



DIPARTIMENTO
PER LE POLITICHE INTEGRATE DI SICUREZZA
E PER LA PROTEZIONE CIVILE

V_S30

TECNICHE DI MISURA DIRETTA CON METODI GEOFISICI

Dott. Geol. Gabriele Pulelli

Dott. Geol. Maurizio Furani



Ancona: 3 Maggio 2007
SALA VERDE – PALAZZO RAFFAELLO
Via Gentile da Fabriano 9

PROGEO srl

Via Talete 10/8
47100 Forlì

tel. 0543 / 723580

Email: mail.progeo@gmail.com

Web : www.progeo.info



2.1 Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

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 $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $c_u > 250$ 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).

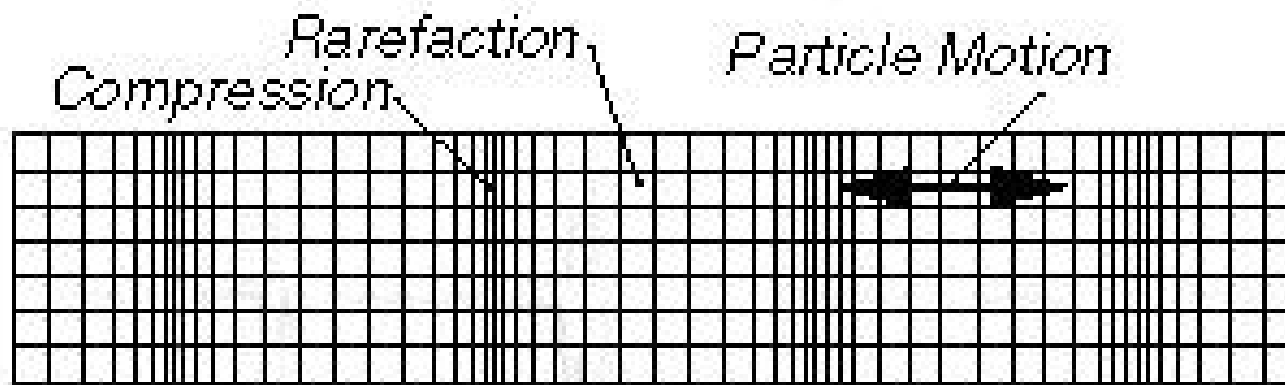
E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa)

S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di 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:

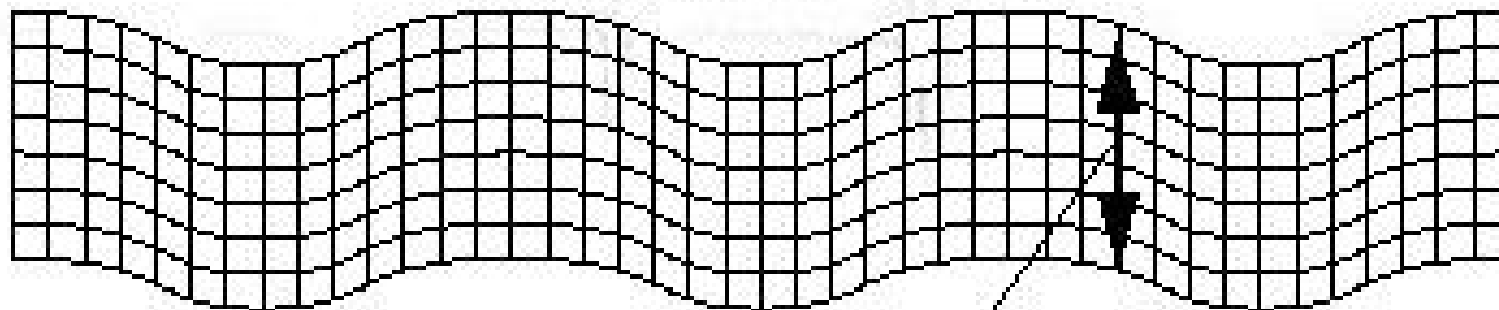
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$



Compressional or P Wave

Travel Direction →

Shear or S Wave



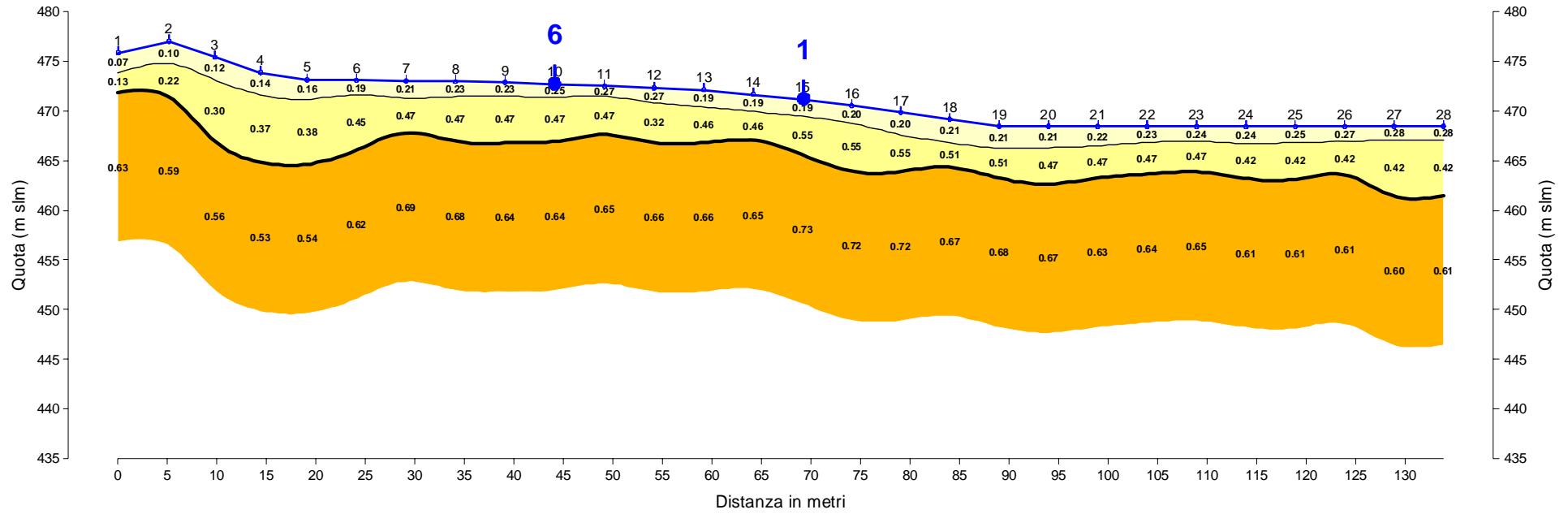
Particle Motion







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



GEO X:\LAVORI\555-Geostudi - La Sapienza Roma\1\1
GRD X:\LAVORI\555-Geostudi - La Sapienza Roma\1\1

Sondaggio ?
 Randomizza

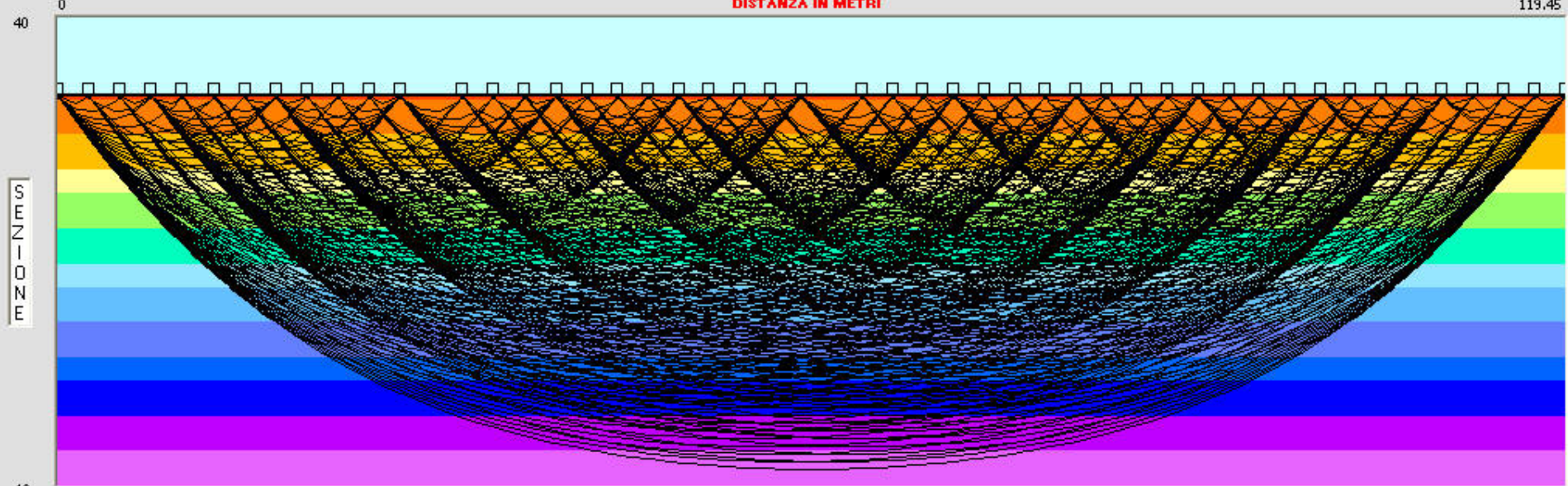
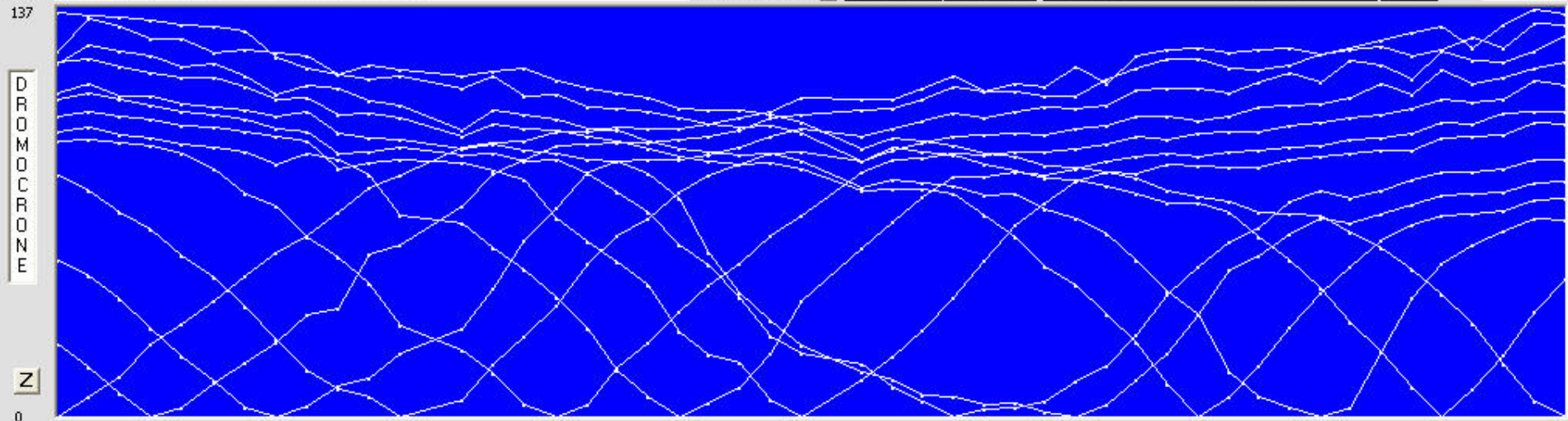
View Grid
 No
 Sì 40

Smooth
 No
 Sì 15

Info
N' celle in 79
N' celle in 40

Grid X 1.512025:
Grid Y 0.75

611	1
146	



Frequenza per Q = 50 View DXF Scala View Aerato View geofoni View Forma

1.9359

0.40 0.80 1.20 1.60 2.00 2.40 2.80 3.20 3.60 4.00 4.40 4.80 5.20 5.60

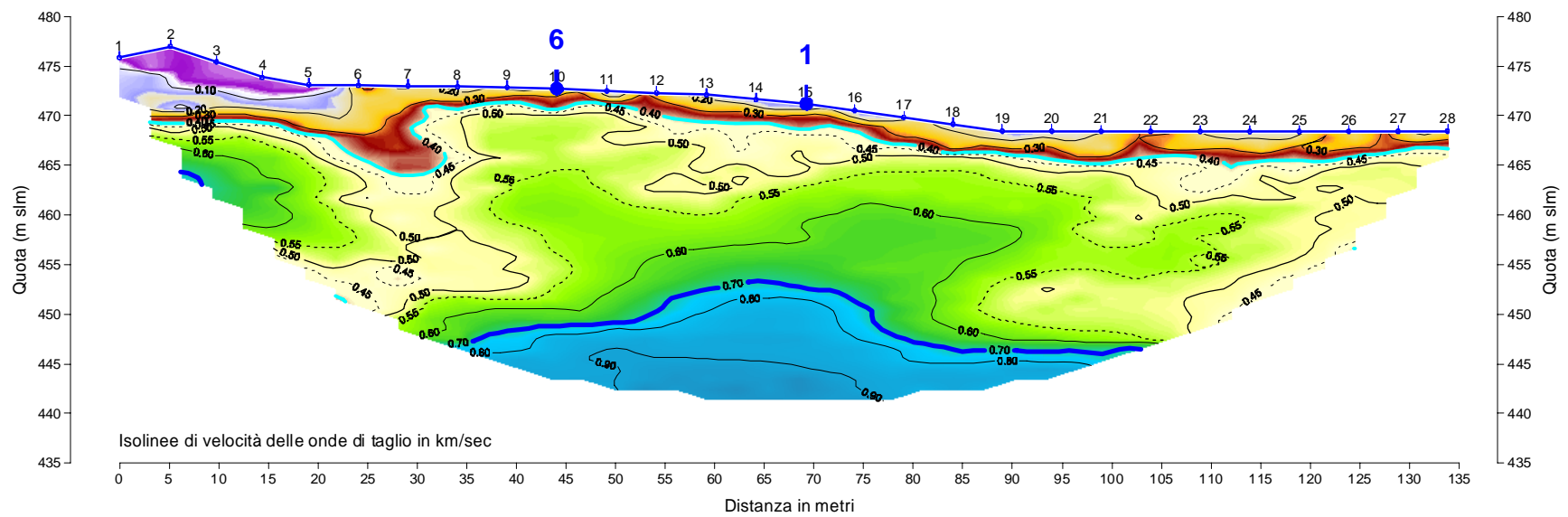
0.00 0.2 0.4

Scala Velocità (Km/sec)

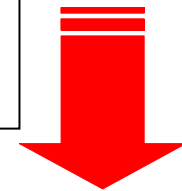
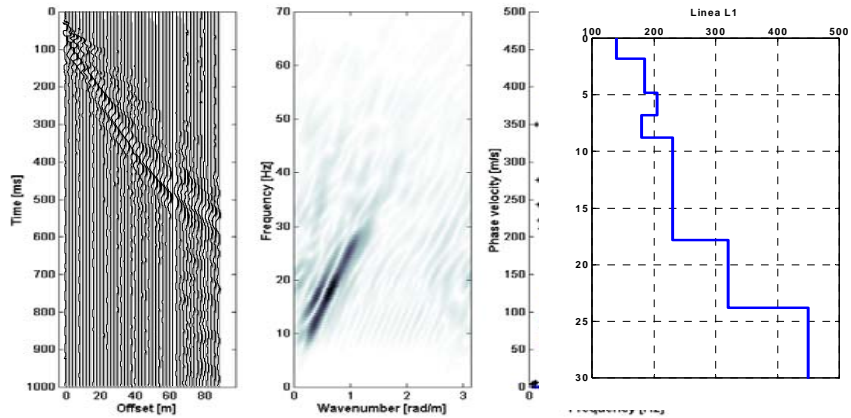
6 5

X = 117	57
T = 133.	12

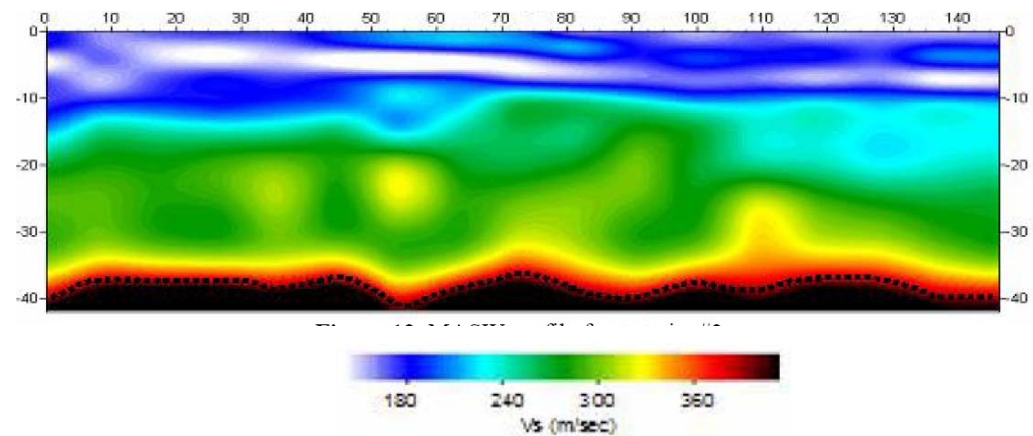
SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 3 [Velocità onde di taglio km/sec]

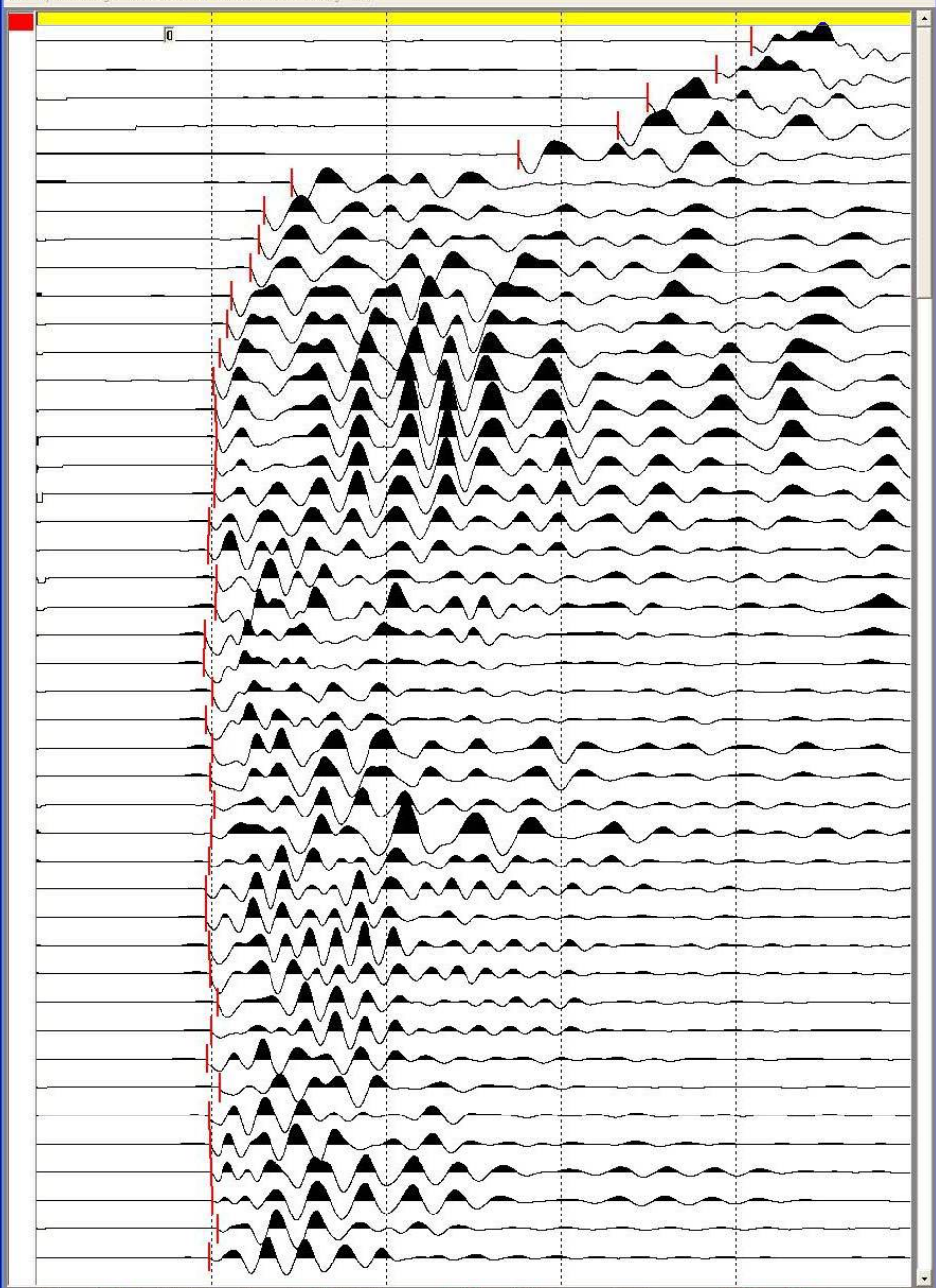
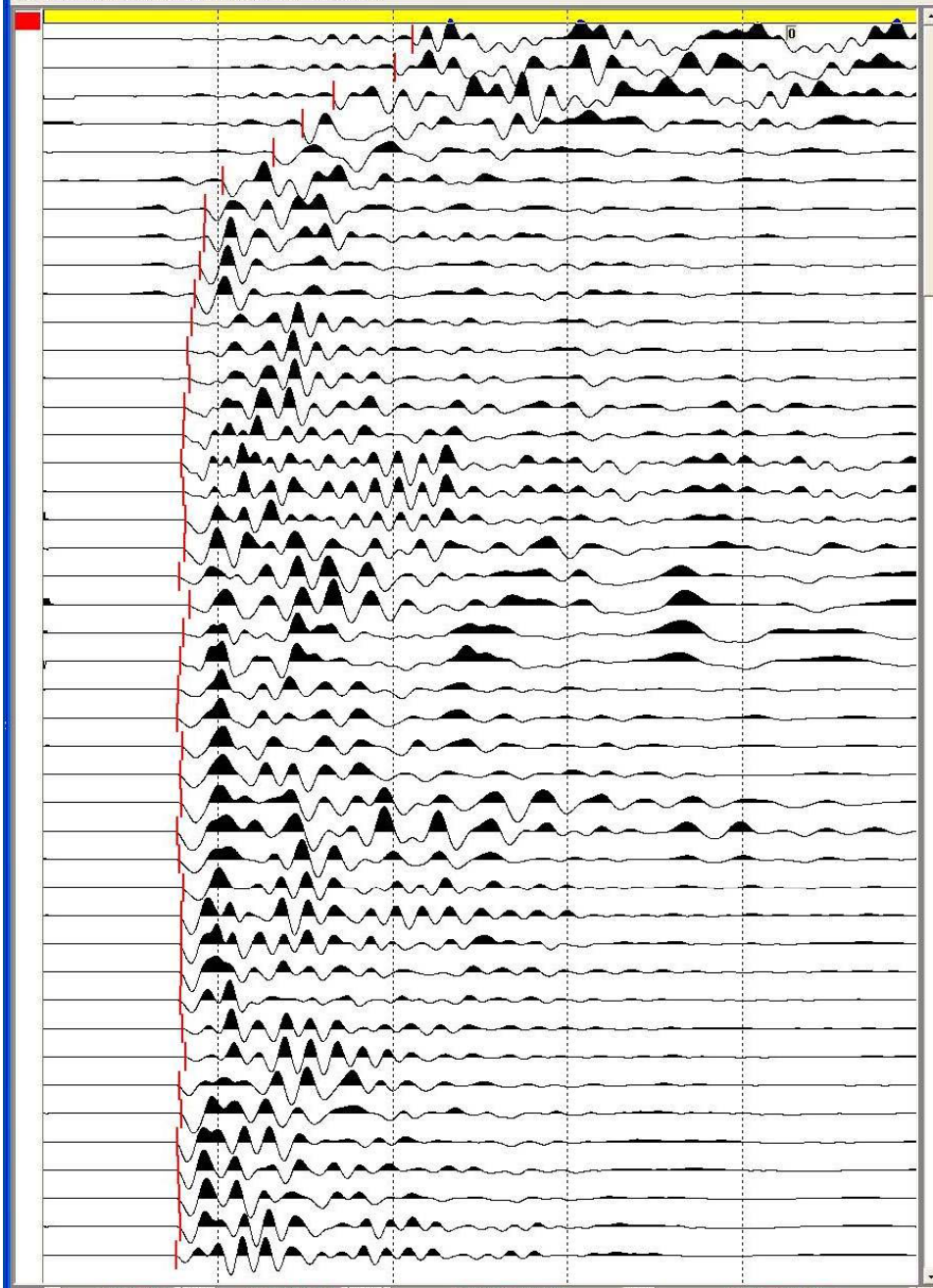


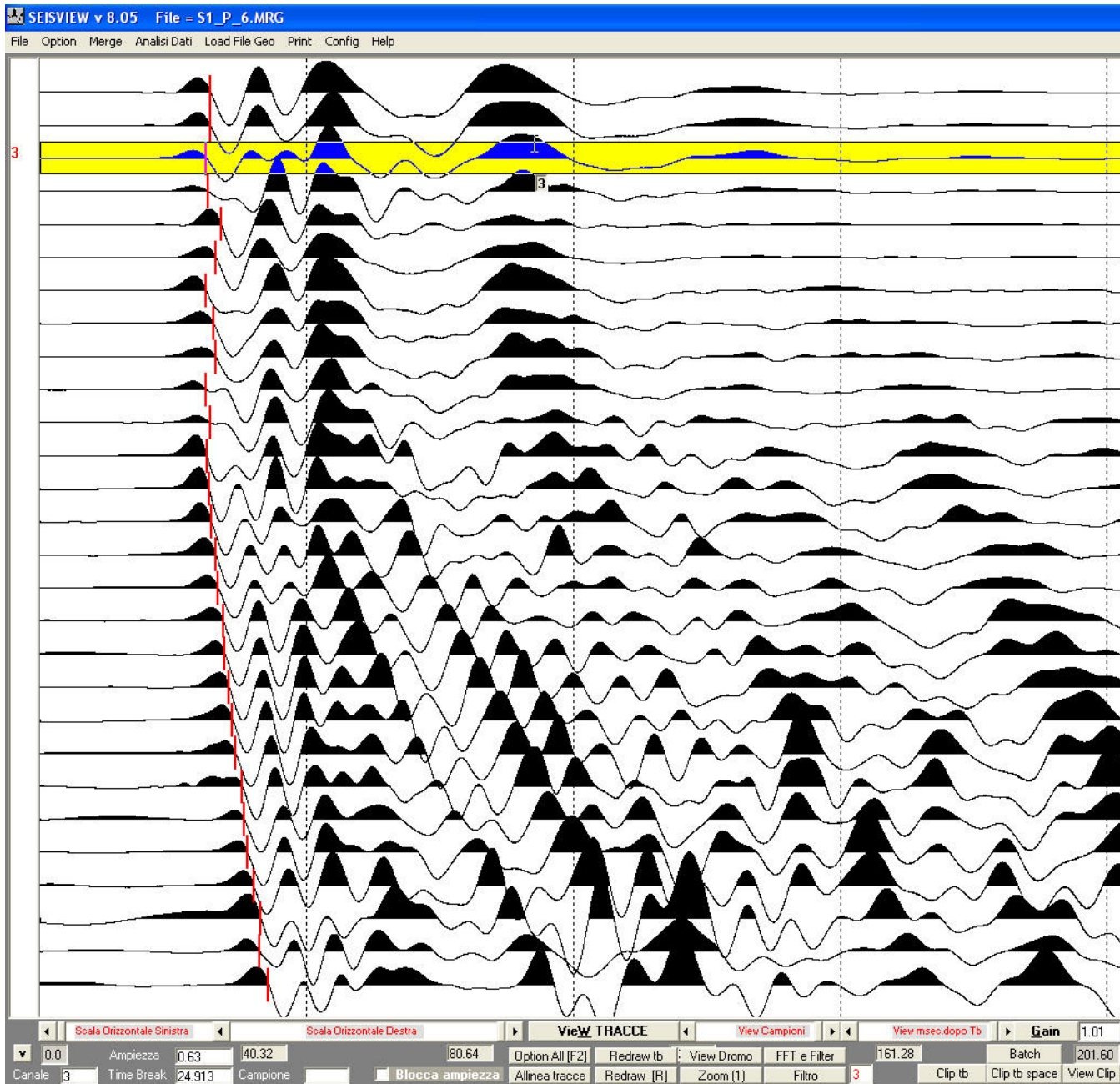
SASW con analisi delle onde di Rayleigh (fornisce LOG Vs)

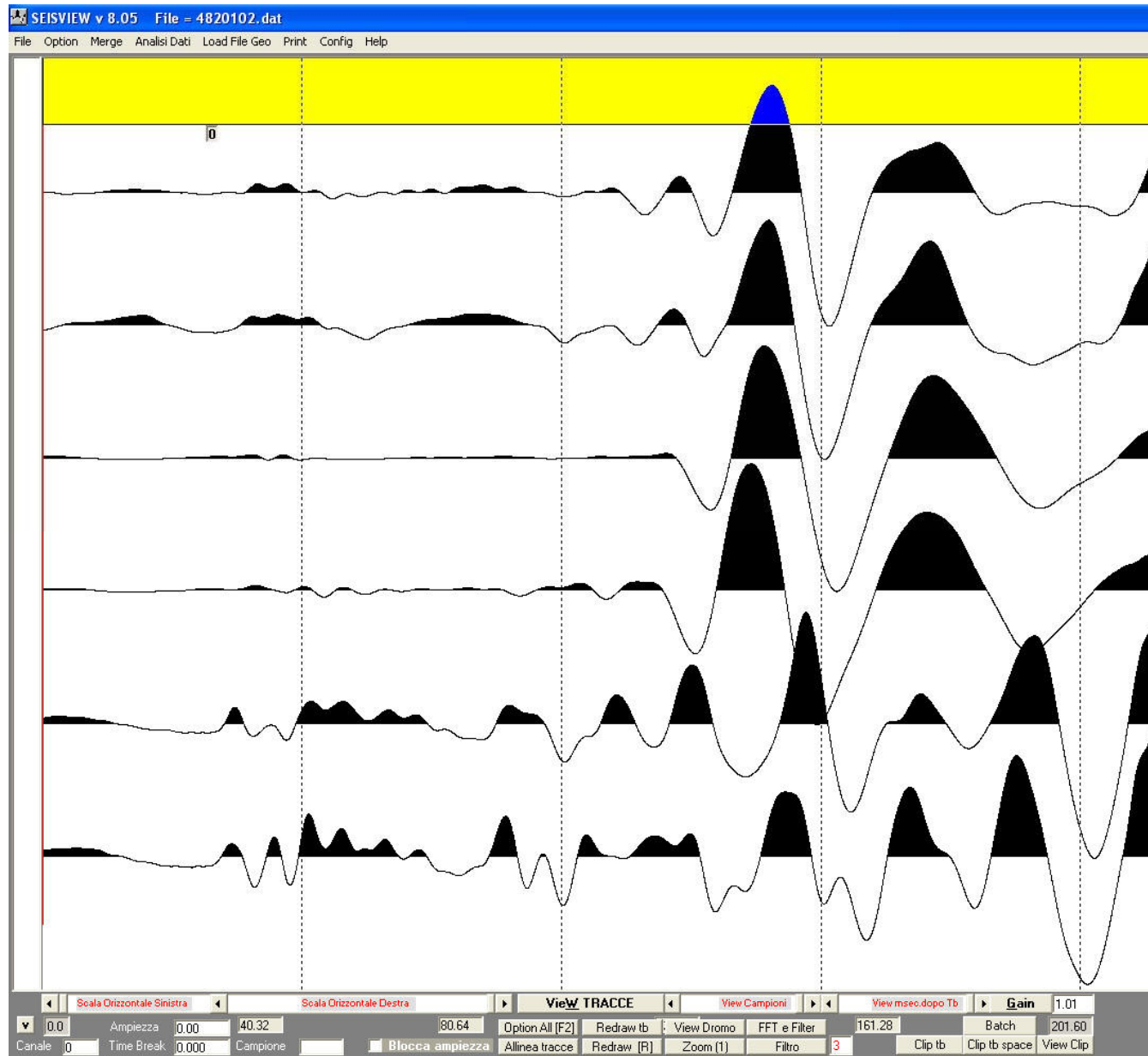


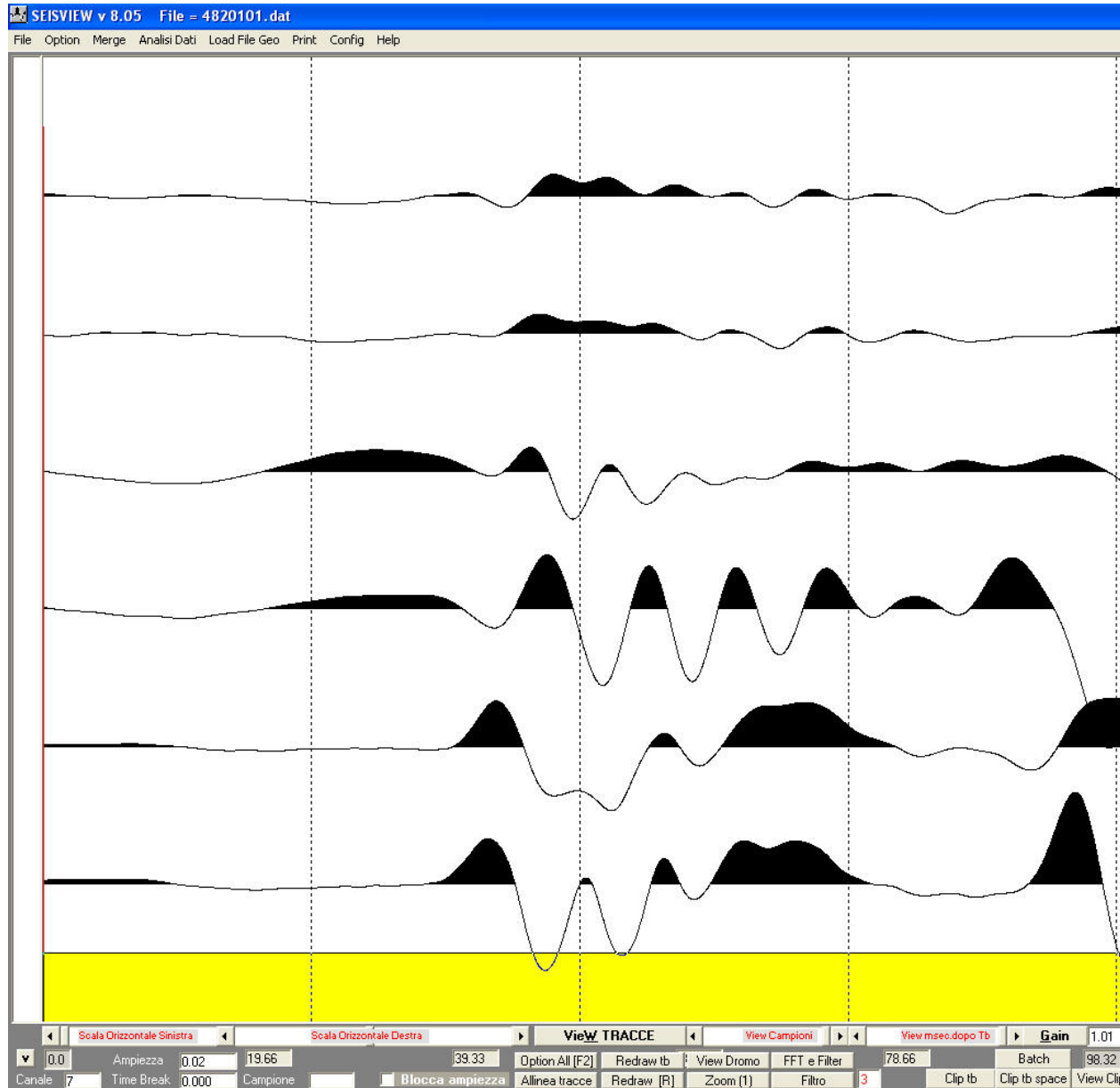
+ SASW = MASW (interpolazione tra LOG Vs)



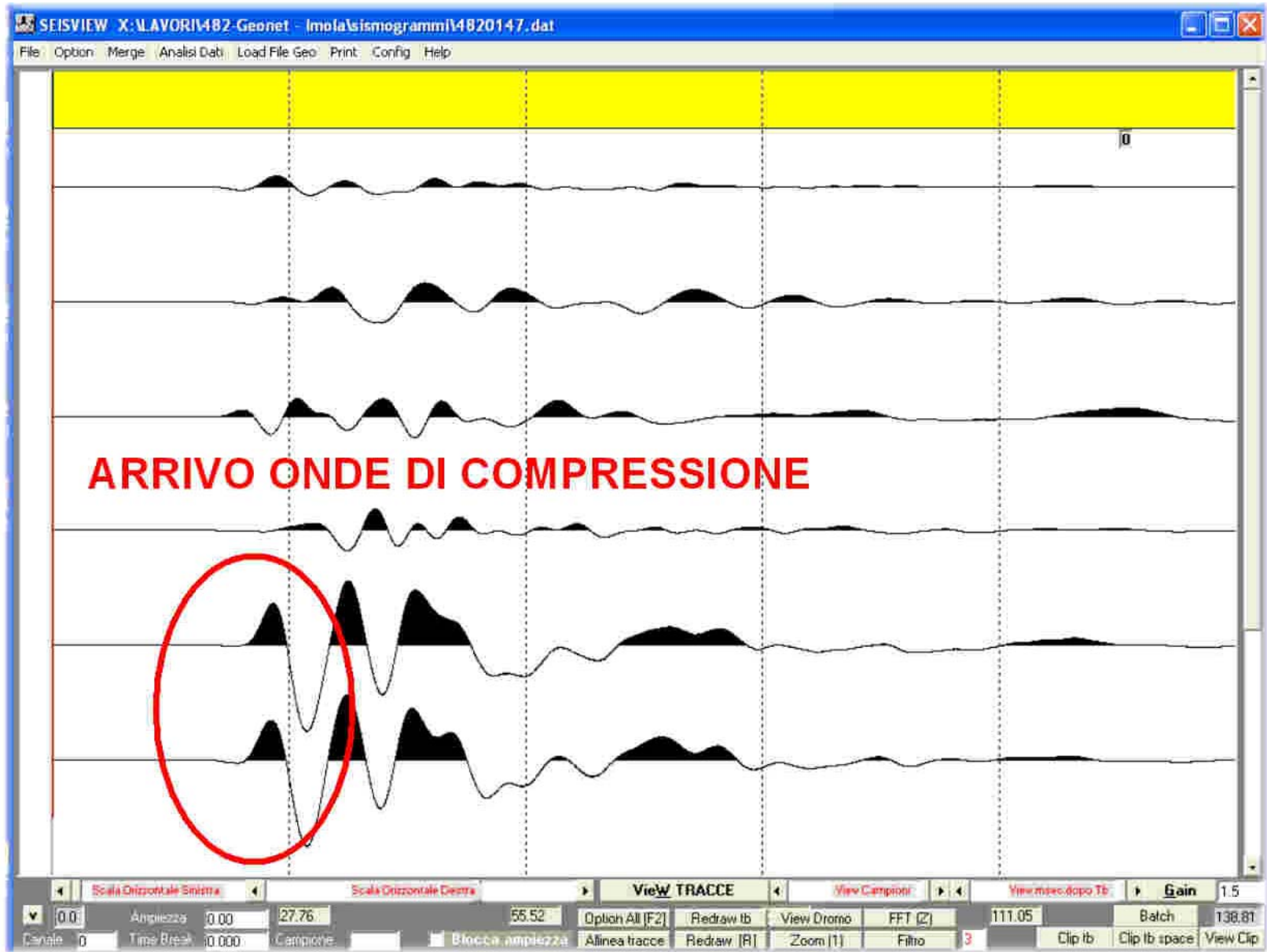


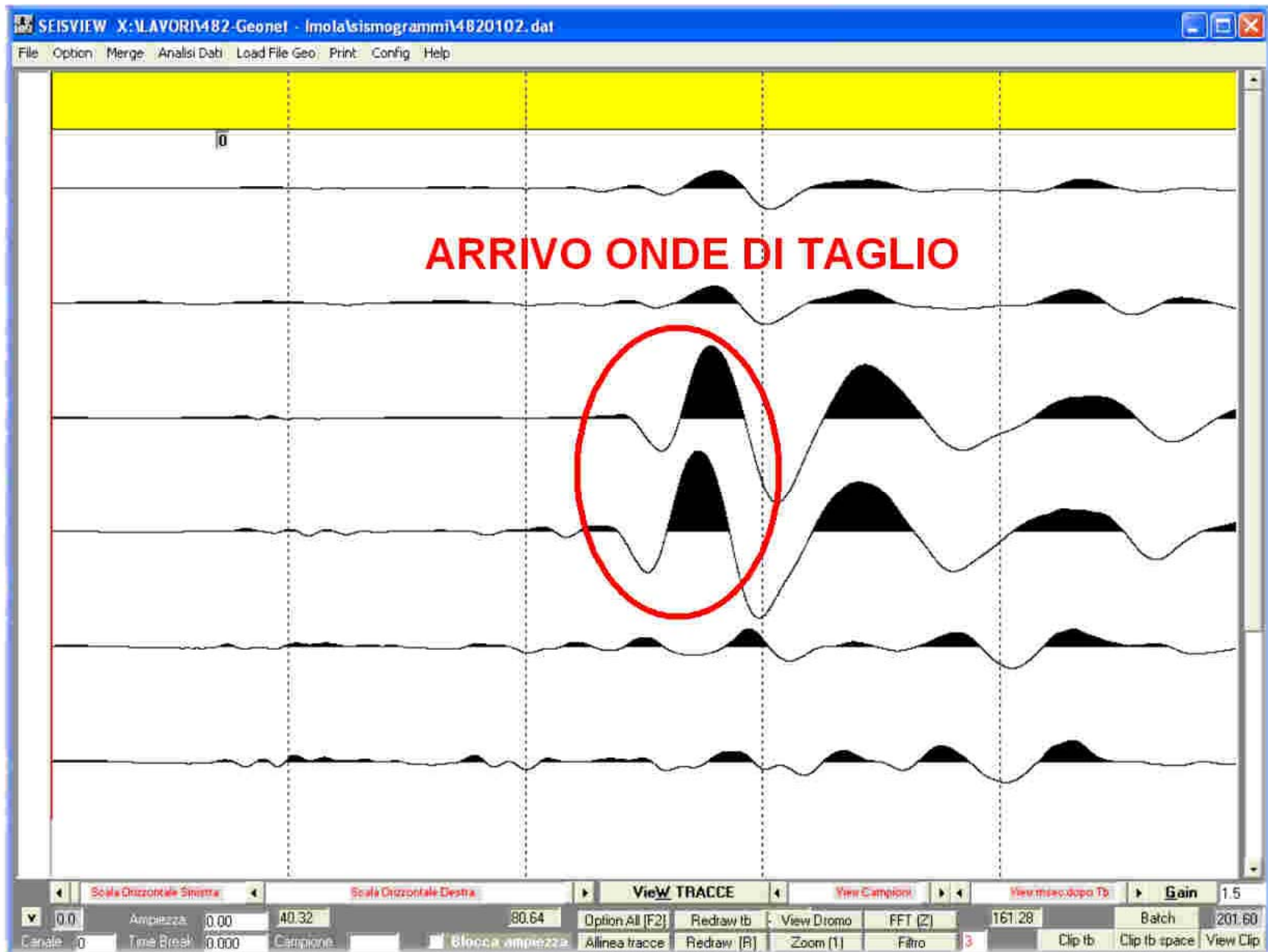


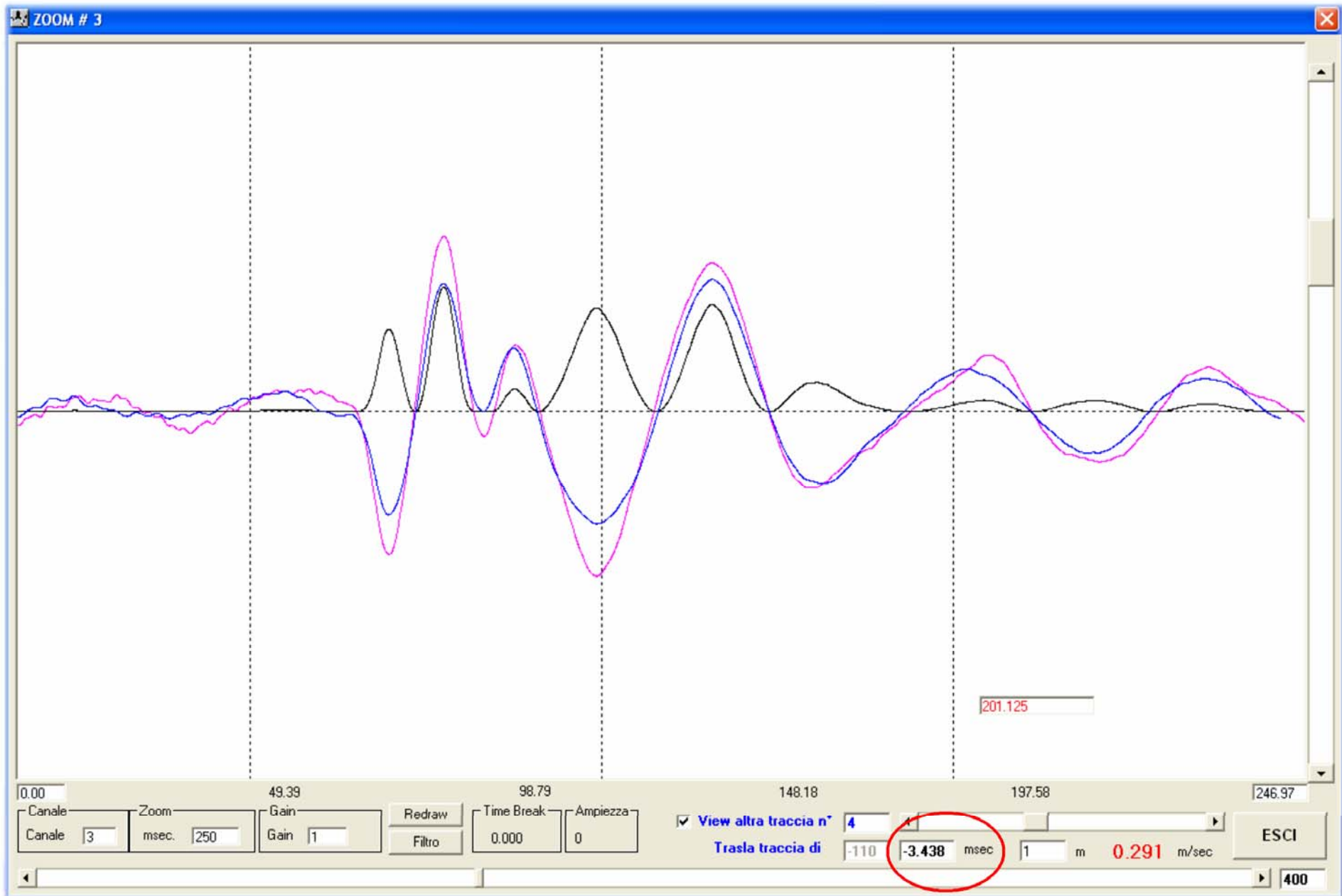












**Differenziale tempi onde di taglio
fra canale 3 e canale 4**



COMMITTENTE
CONO SISMICO
Località
Data acquisizione

Provincia Rn
CPTU n°24
Bellaria
06/02/06



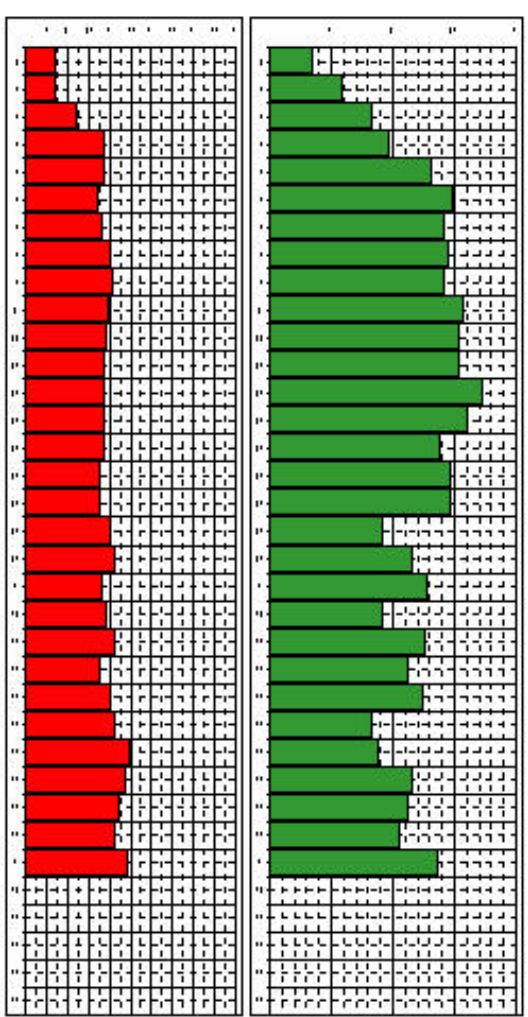
Profondità	Vp	Vs	ρ	γ	Es	Gs	Es
z(m)	m/sec	m/sec	g/cm³	kg/m³	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²

z	Vp	Vs	ρ	γ	Es	Gs	Es
m	m/sec	m/sec	g/cm³	kg/m³	kg/cm²	kg/cm²	kg/cm²
1	346	63	0.48	1.55	224	75	1734
2	585	72	0.45	1.74	278	91	5841
3	828	128	0.45	1.83	886	274	12423
4	974	185	0.48	1.85	2838	988	17383
5	1383	185	0.45	1.93	2875	937	35593
6	1484	174	0.45	2.04	1818	693	45856
7	1412	188	0.45	2.02	1952	668	48253
8	1441	284	0.45	2.05	2553	825	41843
9	1413	285	0.45	2.02	2572	854	48842
10	1575	198	0.45	2.07	2456	823	51427
11	1534	192	0.45	2.06	2297	778	48247
12	1542	185	0.45	2.06	2144	718	48328
13	1721	186	0.45	2.18	2211	748	62495
14	1688	183	0.45	2.07	2243	753	53633
15	1975	185	0.45	2.04	2192	735	57823
16	1464	177	0.45	2.04	1938	643	43667
17	1467	175	0.45	2.04	1983	637	45865
18	322	283	0.47	1.87	2384	784	15125
19	1148	211	0.48	1.95	2621	884	24371
20	1274	183	0.45	1.98	2811	975	51922
21	387	194	0.48	1.86	2118	715	14657
22	1255	218	0.45	1.98	2633	888	38531
23	1125	179	0.45	1.94	1882	633	24168
24	1244	288	0.45	1.98	2583	884	38187
25	838	212	0.47	1.83	2453	833	11725
26	877	245	0.46	1.85	3383	1193	12363
27	1155	237	0.48	1.95	3238	1113	24533
28	1128	225	0.48	1.94	2948	936	23845
29	1853	211	0.48	1.91	2568	855	28488
30	1954	242	0.48	2.01	3552	1197	35342
31							
32							
33							
34							
35							

Legenda parametri dinamici

ρp	ρp (g/cm³)	γp	γp (kg/m³)	Es	Es (kg/cm²)
ρ	ρ (g/cm³)	γ	γ (kg/m³)	Es	Es (kg/cm²)
ρp	ρp (g/cm³)	γp	γp (kg/m³)	Es	Es (kg/cm²)
ρ	ρ (g/cm³)	γ	γ (kg/m³)	Es	Es (kg/cm²)
ρ	ρ (g/cm³)	γ	γ (kg/m³)	Es	Es (kg/cm²)

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



CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (P.C.H. n° 3274 A-I 28/03/2003)

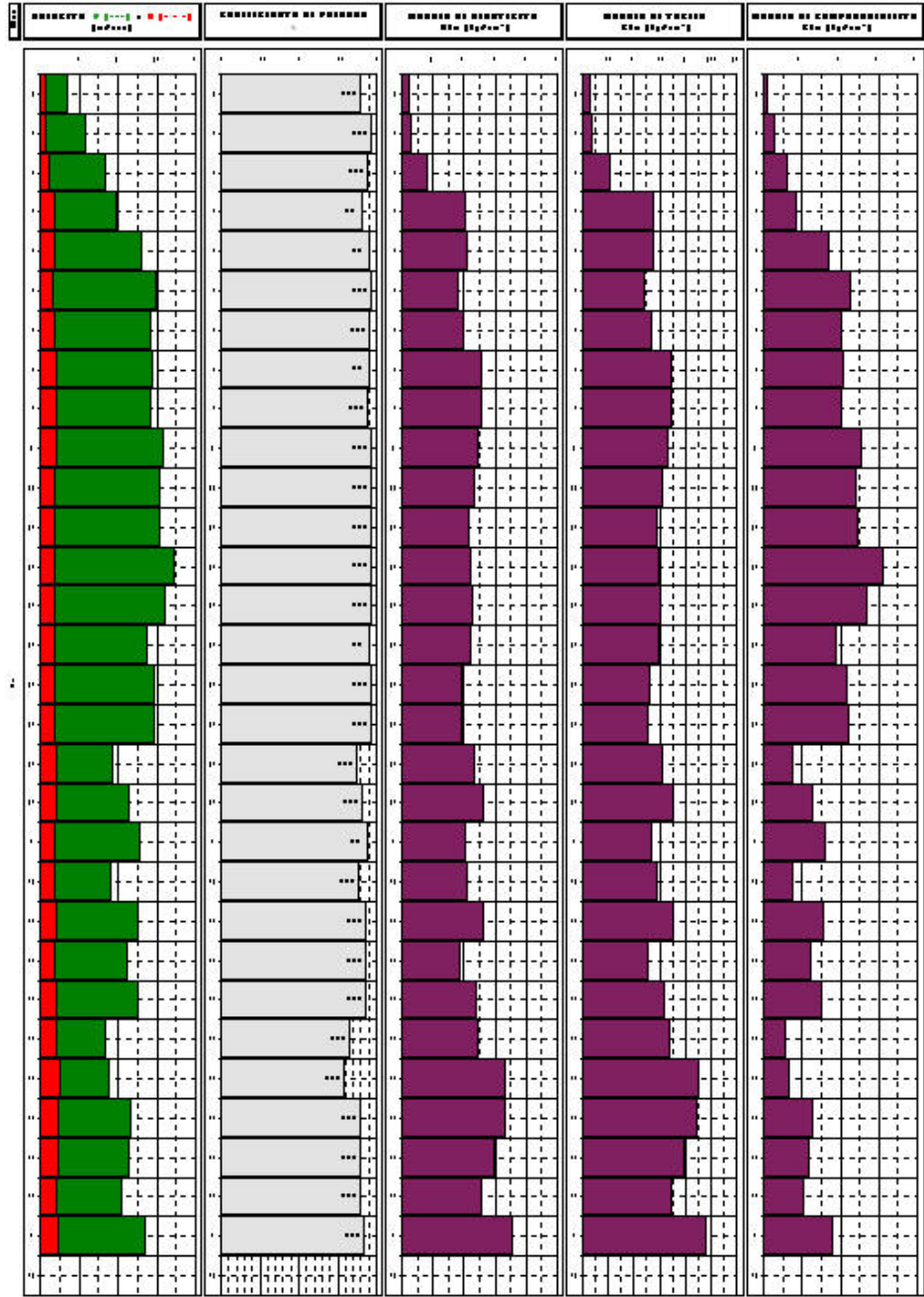
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{z_i}{V_i}}$$

$V_{s30} = 173$ m/sec
 $G_s = 595$ kg/cm²
CATEGORIA SUOLO = D

COMMITTENTE	Provincia Ra
CORO SISMICO	CPTU a-24
Località	Bellariva
Data acquisizione	06/02/06



GRAFICI DEI PARAMETRI ELASTICI DINAMICI



PROFONDITA' DAL PIANO CAMPAGNA											PROFONDITA' DAL PIANO CAMPAGNA											
		11	13	14	23	24	25	31	32	33			11	13	14	23	24	25	31	32	33	
1		72	67	96	53	69	77	72	104	64			1									+
2		139	100	103	98	72	100	148	122	159			2									
3		175	133	132	188	120	130	199	131	161			3	175	133	132	188	120	130	199	131	161
4		205	164	196	235	189	158	197	140	162			4	205	164	196	235	189	158	197	140	162
5		186	159	210	187	185	119	197	140	172			5	186	159	210	187	185	119	197	140	172
6		205	166	183	205	171	143	200	142	188			6	205	166	183	205	171	143	200	142	188
7		219	168	223	178	180	175	170	152	183			7	219	168	223	178	180	175	170	152	183
8		200	184	193	187	204	167	281	168	181			8	200	184	193	187	204	167	281	168	181
9		213	171	208	224	205	201	292	172	190			9	213	171	208	224	205	201	292	172	190
10		210	183	190	204	198	176	185	176	190			10	210	183	190	204	198	176	185	176	190
11		218	217	178	212	192	160	185	180	188			11	218	217	178	212	192	160	185	180	188
12		216	206	193	226	185	148	191	198	154			12	216	206	193	226	185	148	191	198	154
13		232	177	186	219	186	148	226	193	155			13	232	177	186	219	186	148	226	193	155
14		211	164	172	201	189	161	201	195	168			14	211	164	172	201	189	161	201	195	168
15		202	168	190	199	189	164	244	225	210			15	202	168	190	199	189	164	244	225	210
16		203	159	193	192	177	167	249	231	235			16	203	159	193	192	177	167	249	231	235
17		195	164	135	182	175	177	232	247	244			17	195	164	135	182	175	177	232	247	244
18		207	171	134	163	203	168	246	208	212			18	207	171	134	163	203	168	246	208	212
19		205	192	136	236	211	209	232	186	247			19	205	192	136	236	211	209	232	186	247
20		215	206	157	199	183	210	211	177	237			20	215	206	157	199	183	210	211	177	237
21		209	203	153	234	194	217	216	186	247			21	209	203	153	234	194	217	216	186	247
22		220	205	167	182	210	188	203	190	256			22	220	205	167	182	210	188	203	190	256
23		262	208	177	208	179	192	182	207	256			23	262	208	177	208	179	192	182	207	256
24		217	188	175	232	200	197	199	225	238			24	217	188	175	232	200	197	199	225	238
25		232	183	228	240	212	249	208	236	263			25	232	183	228	240	212	249	208	236	263
26			196		210	245	197	210	251	226			26	217	196	217	210	245	197	210	251	226
27			206		205	237	197	213	240	231			27	217	206	217	205	237	197	213	240	231
28			209		211	225	174	216		228			28	211	209	211	211	225	174	216	211	228
29					226	211	184	260		241			29	224	224	224	226	211	184	260	224	241
30					241	242	220	211		222			30	227	227	227	241	242	220	211	227	222
Vs 30		191	166	164	182	173	163	197	177	189			Vs 30	212	183	181	206	193	174	213	189	204
SUOLO		C	D	D	C	D	D	C	D	C			SUOLO	C	C	C	C	C	D	C	C	C

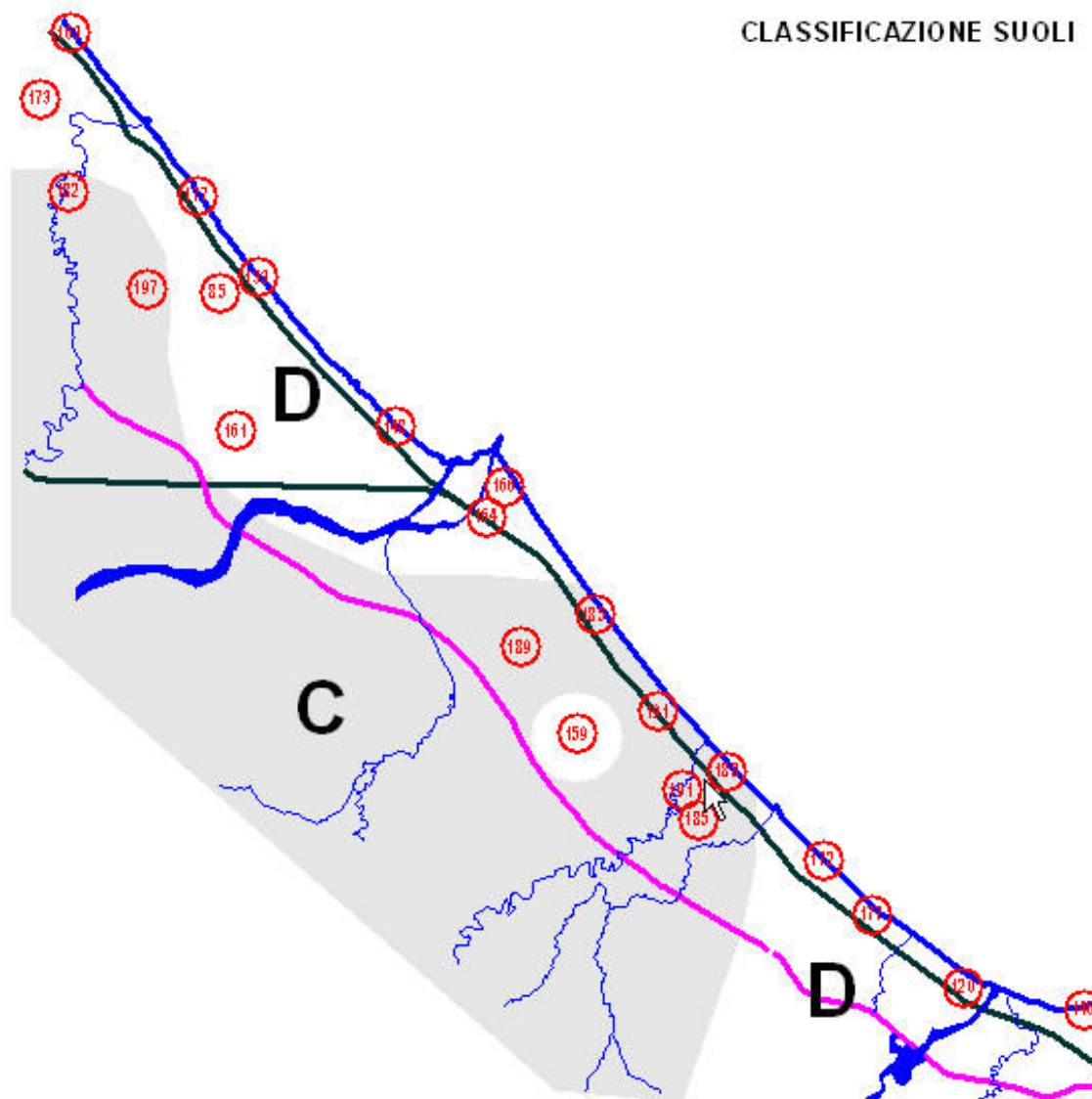




Provincia di Rimini

MICROZONAZIONE SISMICA
TERRITORIO PROVINCIALE

CLASSIFICAZIONE SUOLI

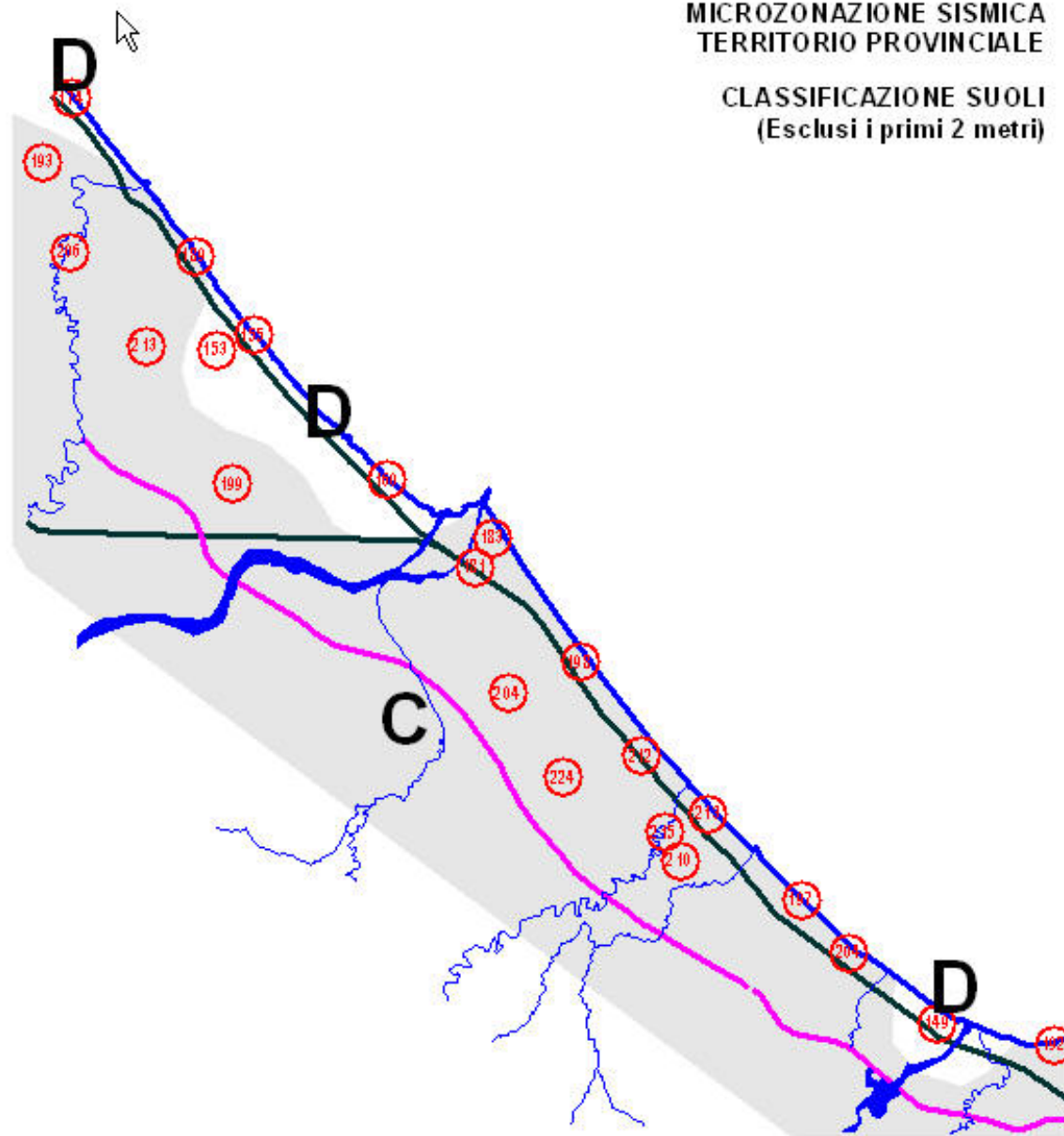




Provincia di Rimini

MICROZONAZIONE SISMICA
TERRITORIO PROVINCIALE

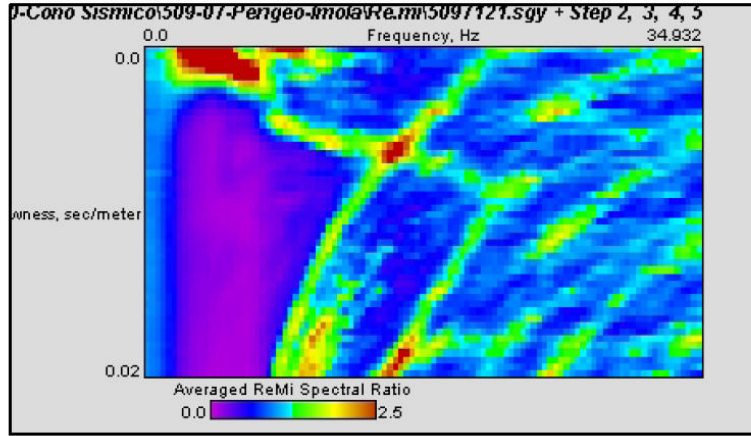
CLASSIFICAZIONE SUOLI
(Esclusi i primi 2 metri)



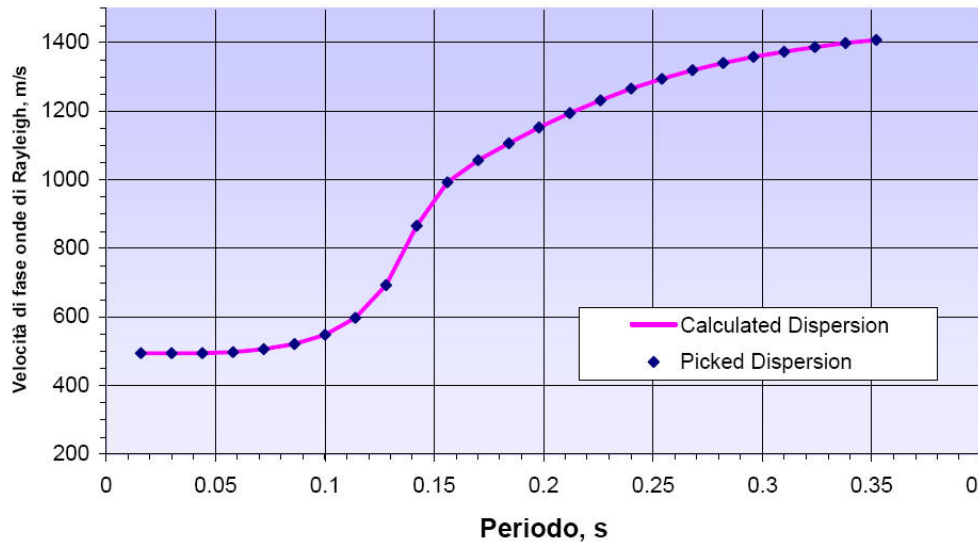
REFRACTION MICROTREMOR (Re.Mi.)

- Sezione -

p-f Immagine con modello di dispersione

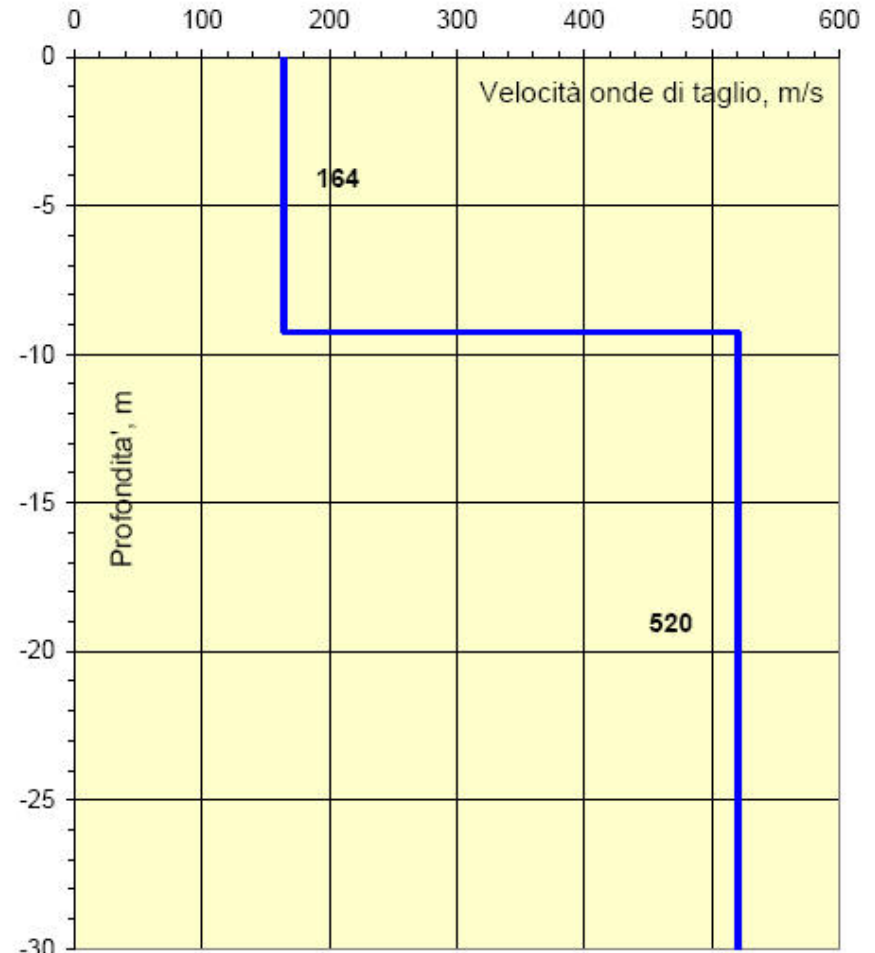


Curva di dispersione



MODELLO DI VELOCITA' ONDE DI TAGLIO

- Sezione -



Classificazione sismica dei suoli (P.C.M. n° 3341 del 14/03/2005)

$V_{s30} = 311 \text{ m/s}$

Cat. Suolo C

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)

RISPOSTA SISMICA LOCALE

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.

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

$V_s - V_{s_{30}} - G_o$

Frequenze naturali



MICROZONAZIONE SISMICA – INDAGINI DI FASE 2 E 3

SISMICA PASSIVA
Bassa risoluzione
Indagini RE. MI. (**RE**fraction **MI**crotremor);
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;

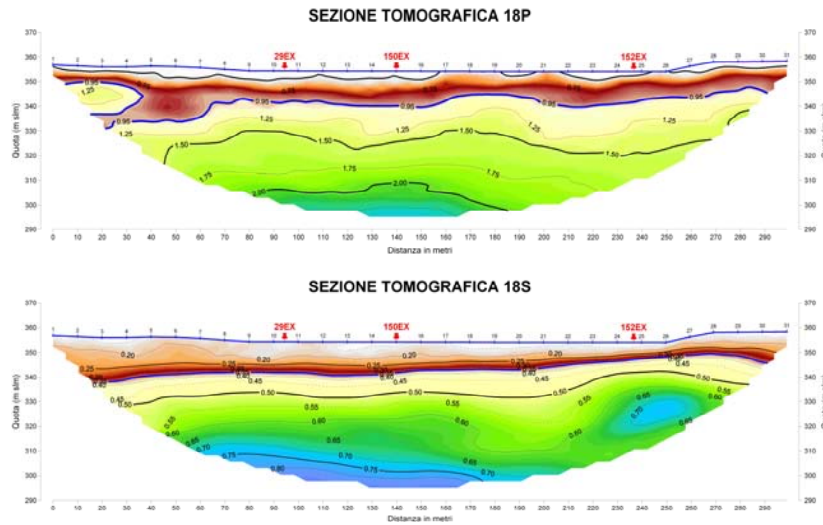
Obiettivi per le indagini sismiche per lo studio della RSL

- Geometria dei terreni;
- Geometria del bedrock;
- Velocità delle onde di taglio V_s – profilo V_s del suolo;
- Modulo di Taglio G_0 – profilo G_0 del suolo;
- Modulo di Elasticità dinamico E_0 (non sempre necessario);
- Analisi dell'anisotropia
- Rigidità sismica;
- Frequenza e periodo fondamentale del suolo;



VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

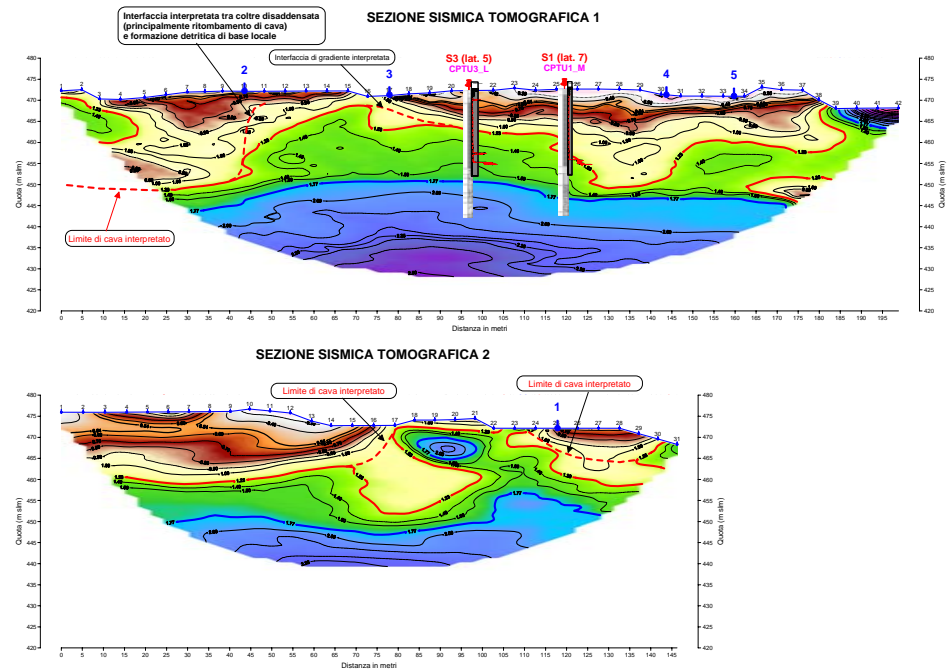
SITO SEMPLICE



Cantiere in Romania per nuova sede ferroviaria

ANALISI DEL SITO

SITO COMPLESSO

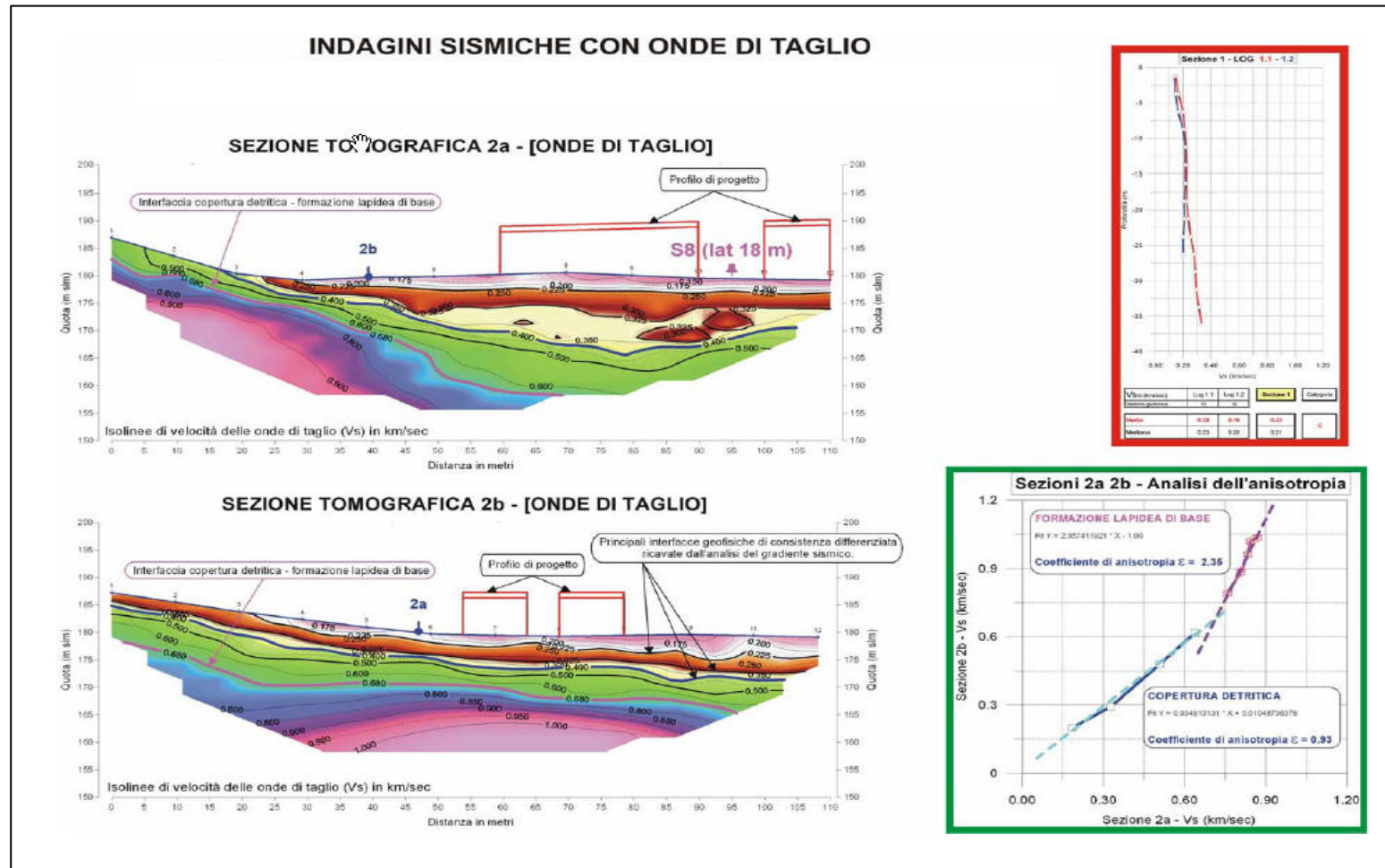


Cantiere in Italia per costruzione di nuova casa circondariale



VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

ANALISI ANISOTROPIA DEL SITO

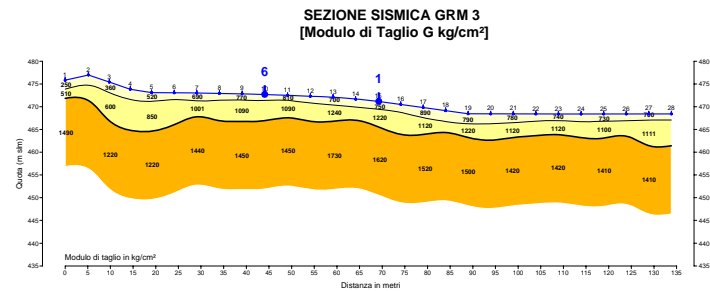
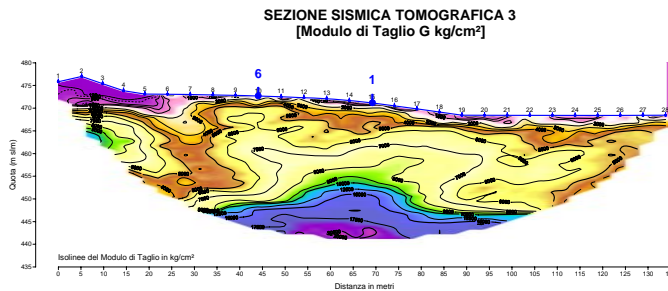
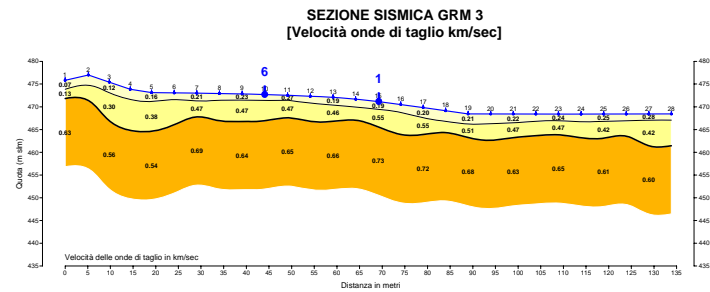
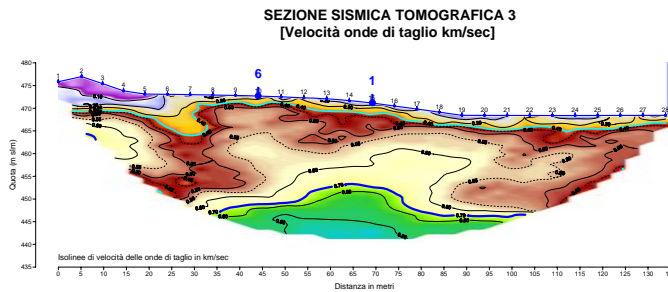
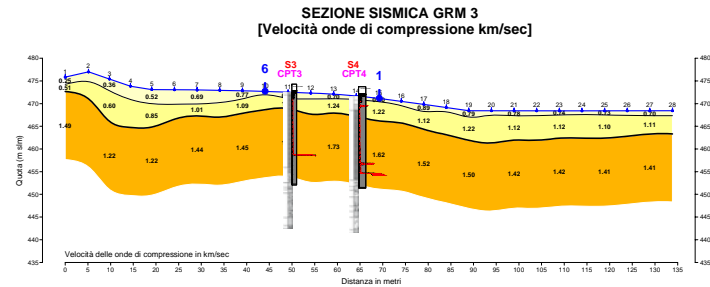
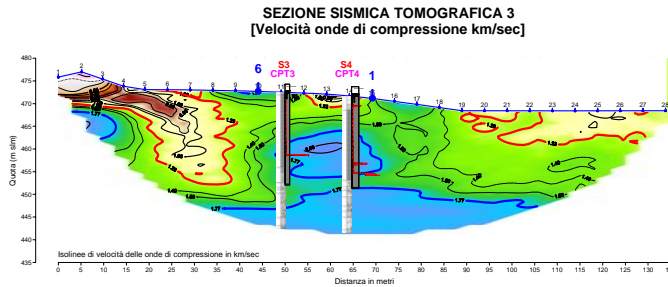


VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

METODOLOGIA DI ANALISI

ELABORAZIONE TOMOGRAFICA

ELABORAZIONE TRADIZIONALE GRM



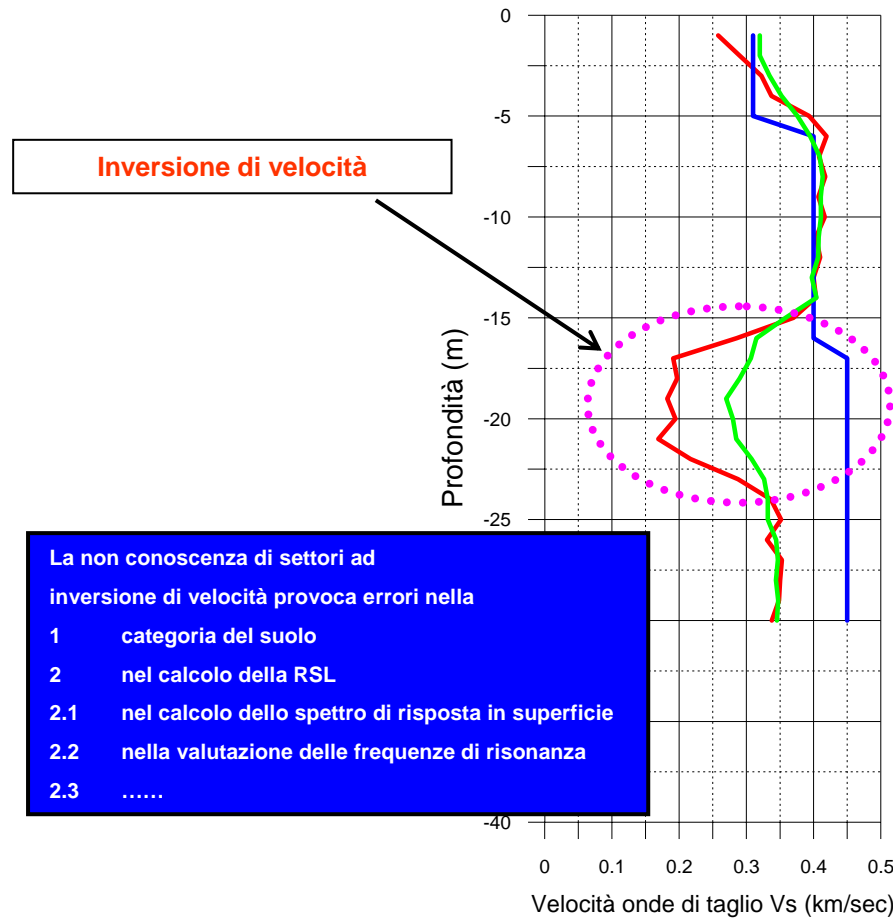
Cantiere in Italia in zona di ritombamento di cava



VARIABILITA' ED ANISOTROPIA ONDE DI TAGLIO

PROBLEMA DEL LOG SISMICO

LOG SISMICO S1



110	Sabbia fine (0.25 mm) con non più del 5% di argilla. Presente anche qualche sabbia grossolana.
120	Sabbia limosa (massima sabbia grossolana presente). Ghiaia sabbiosa (massima sabbia grossolana presente). Modesto contenuto di argilla. Non plastica.
130	Sabbia media (fine limosa) massime limosità di argilla. Uniforme, unitaria, moderatamente deformata, non plastica.
140	Sabbia media (fine limosa) grigia. Uniforme. Presenti livelli centimetrici debolmente argillosi e tratti centimetrici nerastri. Difficile a probabile apporto di materiale vulcanico.
150	Da 0.50 m molto deformata.
160	Sabbia, non plastica.
170	Presente terzo ghiaia sabbiosa (third 0.5-1 cm).
180	Sabbia media (fine limosa) grigia. La ghiaia è di natura calcarea, rotonda, di forma sub-sferica (second 0.5-2 cm).
190	La frazione sabbiosa tende a divenire fine verso il basso stratigrafico.
200	Sabbia, deformata, non plastica.
210	Presenti interstratificazioni dello spessore centimetrico in cui la percentuale della sabbia passa a medio grado.
220	Visibili laminationi nerastre dovute a probabile apporto di materiale vulcanico.
230	Argilla argilla sabbiosa grigia, con qualche sabbia grossolana presente. Unitaria, omogenea, plastica.
240	Dimensioni di sabbia fine limosa debolmente argillosa con tratti centimetrici di limo argilloso grigio.
250	Sabbia, moderatamente deformata, debolmente plastica in senso orizzontale.
260	Unità consistente, plastica in fase orizzontale.
270	Dimensioni di sabbia fine limosa debolmente argillosa con tratti centimetrici di limo argilloso grigio. Sabbia, moderatamente deformata, debolmente plastica in fase orizzontale.
280	Unità argillosa sabbiosa grigia; presentati tratti decimetrici in cui prevale la frazione sabbiosa.
290	Visibili nodi e frammenti sferoidali.
300	Unità, da poco a moderatamente consistente, plastica.
310	La frazione sabbiosa diminuisce verso il basso stratigrafico.
320	Unità con argilla grigia; presenti laminationi sabbiose, aspetto secante.
330	Unità consistente, plastica.

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)

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

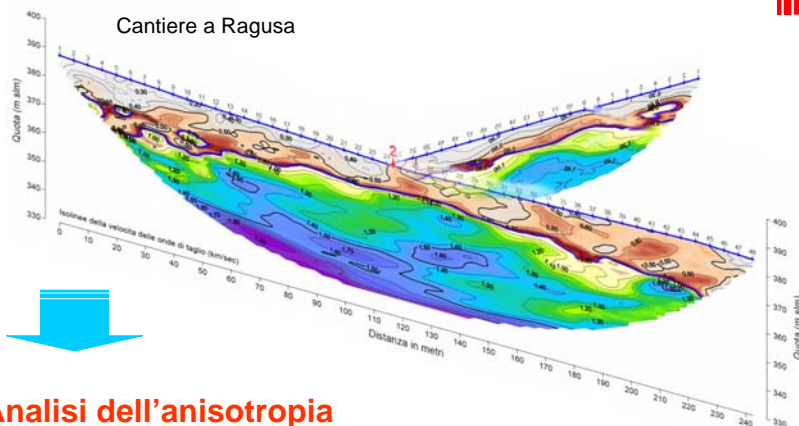
$$G_0 = 3233 \text{ Kg/cm}^2$$

CATEGORIA SUOLO = B

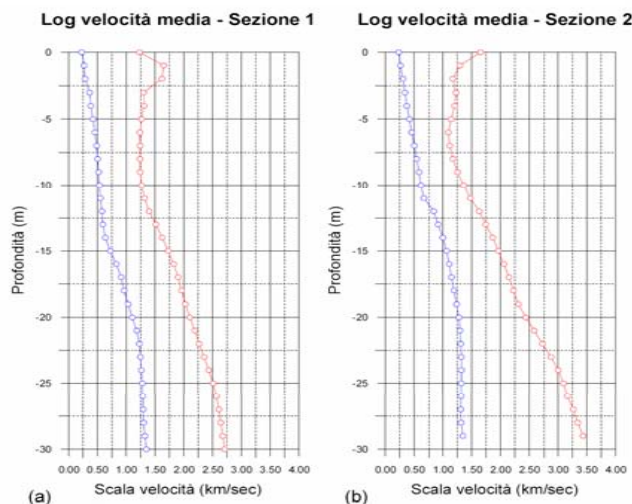


SISMICA MEDIA RISOLUZIONE

Indagini sismiche tomografiche ad onde di taglio



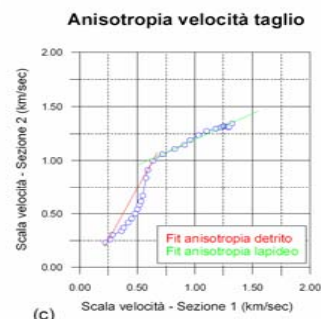
Analisi dell'anisotropia



Log parametri velocità medi ricavati sull'intera sezione

Velocità onde di compressione

Velocità onde di taglio



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

- 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.

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



SISMICA MEDIA RISOLUZIONE

Indagini sismiche tomografiche ad onde di taglio

Mappatura in periodo fondamentale

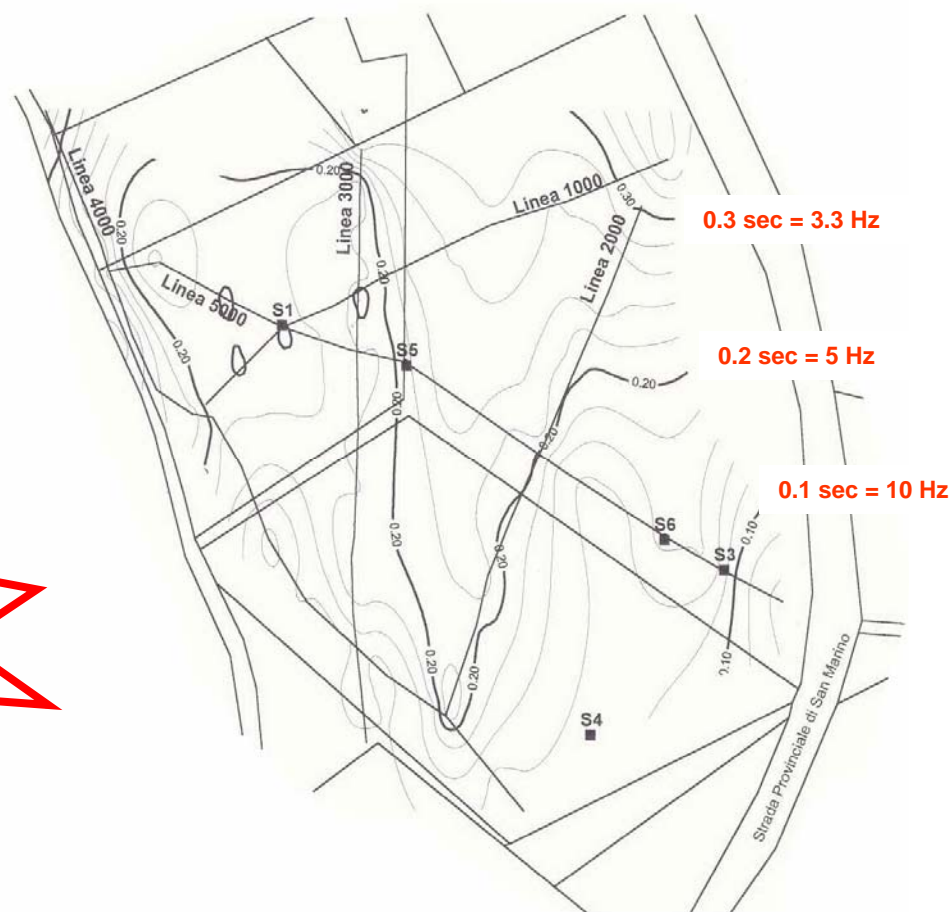
Esempio di zonazione sismica per una lottizzazione

Caratterizzazione areale del sito

- 1) Mappatura in V_s
- 2) Mappatura in G_o
- 3) Mappatura in frequenza e periodo fondamentale

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

H = Spessore dello strato
 T_n = Periodo fondamentale
 V_s = Velocità onde di taglio
n = Forma modale dell'onda
(n = 0, 1, 2, ...)



SISMICA BASSA RISOLUZIONE

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

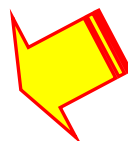


SISMICA PASSIVA PER ANALISI MICROTREMORI

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).

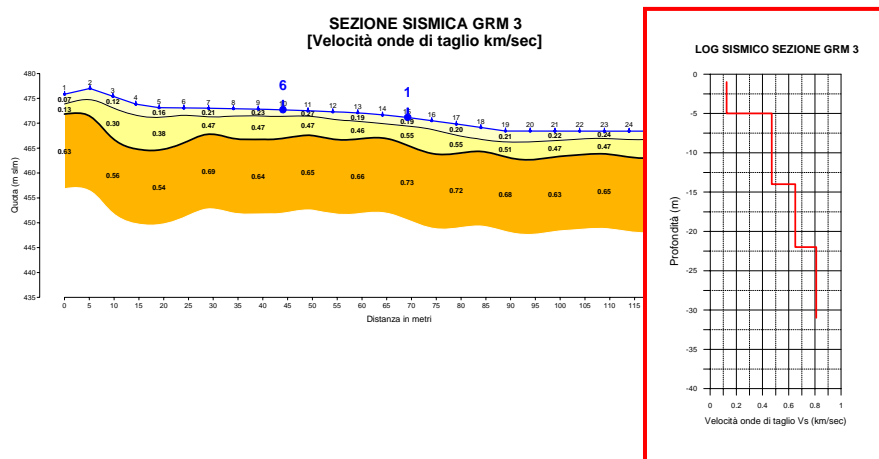


SISMICA BASSA RISOLUZIONE

SISMICA ATTIVA

GENERAZIONE ONDE DI TAGLIO

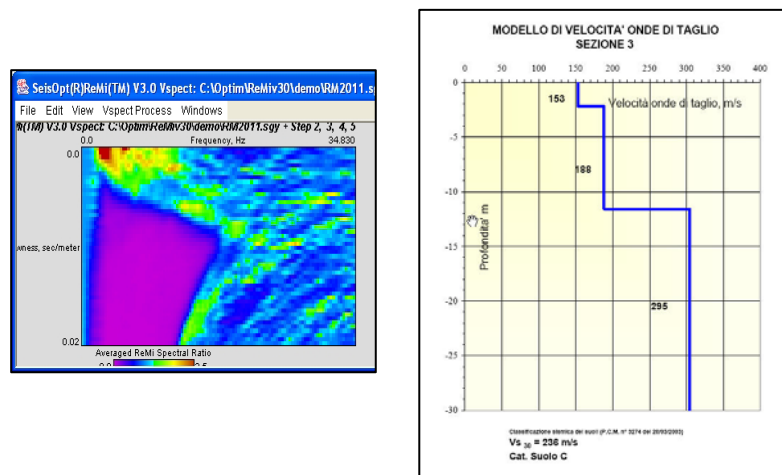
Indagini sismiche a rifrazione GRM ad onde di taglio;



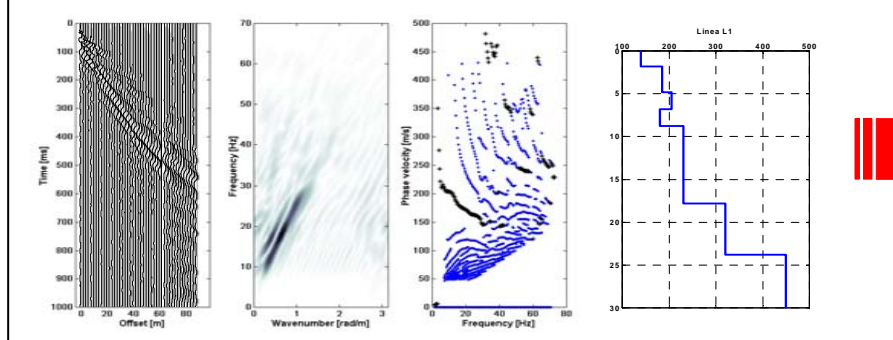
SISMICA PASSIVA

ANALISI MICROTREMORI (NOISE AMBIENTALE)

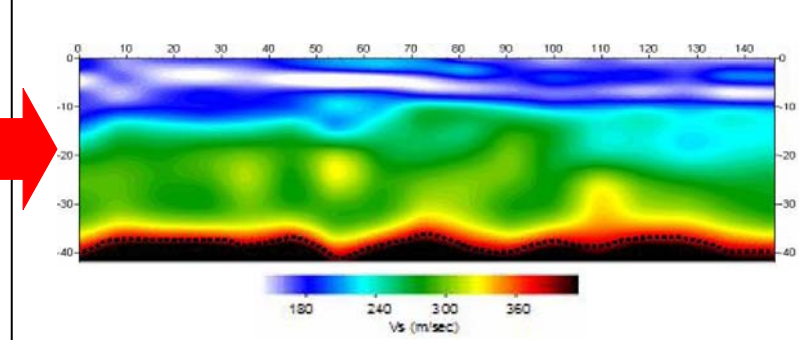
Re.Mi. (fornisce LOG Vs)



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

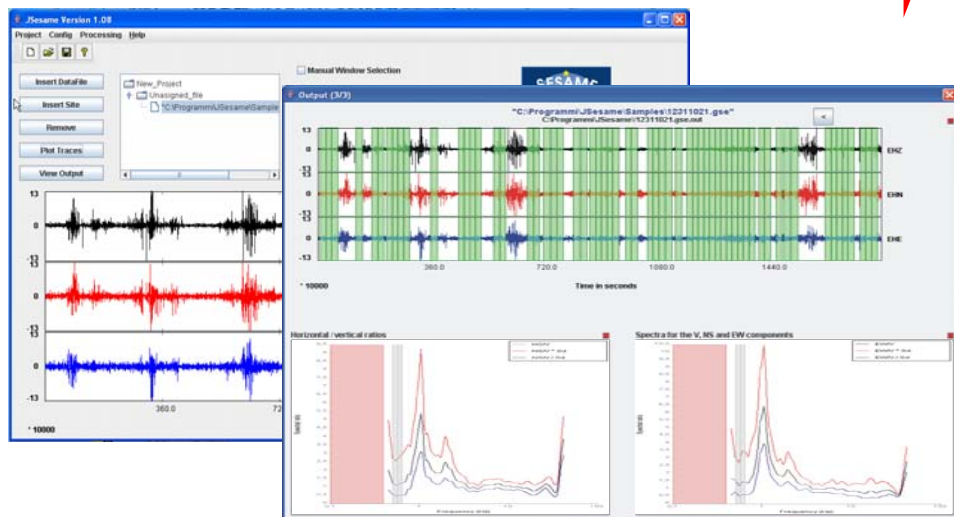


+ SASW = MASW (interpolazione tra LOG Vs)



HVSR - NAKAMURA

(SOLO per l'analisi della frequenza di risonanza)

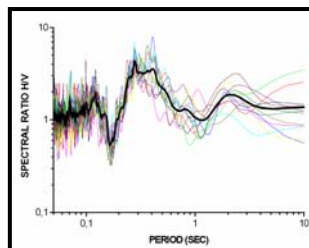


$$V_{s(2n-1)} = \frac{4 \cdot H}{T_n}$$

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.



HVSR - NAKAMURA

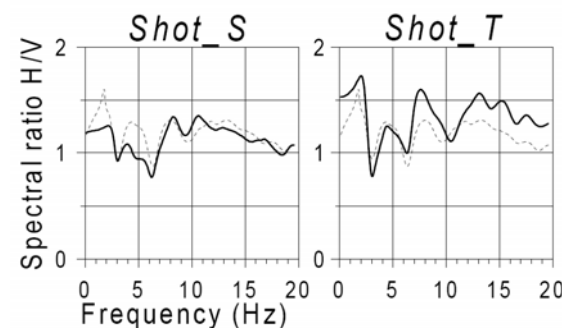
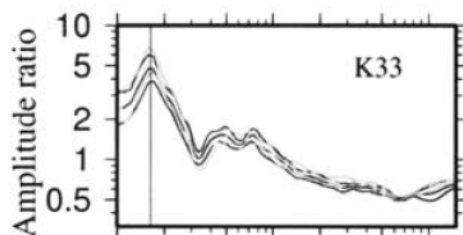
(SOLO per l'analisi della frequenza di risonanza)

Esempio di mala sismica

Frequenza																
h	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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



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).

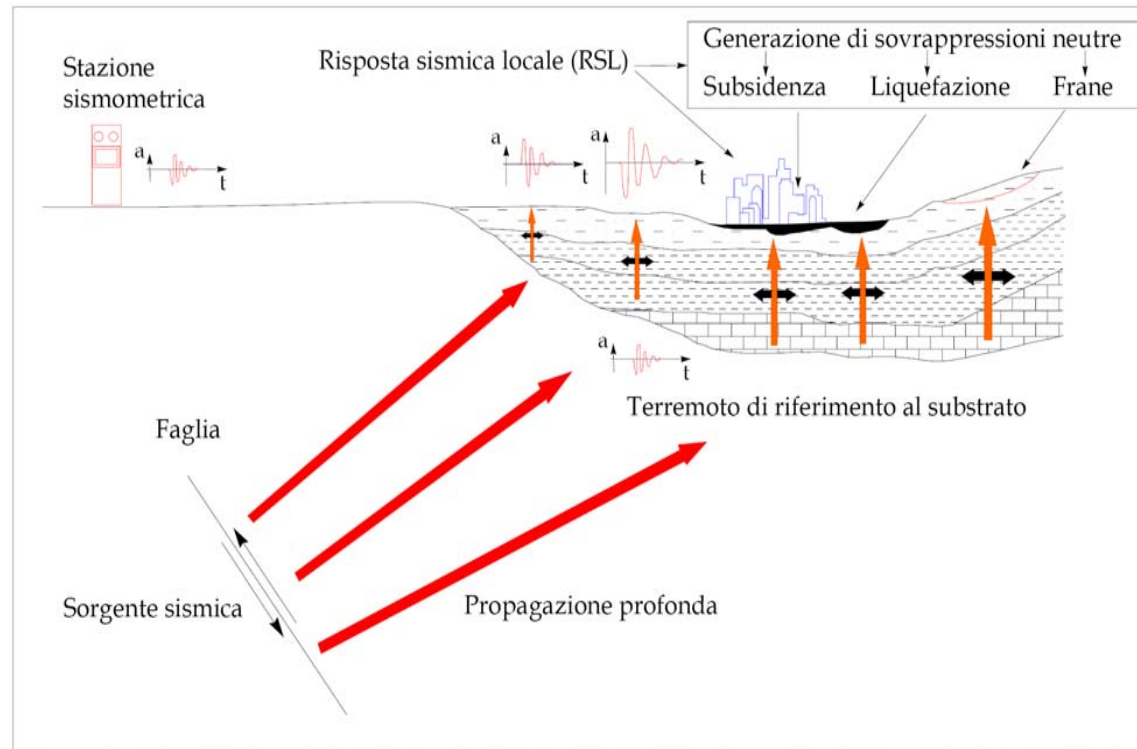
Campagna di misure con sito di riferimento:

- 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;



RISPOSTA SISMICA LOCALE

Propagazione di un evento sismico dalla sorgente al sito e problematiche geotecniche



Per giungere alla determinazione della risposta sismica locale un sito deve essere sottoposto a specifiche indagini di dettaglio finalizzate alla definizione di tutte le proprietà puntuali che la caratterizzano. Tali indagini riguardano la definizione dei seguenti aspetti:

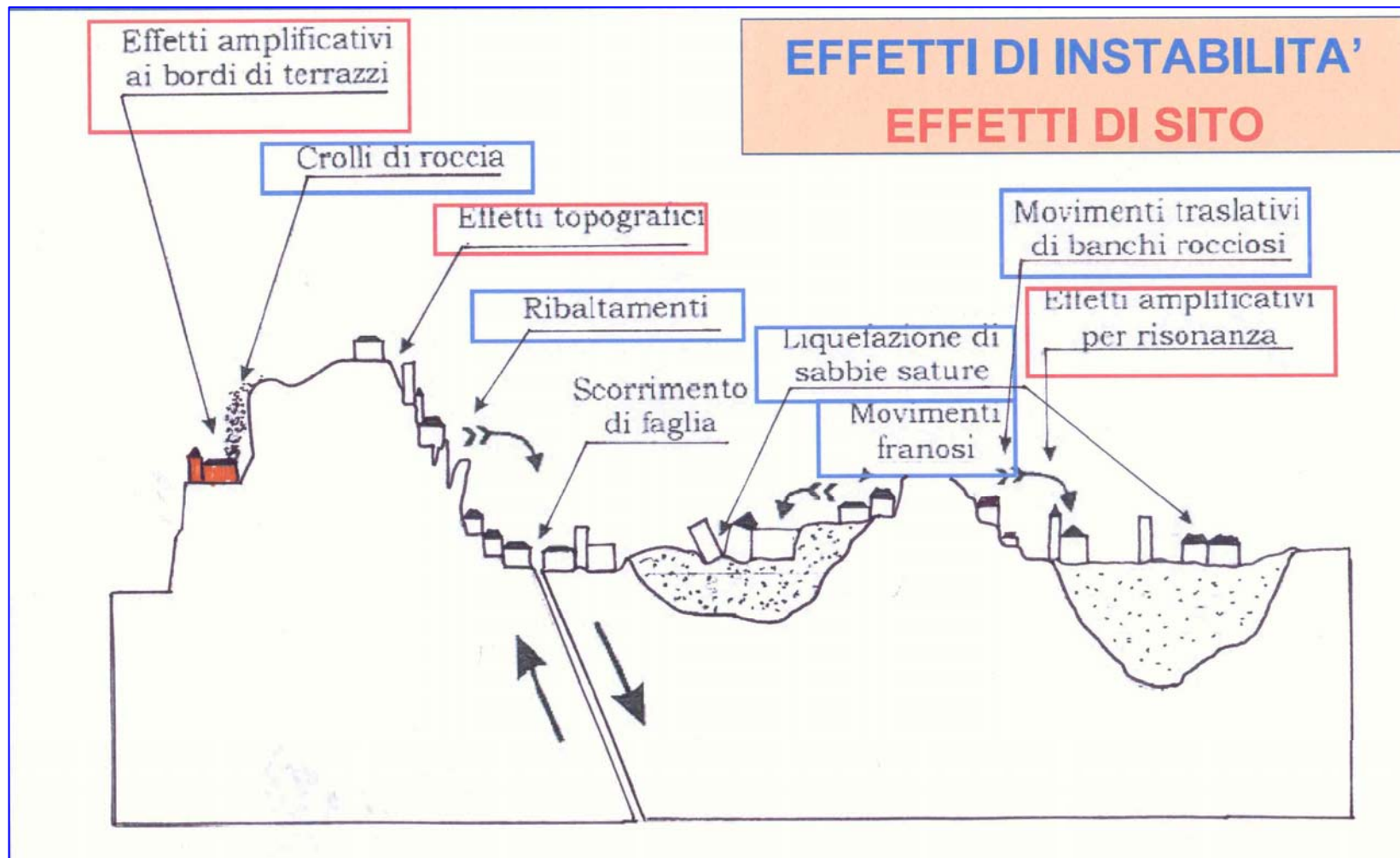
1. Stratigrafia delle formazioni superficiali con dettagliata definizione dell'andamento dei contatti tra di esse;
2. Profili di velocità delle onde sismiche trasversali e longitudinali dentro le formazioni superficiali;
3. Caratteristiche meccaniche dei terreni delle formazioni superficiali con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di carichi ciclici e dinamici;
4. Morfologia di dettaglio dell'area.

Fattori geometrici e meccanici responsabili della variabilità della risposta sismica locale di un sito:

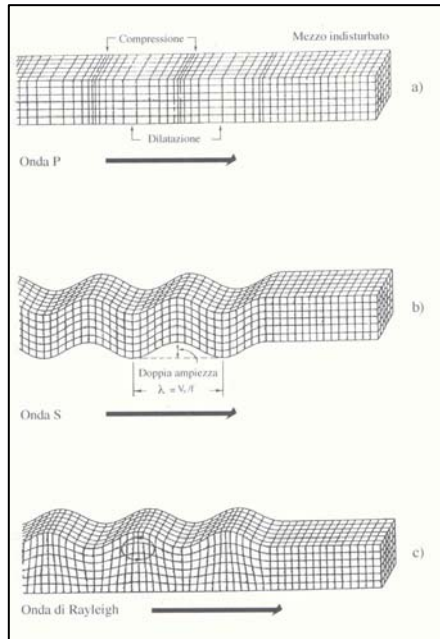
- 1) eterogeneità dei depositi in direzione orizzontale e verticale;
- 2) comportamento non lineare e dissipativo dei terreni;
- 3) irregolarità morfologiche superficiali e sepolte.



RISPOSTA SISMICA LOCALE – EFFETTI DI SITO



AZIONE SISMICA E MECCANICA DEI TERRENI



Il fenomeno di vibrazione prodotto da un terremoto è il risultato della propagazione a distanza dalla sorgente di onde elastiche di volume.

In un mezzo elastico ideale le onde sismiche associate ad episodi deformativi si propagano con velocità V_p pari a:

$$V_p = \sqrt{\frac{Mv}{\rho}}$$

dove:

Mv = modulo di rigidezza a compressione monodimensionale

ρ = densità del mezzo

La direzione di propagazione è quella parallela allo spostamento dell'elemento di volume.

Le onde connesse a fenomeni deformativi di tipo distorsionale sono invece caratterizzate da una velocità di propagazione V_s pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

dove:

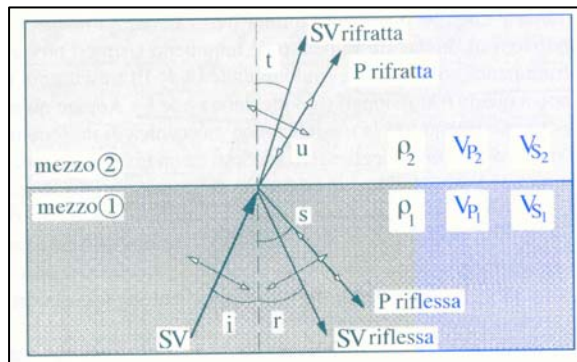
G = modulo di rigidità al taglio del materiale

ρ = densità del mezzo

La direzione di propagazione è quella perpendicolare allo spostamento dell'elemento di volume.

Generalmente il campo di spostamenti prodotti dalle onde S è secondo due componenti perpendicolari: le onde Sh polarizzate sul piano orizzontale e le Sv polarizzate sul piano verticale. **Un'onda S è quindi la somma vettoriale delle sue componenti.**

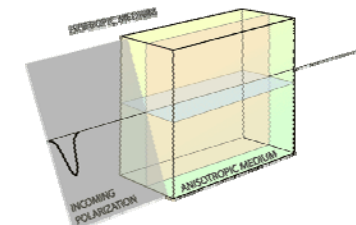
$$G = \rho \cdot V_s^2 = \frac{\gamma}{g} \cdot V_s^2$$



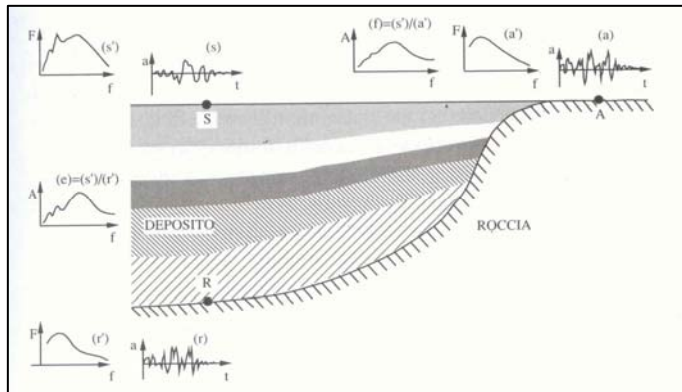
Nell'attraversare l'interfaccia tra due materiali si verificano:

- 1) Rifrazioni e riflessioni di onde;
- 2) Generazione di onde superficiali;
- 3) Variazioni di ampiezza.

Fenomeno dello Splitting



SUOLO IDEALE



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.

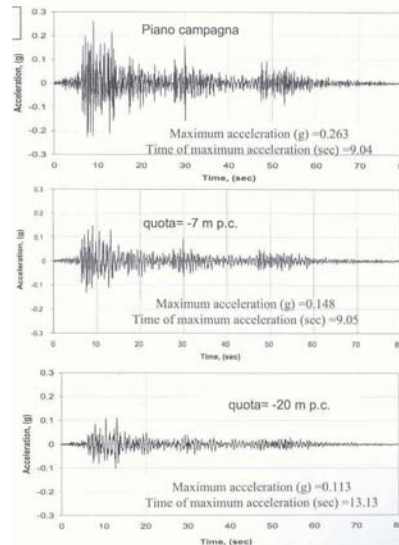
Il terreno agisce come filtro incrementando le ampiezze in corrispondenza di alcune frequenze e riducendole in altre.

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

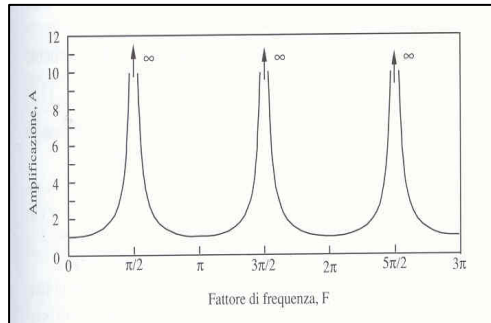
FUNZIONE DI AMPLIFICAZIONE

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

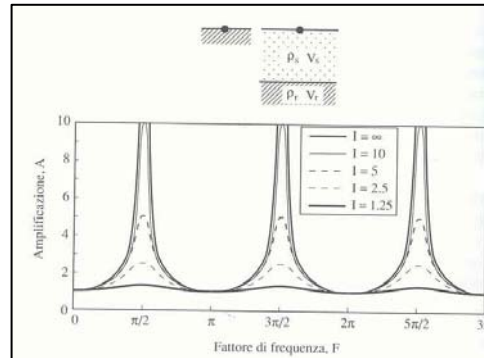
La **funzione di amplificazione** corrisponde al modulo del rapporto tra gli spettri al terreno ed al bedrock ed indica quali componenti quali componenti del moto sismico sono state amplificate nel passaggio attraverso il terreno e quali smorzate.



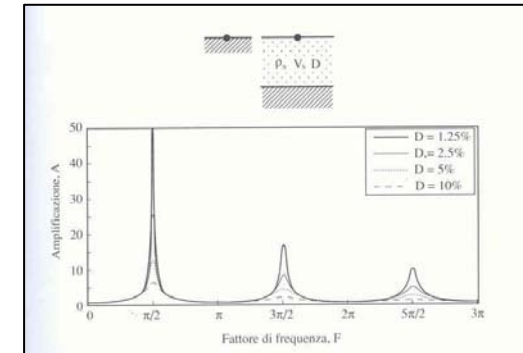
I **profili di suoli** possono essere via via più complessi ed esistono soluzioni teoriche dal punto di vista geotecnico da un modello semplicistico monodimensionale rappresentato da uno strato omogeneo di spessore H che si appoggia sul bedrock rigido ad un complesso multistrato a parametri geotecnici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

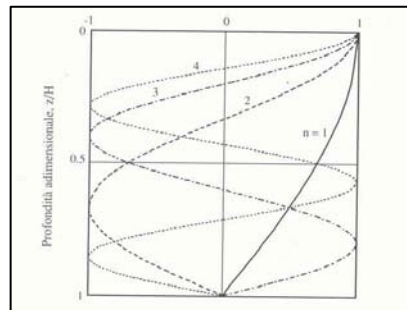
Le frequenze (ω_n e f_n) corrispondenti ai massimi della funzione di amplificazione si chiamano **frequenze naturali** di vibrazione dello strato e sono in numero infinito ed equispaziate essendo la $A_r(\omega)$ periodica.

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.

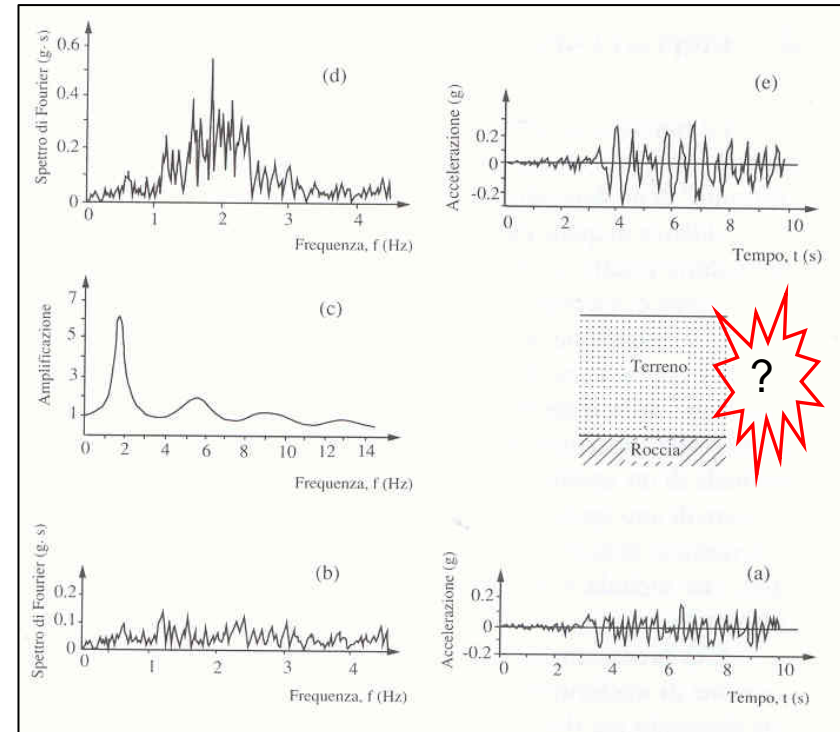
Se ad esempio la frequenza di vibrazione del suolo è prossima ai 2 Hz ed il maggiore contenuto energetico è sui 5-6 Hz allora la risposta di sito potrà risultare più elevata per queste frequenze che non sulla fondamentale.

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

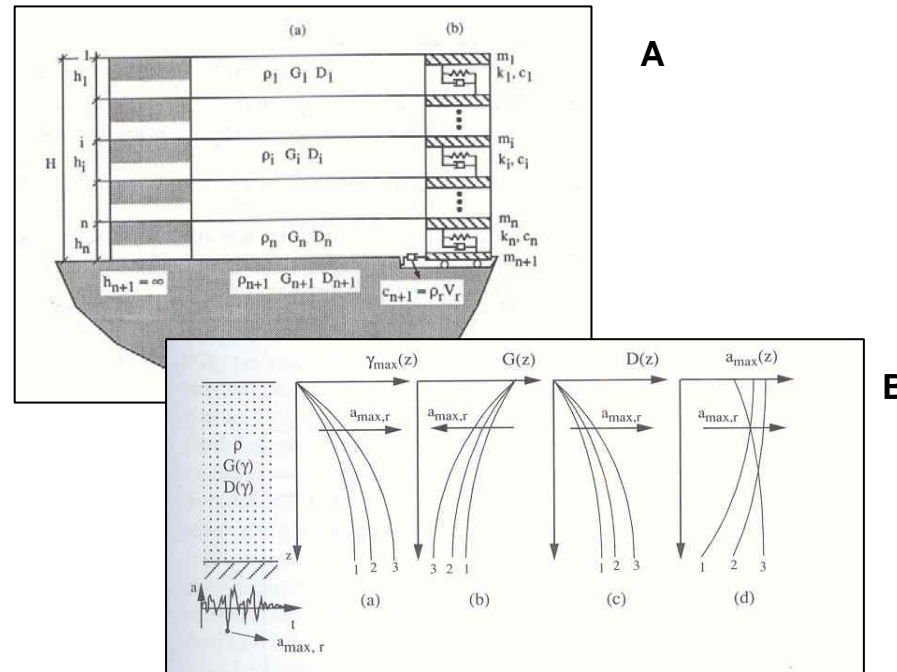
OUTPUT



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:

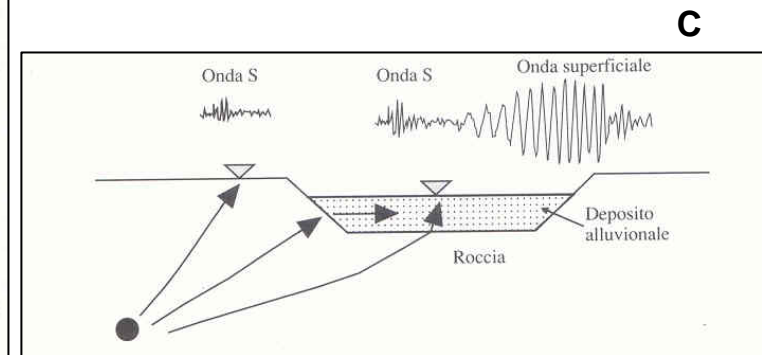
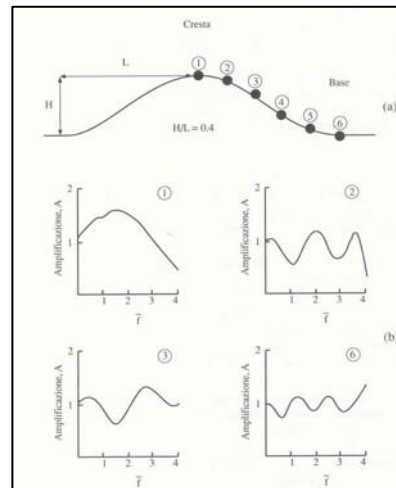
- A) eterogenei e stratificati;**
- B) presentano un comportamento non lineare;**
- C) esistono effetti di bordo di valli alluvionali;**
- D) effetti della topografia.**



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



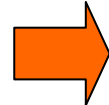
**MODELLO DI CALCOLO
RISPOSTA SISMICA LOCALE DI UN SOTTOSUOLO IDEALE
FASE 1- FASE 2**

**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**

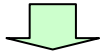
Coltre, detrito, ect.

Formazione lapidea.

Modello geologico tecnico

SUOLO CATEGORIE

Individuazione aree a maggior rischio



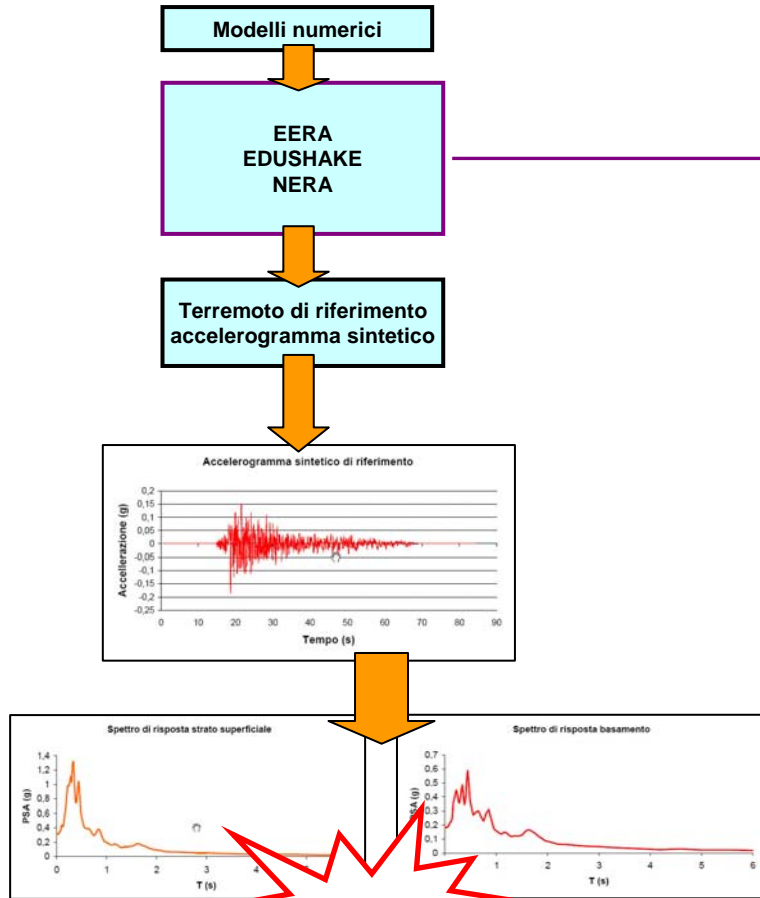
MICROZONAZIONE SISMICA



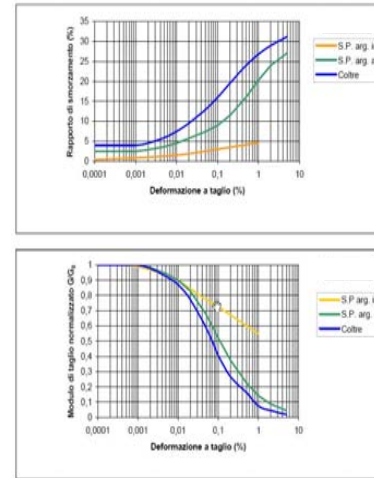
FASE 2



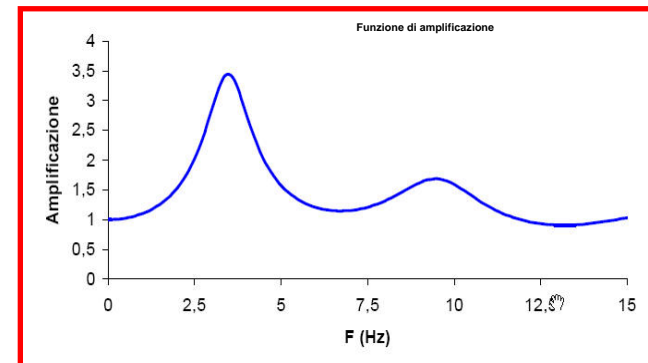
**INDIVIDUAZIONE AREE A MAGGIOR RISCHIO
FASE 1 – FASE 2**



Vs Go



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



Le presenti slide sono scaricabili dal sito

WWW.PROGEO.INFO

GRAZIE DELL'ATTENZIONE