1240
6	7.40	1010	1240
7	8.40	1010	1240
8	9.79	1010	1240
9	10.10	1010	1240
10	11.10	1010	1240
11	12.07	1010	1240
12	13.04	1010	1240
13	14.00	1010	1240
14	14.91	1010	1240
15	15.14	1010	1240
16	16.17	1010	1240
17	16.80	1010	1240
18	18.03	1010	1240
19	18.00	1010	1240
20	18.84	1010	1240
21	19.76	1010	1240
22	20.81	1010	1240
23	21.00	1010	1240
24	21.00	1010	1240
25	24.10	1010	1240
26	25.30	1010	1240
27	26.00	1010	1240
28	26.74	1010	1240
29	26.74	1010	1240
30	27.00	1010	1240
31	27.76	1010	1240
32	28.71	1010	1240
33	29.34	1010	1240
34	29.34	1010	1240
35	29.62	1010	1240
36	29.75	1010	1240
37	30.27	1010	1240
38	30.80	1010	1240
39	31.00	1010	1240
40	34.10	1010	1240

COMMITTENTE		PERIGEO	
CONO SISMICO		SPTU n° 1	
Località		Ravenna Cabot	
Data acquisizione		12/12/06	
Profondità (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	γ (kg/m³)
0	290	510	1.85
1	510	640	1.85
2	510	640	1.85
3	510	640	1.85
4	510	640	1.85
5	510	640	1.85
6	510	640	1.85
7	510	640	1.85
8	510	640	1.85
9	510	640	1.85
10	510	640	1.85
11	510	640	1.85
12	510	640	1.85
13	510	640	1.85
14	510	640	1.85
15	510	640	1.85
16	510	640	1.85
17	510	640	1.85
18	510	640	1.85
19	510	640	1.85
20	510	640	1.85
21	510	640	1.85
22	510	640	1.85
23	510	640	1.85
24	510	640	1.85
25	510	640	1.85
26	510	640	1.85
27	510	640	1.85
28	510	640	1.85
29	510	640	1.85
30	510	640	1.85
31	510	640	1.85
32	510	640	1.85
33	510	640	1.85
34	510	640	1.85
35	510	640	1.85

- Misura puntuale
- Risoluzione log sismico anche sub metrica
- Possibilità di una analisi dell'anisotropia realizzando due prove con orientamenti differenti.
- E' in grado di fornire risultati adeguati in qualsiasi condizione geolitologica.
- Possibilità di realizzazione in ambiente urbano per traffico, presenza di sottoservizi, asfalto, rumore ambientale.
- Realizzazione di sondaggi o penetrometrie

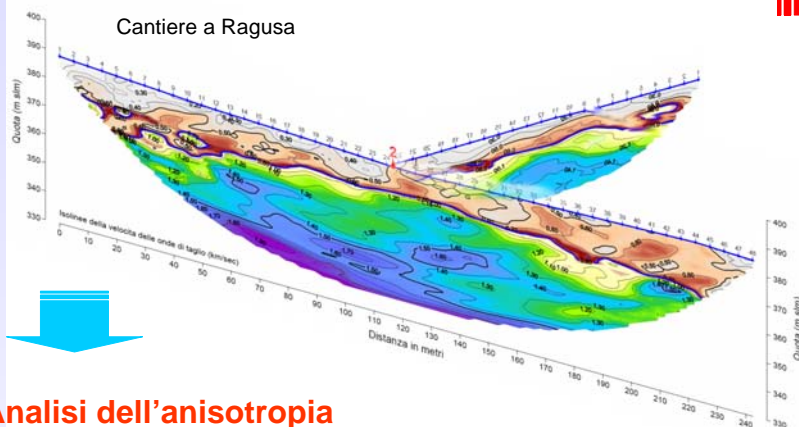


Risultati adeguati per l'analisi della RSL di secondo e terzo livello

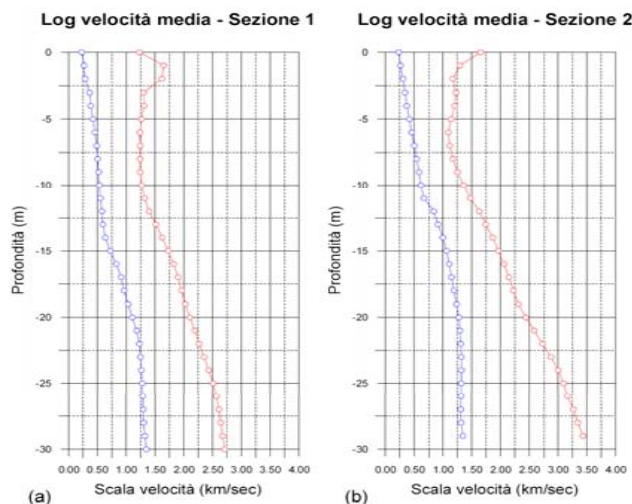


SISMICA MEDIA RISOLUZIONE

Indagini sismiche tomografiche ad onde di taglio



Analisi dell'anisotropia



Log parametri velocità medi ricavati sull'intera sezione

Velocità onde di compressione

Velocità onde di taglio

Acquisizione di una elevata quantità di dati

Elaborazione con software adeguato per rintracciare inversioni e geometrie affidabili.

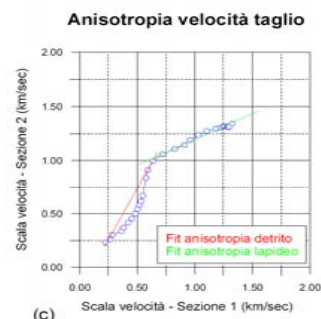
Log sismici con misura valori superiore a 1-2 metri.

Disponibilità di spazi per gli stendimenti di lunghezza minima di 150 m. (la profondità di indagine è circa 1/5 della lunghezza quindi per 30 m di profondità occorrono sezioni da 150 m).

Difficoltà di realizzazione in ambiente urbano per traffico, presenza di sottoservizi, asfalto, rumore ambientale.

E' in grado di fornire risultati adeguati in qualsiasi condizione geolitologica e topografica

Necessità di realizzare, a volte, due sezioni incrociate per valutare il grado di anisotropia del sito.



$$V_{s30} = 0.627 \text{ km/sec}$$

Risultati adeguati per l'analisi della RSL di secondo e terzo livello



SISMICA BASSA RISOLUZIONE

Indagini sismiche GRM ad onde di taglio;
SASW, MASW;



SISMICA PASSIVA PER ANALISI MICROTREMORI

Re.Mi. (fornisce LOG Vs)

HVSR – Nakamura (SOLO per l'analisi delle frequenze di risonanza)

Risultati adeguati per l'analisi della
RSL di secondo livello nei casi dove
non sono previste significative o
sono minime le



1) inversioni di velocità

2) anisotropie nei parametri elastici
dei suoli

3) effetti topografici.

Solo l'indagine sismica a rifrazione
può fornire indicazioni sulla
geometria dei suoli.

Acquisizione di una ridotta quantità di dati (mediamente 5 shot per sezione sismica a rifrazione o SASW [MASW]).

La sezione sismica porta ad una analisi bidimensionale mentre le misure SASW forniscono un log sismico a bassa risoluzione (max 2-3 strati) al centro della sezione.

Non c'è possibilità di localizzare inversioni.

Sia le SASW (misura attiva) sia le RE.MI. (misura passiva) operano su onde sismiche superficiali (ground roll – onde di Rayleigh) la cui inversione porta alle onde di taglio, di poco più veloci.

Si ottengono parametri medi di Vs a volte non validi per la presenza di parametri di impedenza molto elevati nelle misure SASW [MASW] e RE.MI.

Per le indagini di sismica attiva Rifrazione, SASW, MASW è necessario un ridotto rumore di fondo senza presenza di traffico.

Le misure SASW, MASW e RE.MI. sono meno attendibili se effettuate in presenza di asfalto in quanto questo opera filtrando le basse frequenze da analizzare.

Le misure SASW, MASW e RE.MI. rendono un log sismico in Vs al centro della stesa.

Acquisizione dati abbastanza speditiva in particolare per le misure di rumore sismico RE.MI. (30 minuti + il tempo per il posizionamento della sezione).

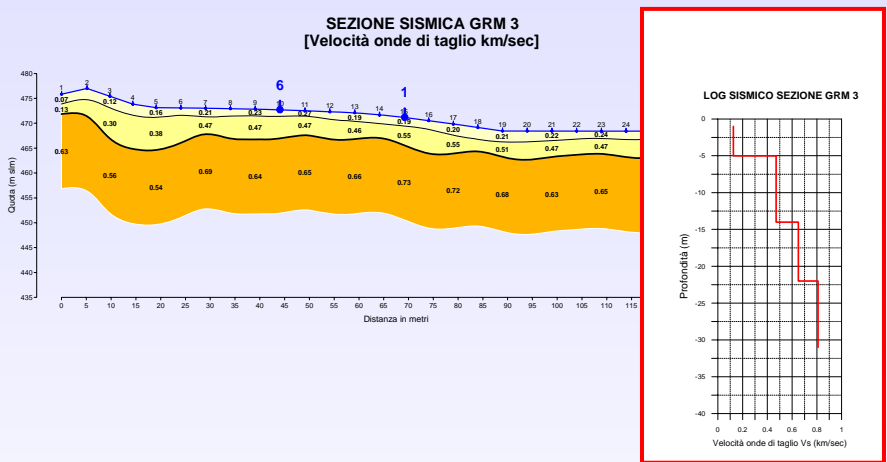


SISMICA BASSA RISOLUZIONE

SISMICA ATTIVA

GENERAZIONE ONDE DI TAGLIO

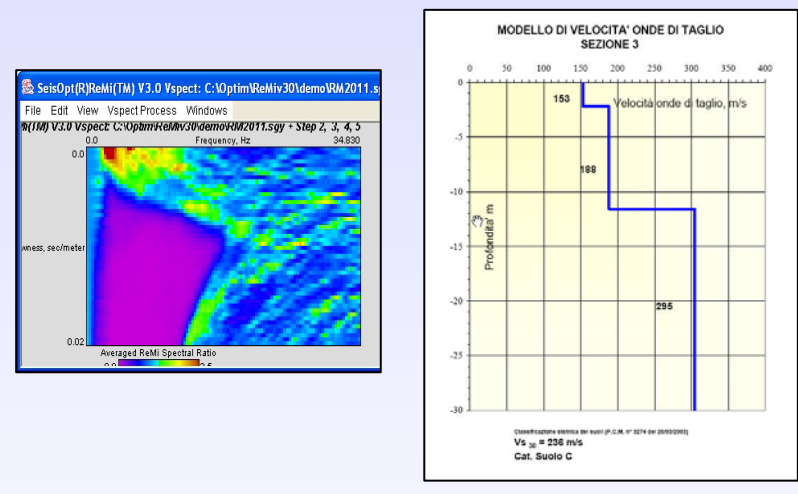
Indagini sismiche a rifrazione GRM ad onde di taglio;



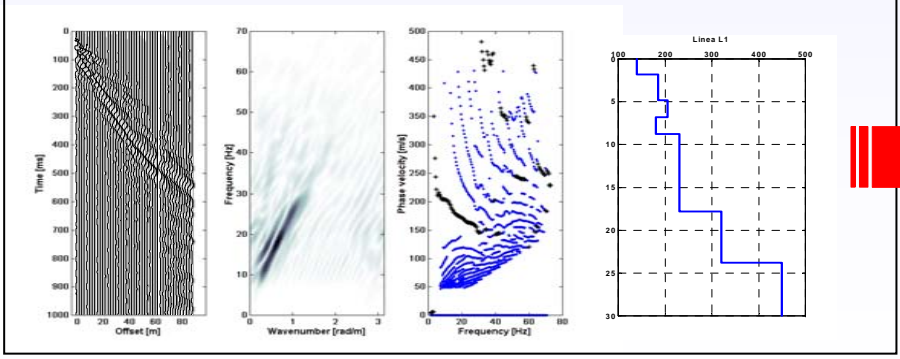
SISMICA PASSIVA

ANALISI MICROTREMORI (NOISE AMBIENTALE)

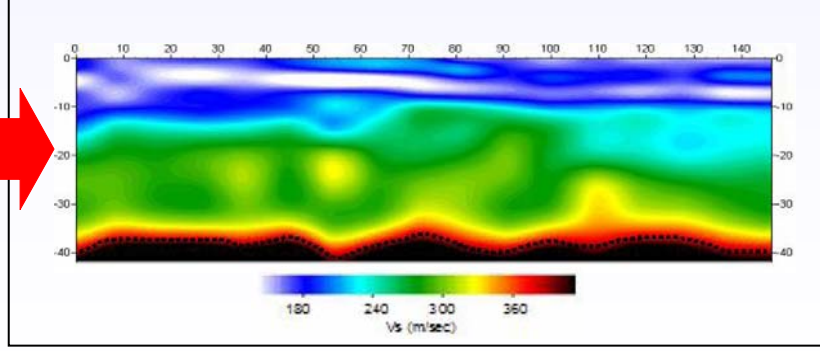
Re.Mi. (fornisce LOG Vs)



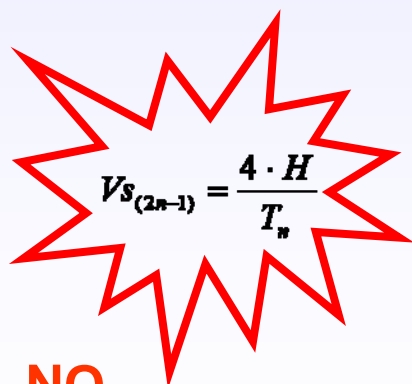
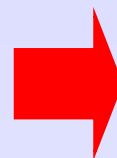
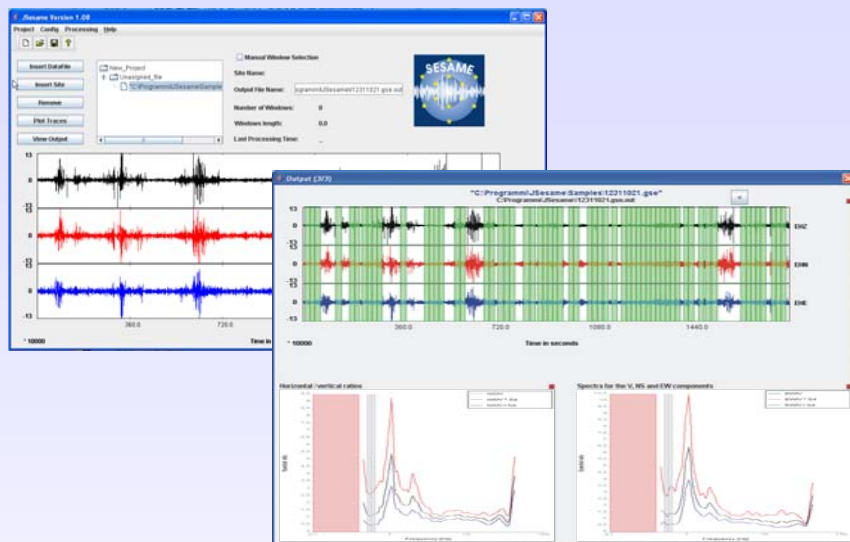
SASW con analisi delle onde di Rayleigh (fornisce LOG Vs)



+ SASW = MASW (interpolazione tra LOG Vs)



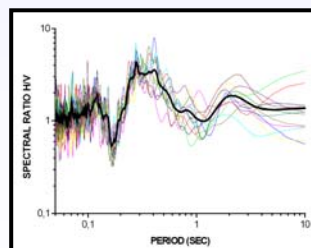
HVSR - NAKAMURA



NO

Il suolo non è né monodimensionale né isotropo !!

Occorrono svariate misure per una caratterizzazione HVSR del sito



Metodologia semplice ed economica, a bassa risoluzione, che permette di riconoscere le frequenze fondamentali e di risonanza del suolo attraverso un campionamento del rumore sismico di fondo (30 minuti).

Può dare indicazioni sulla origine lito-stratigrafica dei suoli e sulla morfologia sepolta.

Non permette di ricavare un log in Vs né la Vs media

Il metodo non è in grado di tenere conto di comportamenti non lineari o fragili dei terreni fornisce una risposta nel solo campo elastico.

Esiste, per una caratterizzazione areale, la difficoltà di scegliere il sito "giusto" di riferimento per cui occorrono sempre numerose prove in orari diversi con ripetizione delle prove e tempi di acquisizione abbastanza lunghi.

Il metodo si basa sui seguenti assiomi:

La componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione;

Al bedrock il rapporto tra la componente verticale e quella orizzontale del moto è prossimo all'unità;

Il rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale del moto fornisce un fattore di amplificazione e il periodo proprio dei depositi;

In generale è necessario effettuare la media di quanti più eventi possibile; in questo modo si può inoltre valutare l'effetto di più sorgenti di rumore tra loro combinate, superando il problema di una loro eventuale accentuata localizzazione.

Risultati adeguati per integrare l'analisi della RSL di secondo livello e terzo livello per una caratterizzazione areale del sito



HVSR - NAKAMURA

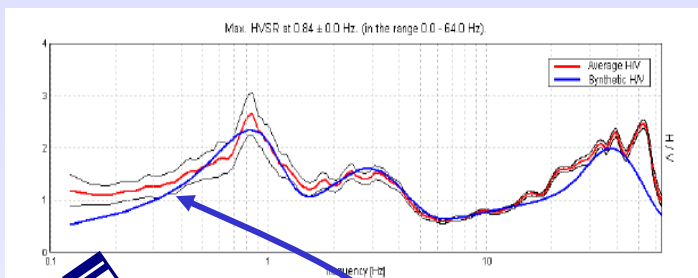
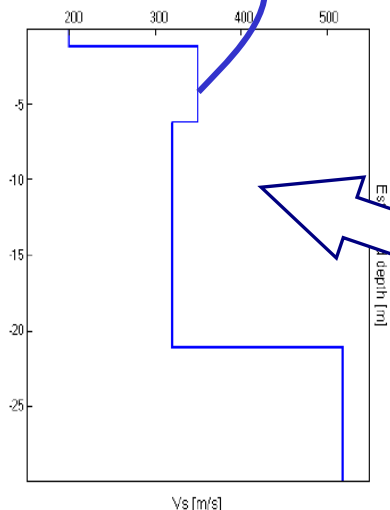


Figura 1: Confronto tra curva H/V sperimentale (media in rosso, intervallo di confidenza al 95% in nero) e teorica (blu).

Modello



Picchi di risonanza

Metodo H/V - aspetti positivi:

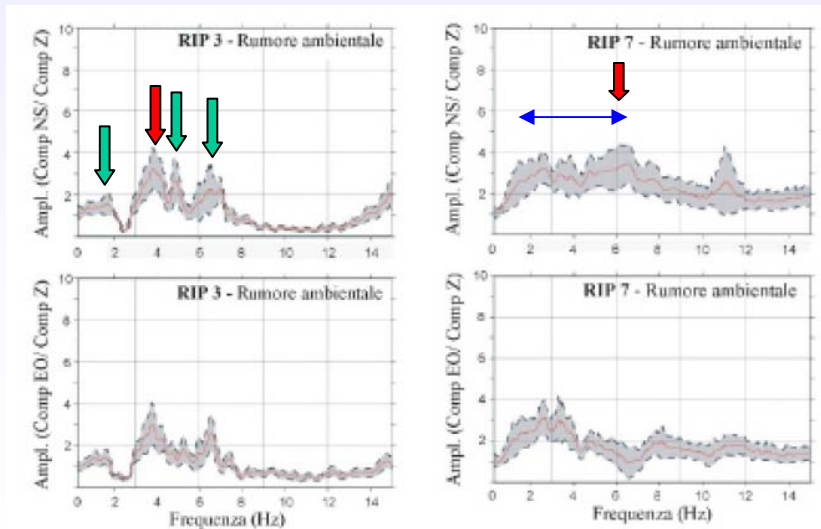
- si può sempre eseguire, perché basato sulla registrazione di rumore ambientale;
- è di facile esecuzione in quanto basta spostare da un sito all'altro un sensore verticale e uno orizzontale (due se si vogliono esaminare effetti di direzionalità);
- è di rapida esecuzione perché in generale 4-5 campionamenti nell'arco di una giornata (ed eventualmente della notte) riescono a caratterizzare completamente il sito;
- per quanto detto è a basso costo;
- nella situazione per cui è stato inizialmente proposto (strato sedimentario sovrapposto a un semispazio omogeneo e forte contrasto di impedenza tra le due formazioni), il metodo permette una buona stima della frequenza fondamentale dello strato.

Metodo H/V - aspetti negativi:

- sottostima comunque il coefficiente di amplificazione;
- in situazioni differenti da quella per cui è stato proposto da Nakamura non ha giustificazioni teoriche: a volte può dare risultati positivi, ma l'uso esclusivo di questa tecnica non assicura di aver preso in considerazione tutti i fenomeni amplificativi possibili nel sito in esame (ovviamente non possono essere evidenziati effetti di amplificazione che si manifestano anche sulla componente verticale del moto).

Campagna di misure con sito di riferimento:

- è più complessa e richiede comunque analisi sismiche e geotecniche preliminari per la scelta e la verifica del sito di riferimento;
- può essere svolta solo in aree nelle quali ci sia un livello accettabile di sismicità (*weak motion*) e prevede comunque tempi di acquisizione più lunghi rispetto a quelli della tecnica H/V (da qualche settimana a qualche mese);
- volendo prendere in esame situazioni differenti, è necessario utilizzare contemporaneamente varie stazioni di acquisizione e quindi un maggior numero di sensori;



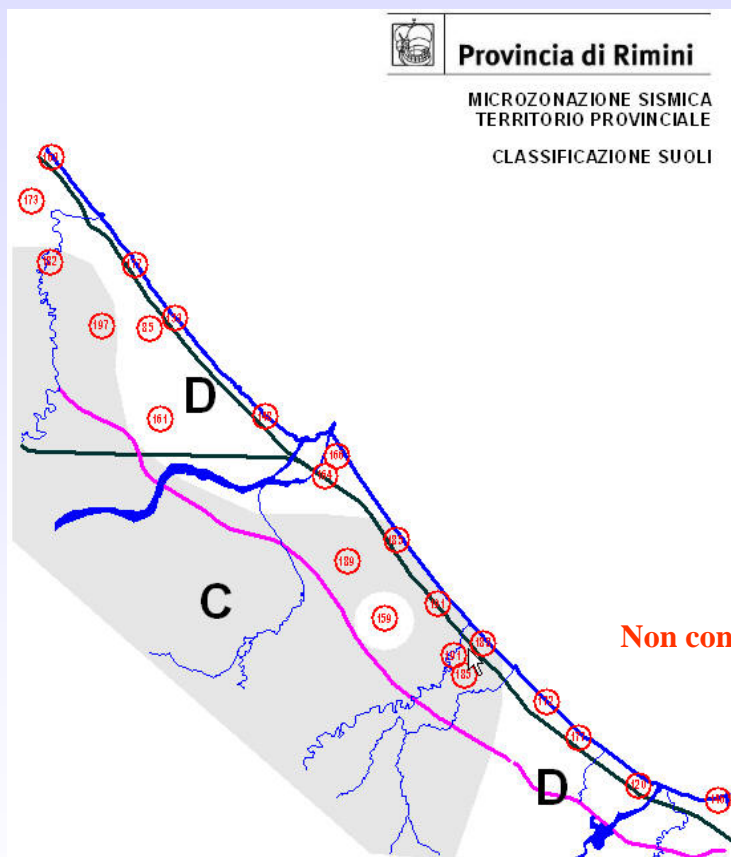
TECNOLOGIE SISMICHE

CASISTICA

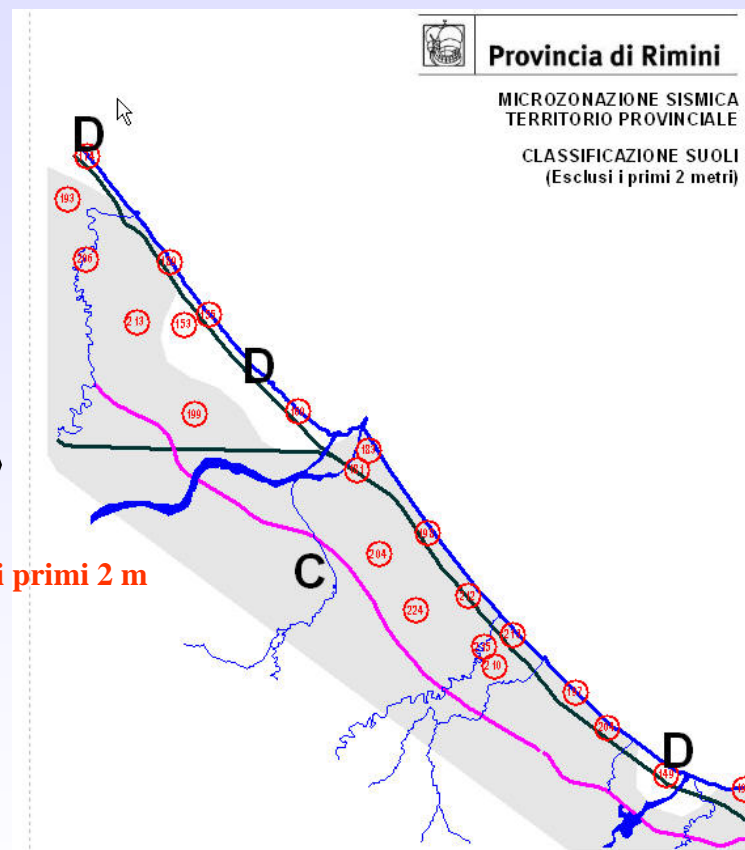


INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE MEDIANTE CONO SISMICO

EFFETTO SUPERFICIALE SULLE V_{s30}



Non considerando i primi 2 m



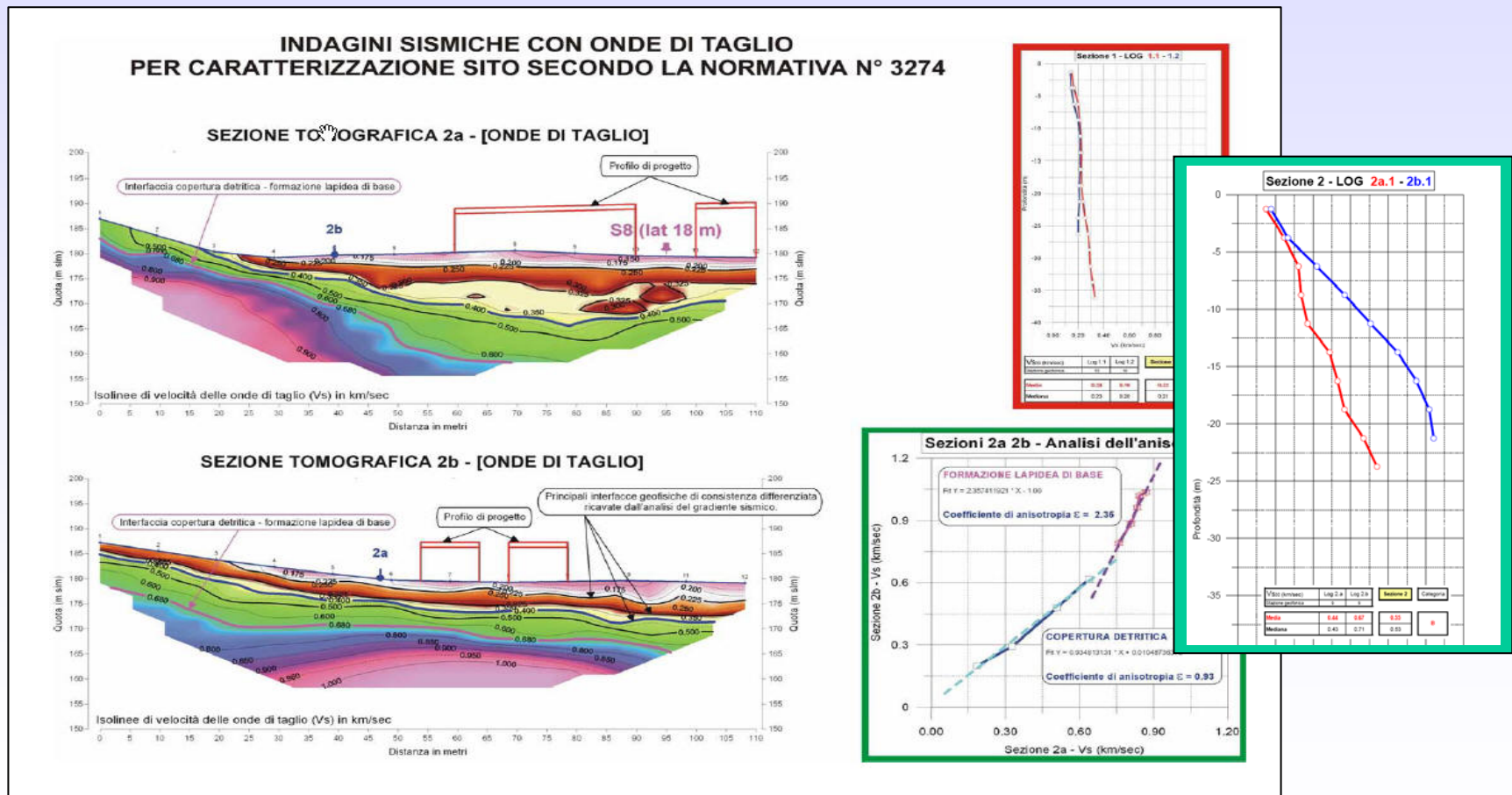
Variabilità del parametro V_{s30}



ANAS – ASSE DI COLLEGAMENTO CASERTA - BENEVENTO

VALUTAZIONE DELLA MORFOLOGIA SEPOLTA

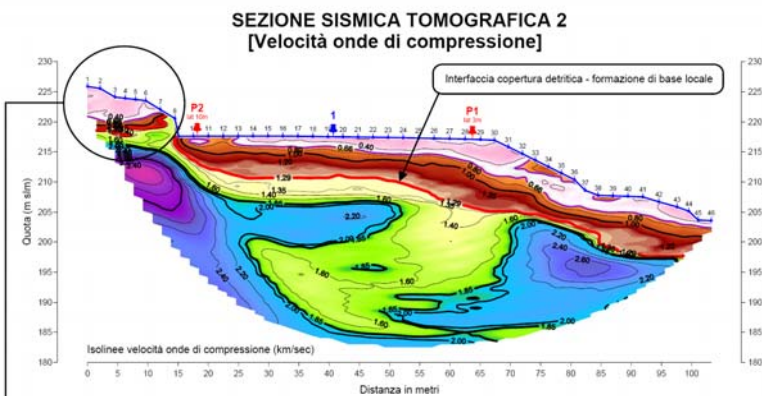
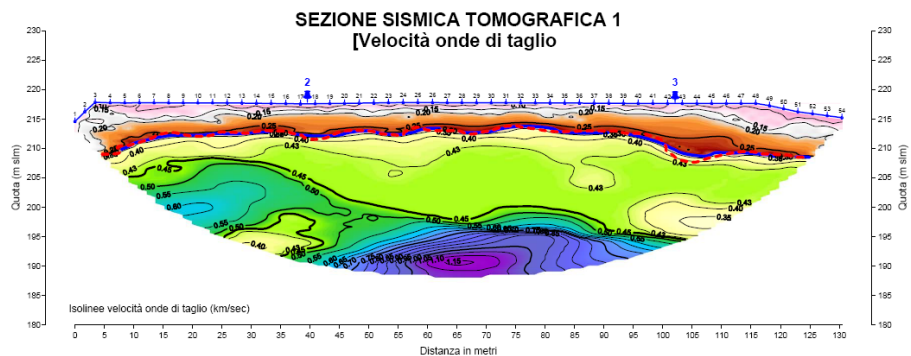
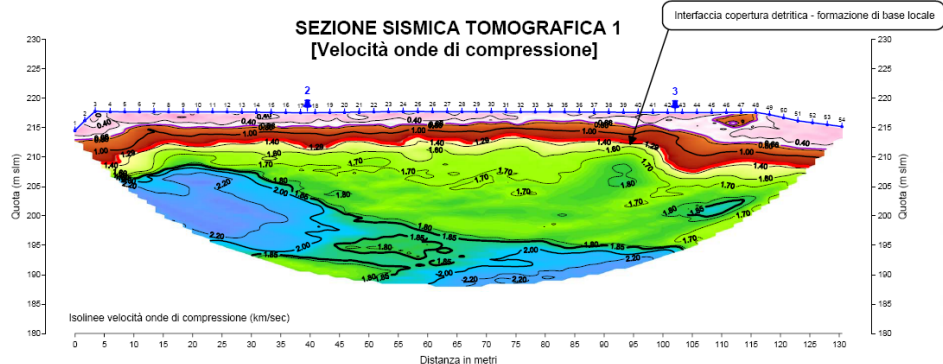
TOMOGRAFIA SISMICA ED ANALISI ANISOTROPIA



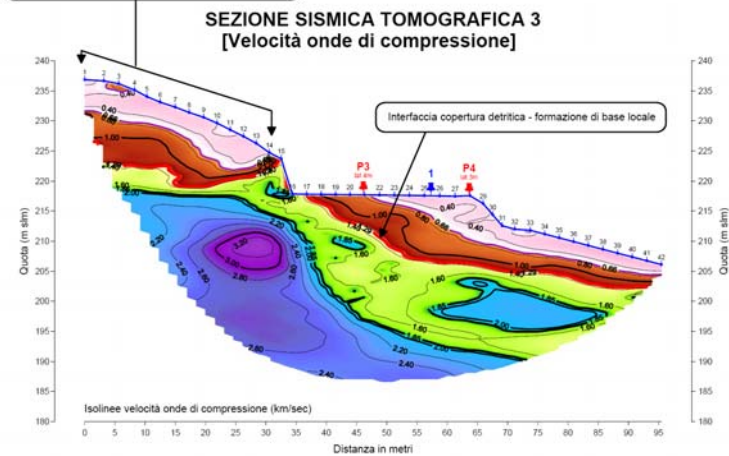


VALUTAZIONE DELLA MORFOLOGIA SEPOLTA

TOMOGRAFIA SISMICA ED ANALISI ANISOTROPIA



Settore ove l'interfaccia geofisica del bedrock compatto si presenta probabilmente a quote inferiori a quella litologica a causa di una elevata alterazione dei materiali.



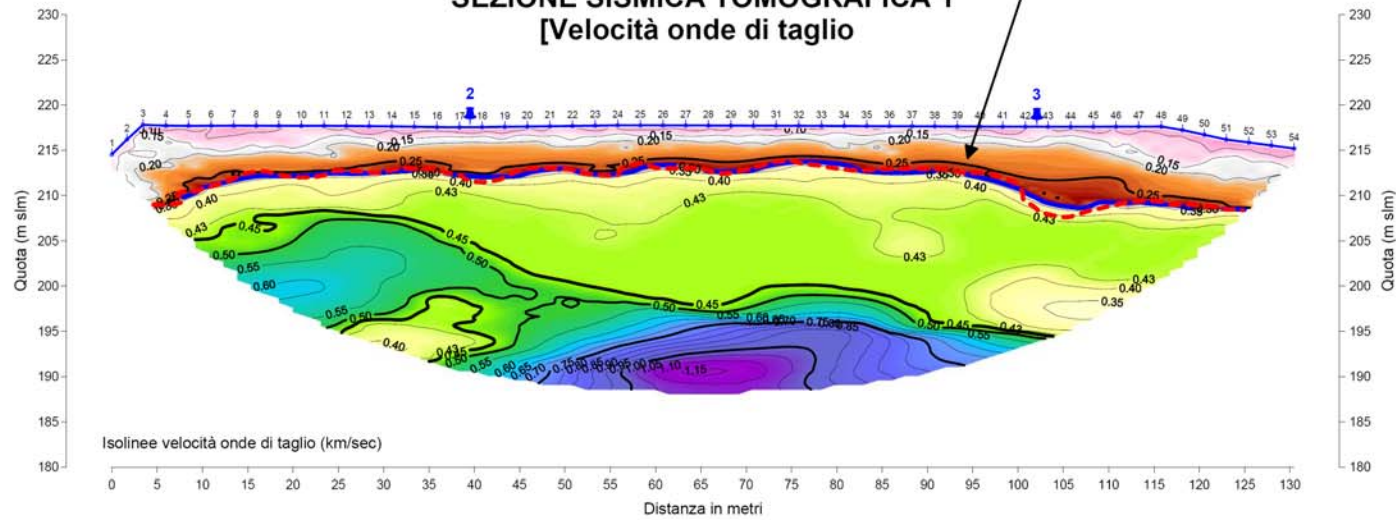
LOG Vs₃₀



MUNICIPIO DI BERTINORO

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 1 [Velocità onde di taglio]

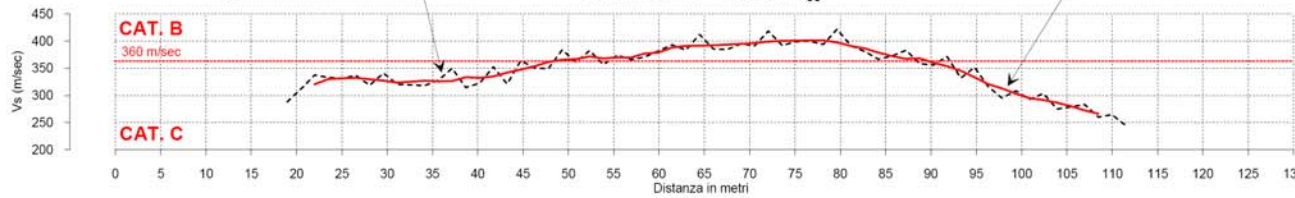
Interfaccia copertura detritica - formazione di base locale



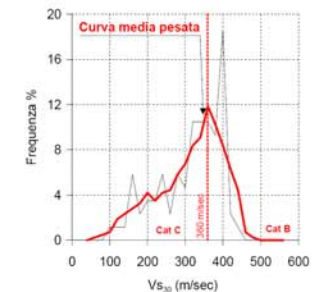
Curva interpolante dei valori di Vs30 ricavati per ogni singola colonna di dati tomografici dalla sezione 1 in Vs

SEZIONE 1 - LOG Vs₃₀

Log calcolato per profondità d'indagine tomografica superiore a 20 m



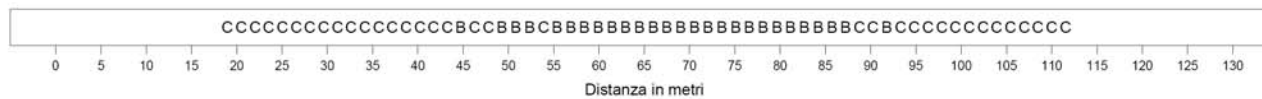
Distribuzione istogrammatica dei valori di Vs₃₀



Dall'analisi risulta che:

41.86% > 360 m/sec - CAT B
48.84% 180 - 360 m/sec - CAT C

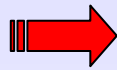
CATEGORIA SISMICA



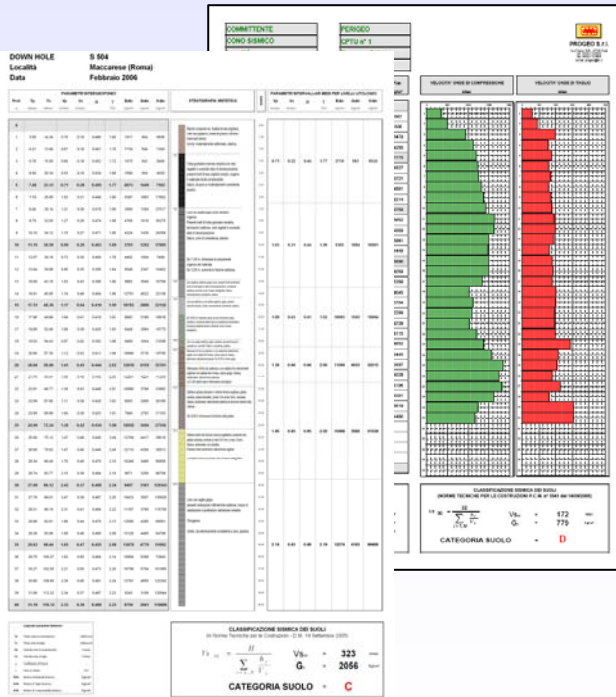
DAL LOG Vs al LOG Vs₃₀

Misure puntuali:

- Cross Hole
- Down Hole
- Cono sismico
- Sasw
- Masw



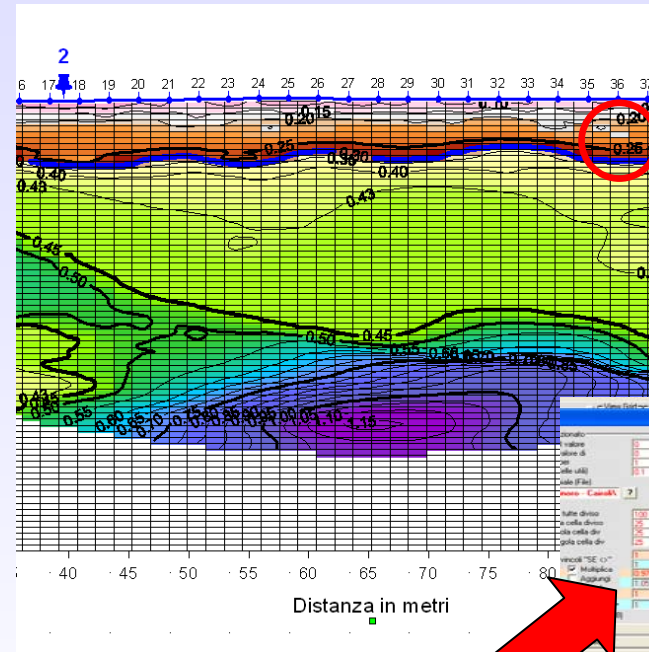
1 LOG Vs
1 Vs₃₀
1 categoria suolo



Misure TOMOGRAFICHE



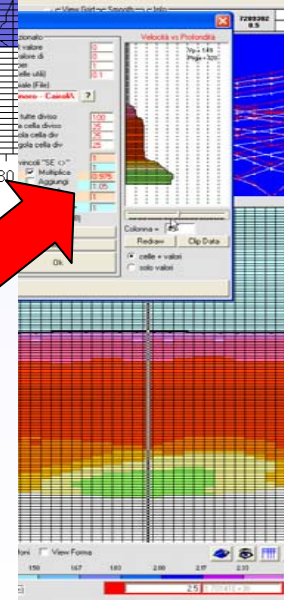
LOG Vs₃₀



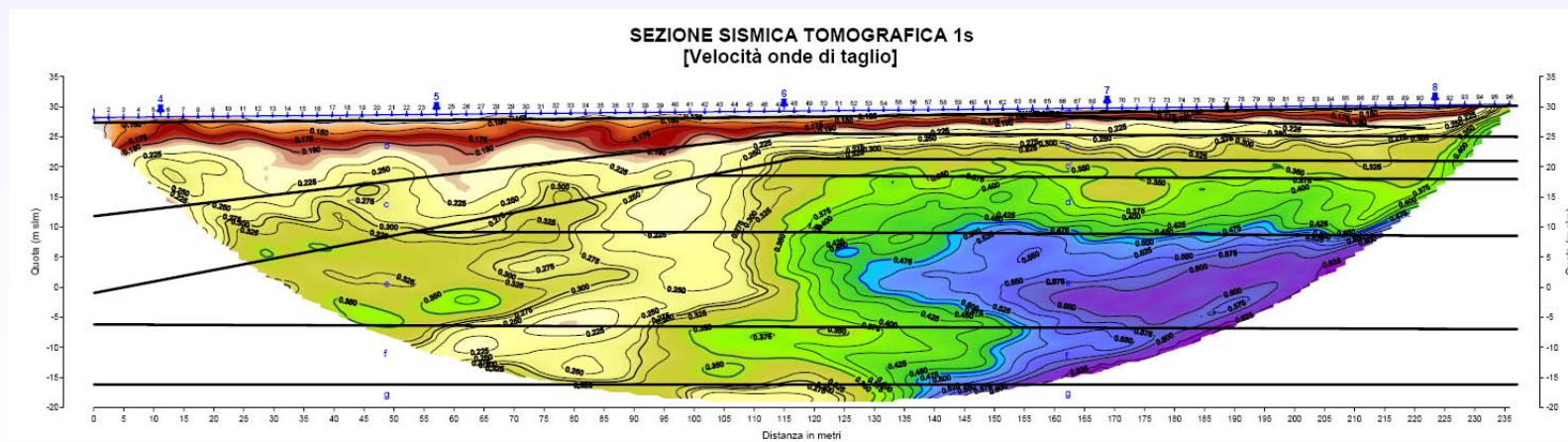
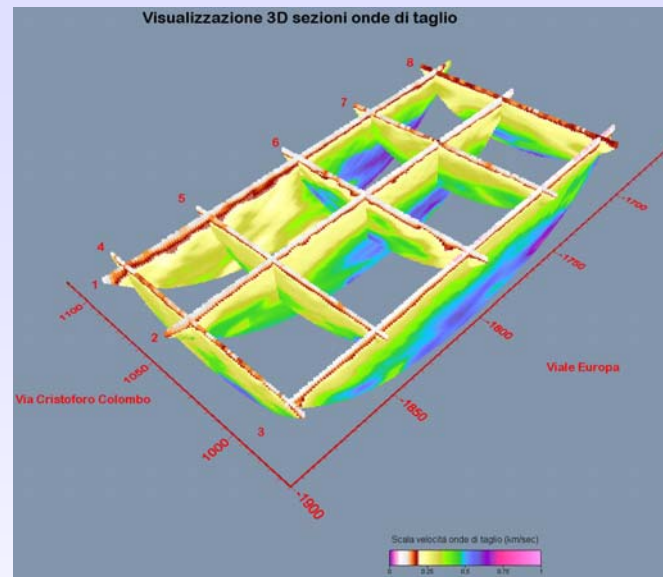
Dimensione celle
 analisi
 tomografica:

 Larghezza 1.5 m
 Altezza 50 cm

n LOG Vs

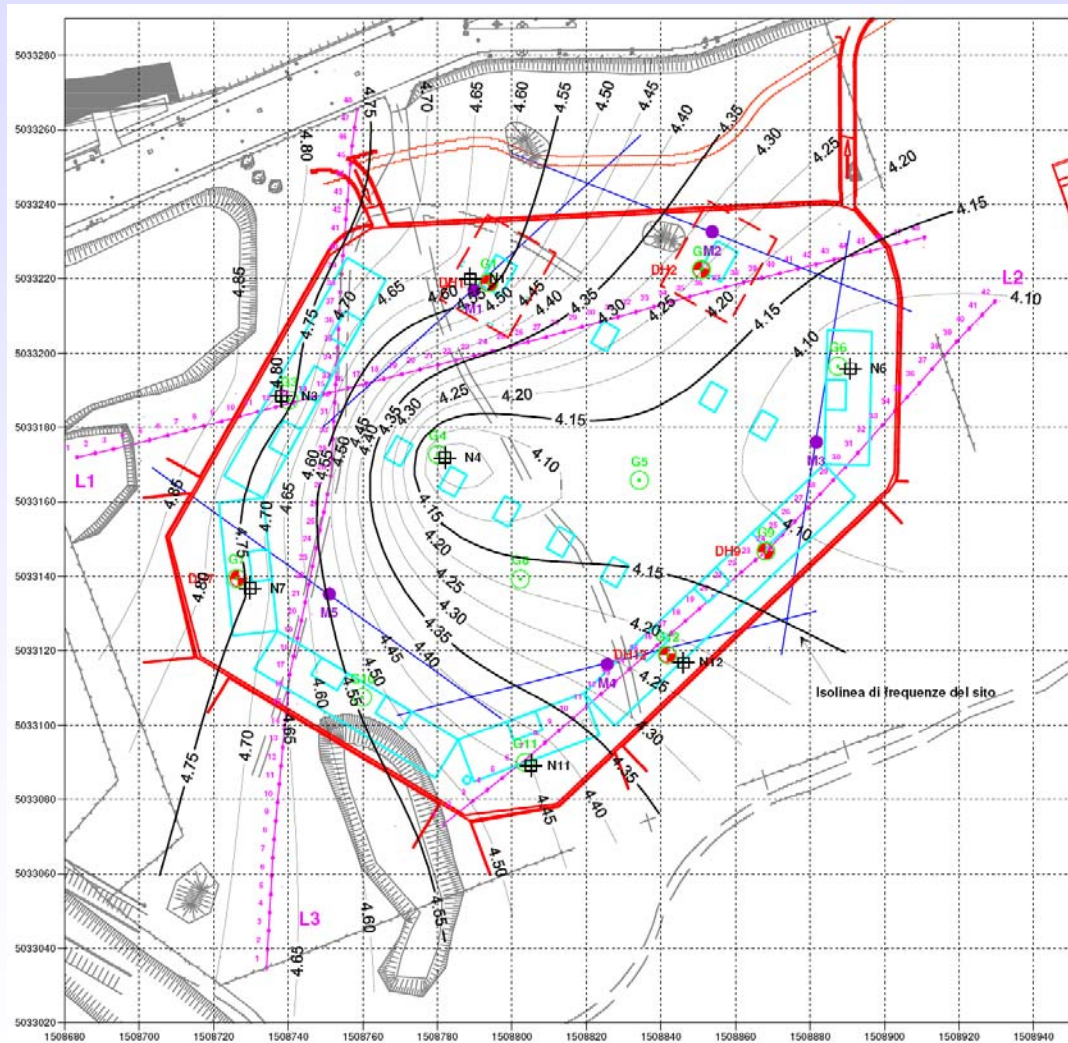


Caratterizzazione sito a Roma – Eur - Centro congressi progetto della Nuvola di Fuksas



Caratterizzazione sito a Milano – Complesso residenziale

Progetto 2 torri 40 piani e 7 palazzi da 10 piani

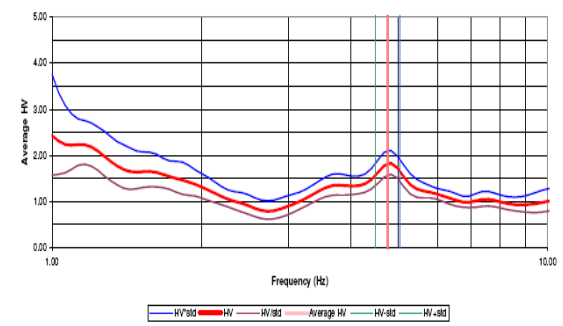


MAPPA DELLE ISOFREQUENZE
 Frequenza di risonanza principale del sito

- Legenda
- Sondaggi meccanici
 - Sezioni sismiche tomografiche
 - Stazioni geofoniche misure tomografiche
 - Sezioni sismiche MASW
 - Down Hole
 - Misure di rumore di fondo (HVSR)

Max HVSR 4.75 ± 0.27 Hz.

HVSR SPECTRAL RATIO



Scala 1 : 1000

//Server/...../629-SET - Milano/Finali/Mappa delle Isofrequenze.srf



APPLICAZIONI NON CORRETTE DELLA METODOLOGIA HVSR

Esempio di mala sismica

Frequenza		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h	5									60	80	100	120	140	160	180	200
	7.5								60	90	120	150	180	210	240	270	300
	10								80	120	160	200	240	280	320	360	400
	15					54	60	90	120	180	240	300	360	420	480	540	600
	20			56	64	72	80	120	160	240	320	400	480	560	640	720	800
	25	50	60	70	80	90	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	30	60	72	84	96	108	120	180	240	360	480	600	720	840	960	1080	
	35	70	84	98	112	126	140	210	280	420	560	700	840	980	1120		
	40	80	96	112	128	144	160	240	320	480	640	800	960	1120			
	45	90	108	126	144	162	180	270	360	540	720	900	1080				
	50	100	120	140	160	180	200	300	400	600	800	1000	1200				
	60	120	144	168	192	216	240	360	480	720	960	1200					Categoria A
	70	140	168	196	224	252	280	420	560	840	1120						Categoria B
	80	160	192	224	256	288	320	480	640	960							Categoria C
	90	180	216	252	288	324	360	540	720	1080							Categoria D
	100	200	240	280	320	360	400	600	800	1200							Categoria E

$$Vs_{(2n-1)} = \frac{4 \cdot H}{T_n}$$

NO

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

SI

Metodo H/V - aspetti positivi:

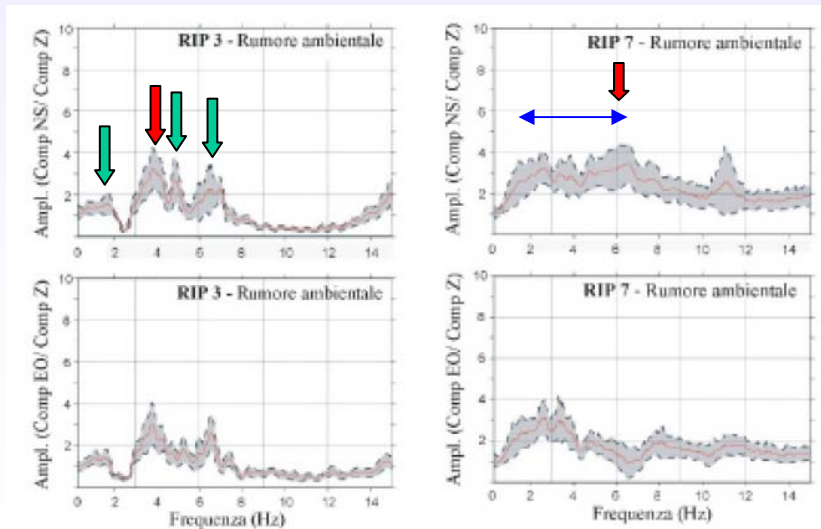
- si può sempre eseguire, perché basato sulla registrazione di rumore ambientale;
- è di facile esecuzione in quanto basta spostare da un sito all'altro un sensore verticale e uno orizzontale (due se si vogliono esaminare effetti di direzionalità);
- è di rapida esecuzione perché in generale 4-5 campionamenti nell'arco di una giornata (ed eventualmente della notte) riescono a caratterizzare completamente il sito;
- per quanto detto è a basso costo;
- nella situazione per cui è stato inizialmente proposto (strato sedimentario sovrapposto a un semispazio omogeneo e forte contrasto di impedenza tra le due formazioni), il metodo permette una buona stima della frequenza fondamentale dello strato.

Metodo H/V - aspetti negativi:

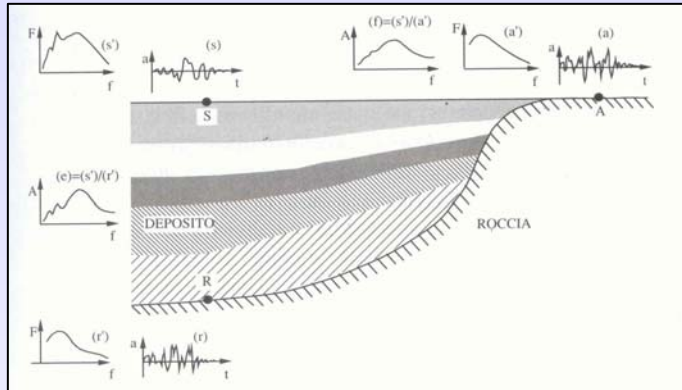
- sottostima comunque il coefficiente di amplificazione;
- in situazioni differenti da quella per cui è stato proposto da Nakamura non ha giustificazioni teoriche: a volte può dare risultati positivi, ma l'uso esclusivo di questa tecnica non assicura di aver preso in considerazione tutti i fenomeni amplificativi possibili nel sito in esame (ovviamente non possono essere evidenziati effetti di amplificazione che si manifestano anche sulla componente verticale del moto).

Campagna di misure con sito di riferimento:

- è più complessa e richiede comunque analisi sismiche e geotecniche preliminari per la scelta e la verifica del sito di riferimento;
- può essere svolta solo in aree nelle quali ci sia un livello accettabile di sismicità (*weak motion*) e prevede comunque tempi di acquisizione più lunghi rispetto a quelli della tecnica H/V (da qualche settimana a qualche mese);
- volendo prendere in esame situazioni differenti, è necessario utilizzare contemporaneamente varie stazioni di acquisizione e quindi un maggior numero di sensori;



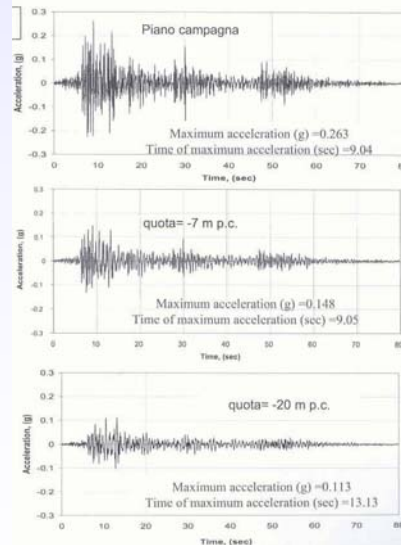
SUOLO IDEALE



FUNZIONE DI AMPLIFICAZIONE

La **funzione di amplificazione** è una proprietà del sito e può essere espressa in funzione della geometria e delle proprietà meccanica del sottosuolo.

La **funzione di amplificazione** corrisponde al modulo del rapporto tra gli spettri al terreno ed al bedrock ed indica quali componenti quali componenti del moto sismico sono state amplificate nel passaggio attraverso il terreno e quali smorzate.



MODELLI DI SUOLO

La valutazione quantitativa della risposta sismica locale può effettuarsi sulla base del confronto tra diverse grandezze rappresentative del moto sismico alla superficie del terreno e quello di riferimento (roccia affiorante ecc.) nel dominio del tempo o delle frequenze.

Nel dominio del tempo il parametro più significativo è il rapporto tra l'accelerazione massima alla superficie del terreno e quella in corrispondenza del bedrock, rapporto che prende il nome di **Fattore di Amplificazione** e può essere maggiore o minore dell'unità.

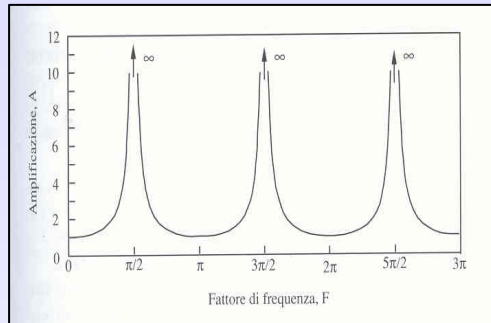
Per la risposta del suolo non ci si può limitare alle variazioni di ampiezza ma anche alle modifiche in frequenza.

Il terreno agisce come filtro incrementando le ampiezze in corrispondenza di alcune frequenze e riducendole in altre.

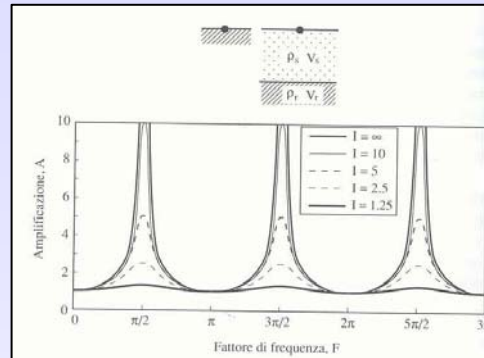
La valutazione dell'effetto filtraggio esercitato dal terreno sul moto sismico di riferimento si ottiene attraverso la cosiddetta **Funzione di Amplificazione**.



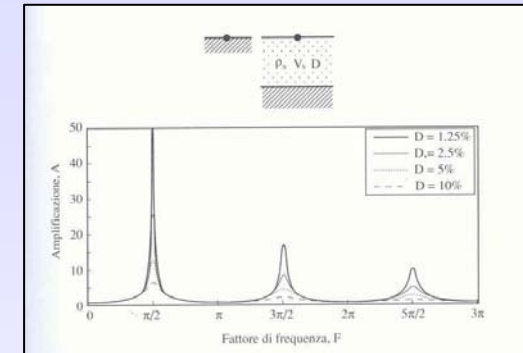
I **profili di suoli** possono essere via via più complessi ed esistono soluzioni teoriche dal punto di vista geotecnico da un modello semplicistico monodimensionale rappresentato da uno strato omogeneo di spessore H che si appoggia sul bedrock rigido ad un complesso multistrato a parametri geotecnici variabili con modi di oscillazione e frequenze proprie diverse e smorzate.



Funzione di amplificazione relativa ad uno strato elastico su substrato rigido



Funzione di amplificazione relativa ad uno strato omogeneo elastico su substrato deformabile



Funzione di amplificazione relativa ad uno strato omogeneo visco-elastico su substrato rigido

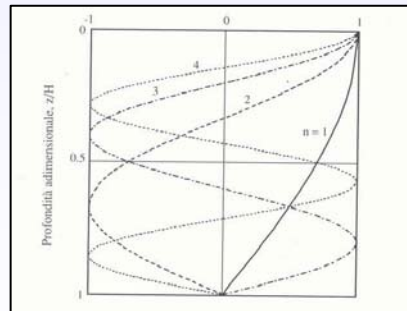
Le frequenze (ω_n e f_n) corrispondenti ai massimi della funzione di amplificazione si chiamano **frequenze naturali** di vibrazione dello strato e sono in numero infinito ed equispaziate essendo la $A_r(\omega)$ periodica.

Ad ogni frequenza naturale corrisponde una forma modale di frequenza principale ed armoniche.

Analogamente i periodi $T_n = 1/F_n$ si chiamano periodi naturali di vibrazione dello strato ed essendo proporzionali allo spessore dello stesso ed inversamente proporzionali alla velocità delle onde di taglio del terreno, aumentano di periodo con la deformabilità trasversale dello strato.

$$T_n = \frac{1}{F_n} = \frac{4H}{V_s(2n-1)}$$

dove n = numero della forma modale della frequenza



FORME MODALI

RISVOLTO PRATICO → ANALISI DEI MICROTREMORI

La risposta di un deposito di terreno ad una eccitazione sismica è fortemente influenzata dalla frequenza originale: le frequenze in corrispondenza delle quali si verificano elevate amplificazioni dipendono dalla geometria (spessore) e dalle caratteristiche fisico-meccaniche (V_s) del deposito di terreno.

La situazione più pericolosa in termini di amplificazione si verifica quando la frequenza di eccitazione (ω) è corrispondente ad una delle frequenze fondamentali dello strato (ω_n).

Quando si verifica tale condizione ($\omega = \omega_n$) si ha la **risonanza** dello strato ed il fattore di amplificazione è teoricamente infinito.

SUOLO REALE

Ai fine della valutazione quantitativa dell'effettiva risposta sismica locale, la determinazione del terremoto di riferimento va accoppiata ad una modellazione realistica del sottosuolo, per definire la funzione di amplificazione locale che non è una proprietà univoca del sito ma dipende anche dai caratteri del moto di riferimento, dai suoi contenuti in frequenza e dal suo contenuto energetico.

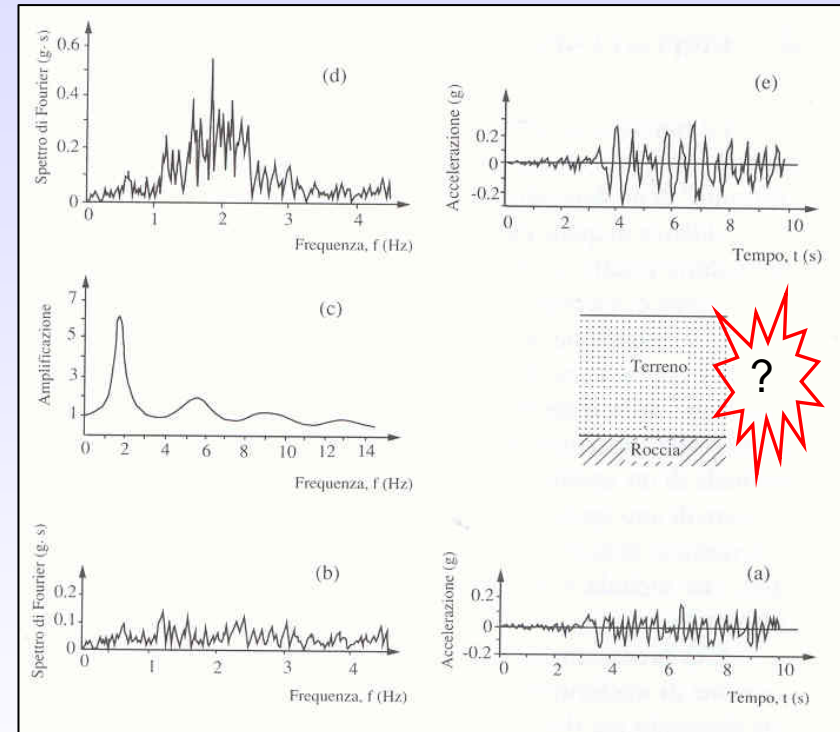
Se ad esempio la frequenza di vibrazione del suolo è prossima ai 2 Hz ed il maggiore contenuto energetico è sui 5-6 Hz allora la risposta di sito potrà risultare più elevata per queste frequenze che non sulla fondamentale.

E' necessario quindi porre attenzione ai fenomeni di risonanza come coincidenza tra il segnale di ingresso e di uscita e le frequenze fondamentali del sito ed alla possibile interazione tra il segnale sismico in uscita dal suolo e quelle dei manufatti (***fenomeno della doppia risonanza***).

Si rammenta che per un edificio in cemento armato senza particolari irregolarità o asimmetrie la frequenza fondamentale è approssimativamente $f=10/N$ (con N=numero dei piani).

INPUT

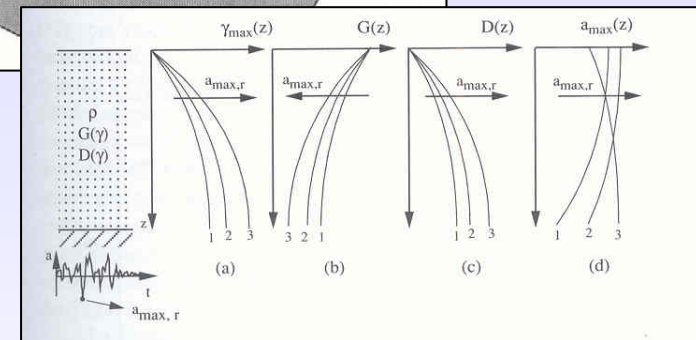
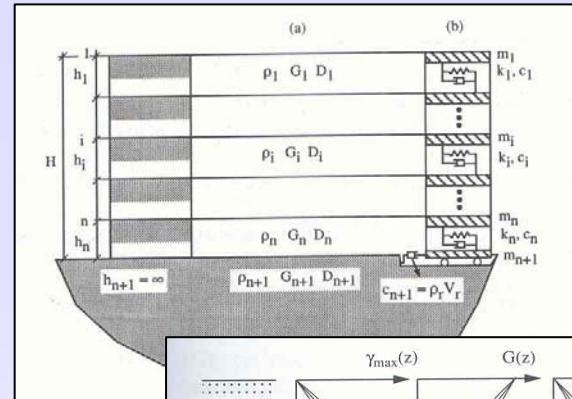
OUTPUT



Per garantire la massima affidabilità di un'analisi della risposta sismica locale è necessario tenere conto delle inevitabili disomogeneità del sottosuolo, della variazione tra strato e strato dei parametri di rigidità e smorzamento, della geometria dei depositi e della morfologia del sito allo scopo di realizzare una modellazione la più reale possibile.

I SUOLI REALI sono:

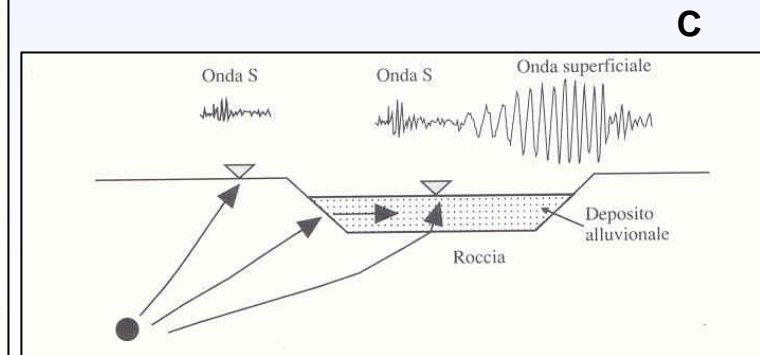
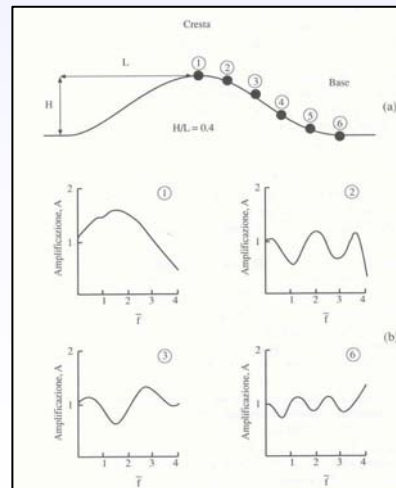
- A) eterogenei e stratificati;**
- B) presentano un comportamento non lineare;**
- C) esistono effetti di bordo di valli alluvionali;**
- D) effetti della topografia.**



per cui l'analisi può essere da monodimensionale per i casi più semplici e situazioni isotrope a bidimensionale quando intervengono effetti litologici e geometrici complessi.

Questi parametri possono essere calcolati sulla base di conoscenze acquisite mediante indagini sismiche.

D



C



Le presenti slide sono scaricabili dal sito

WWW.PROGEO.INFO

GRAZIE DELL'ATTENZIONE