

## Parte Quarta

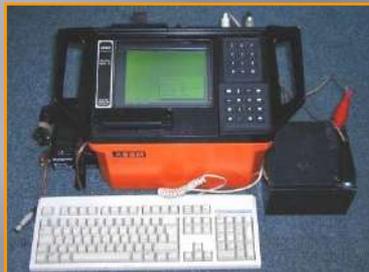
# Strumentazione, metodi di misura, analisi dei dati

# TECNICHE DI PROSPEZIONE

- PROSPEZIONI MASW (Onde superficiali – Vel. di Fase e di Gruppo)
- PROSPEZIONI ReMi (Onde superficiali – Vel. di Fase e di Gruppo)
- SISMICA IN FORO TIPO DOWN-HOLE
- SISMICA IN FORO TIPO CROSS-HOLE
- HOLISURFACE (Onde superficiali – Velocità di Gruppo)
- MISURE HVSR (Nakamura)

## STRUMENTAZIONE MASW - ReMi

Sismografo multicanale



Geofoni



Cavo sismico



## SISTEMI DI ENERGIZZAZIONE (Prove attive)

Massa battente



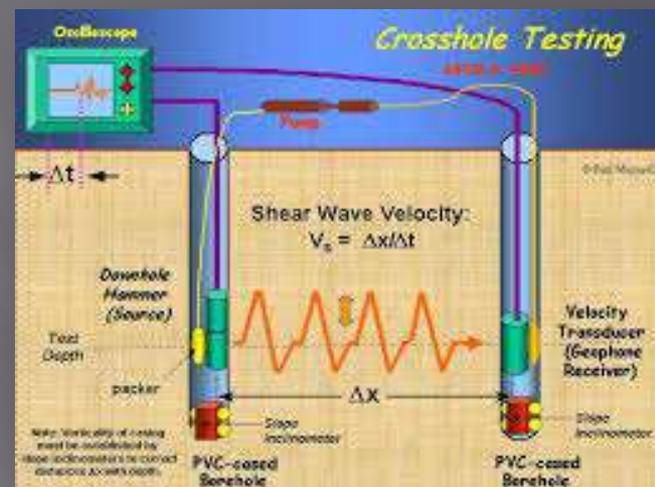
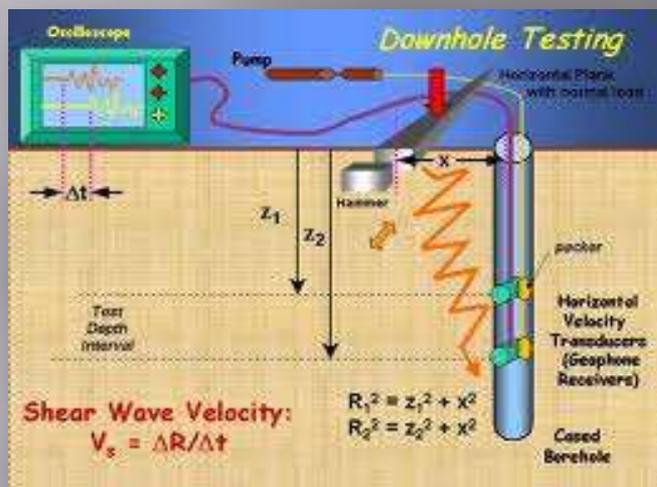
Fucile sismico



Esplosivo

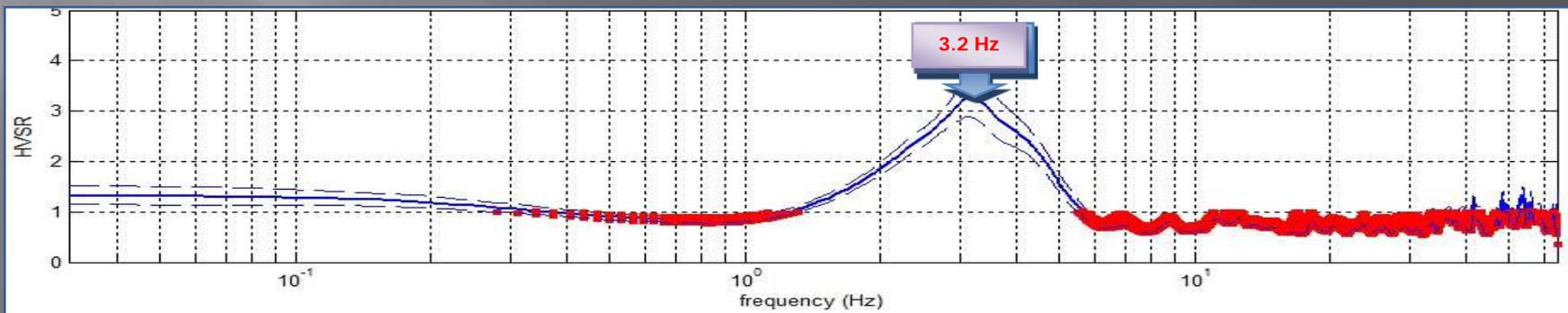


# SISMICA IN FORO: DOWN HOLE – CROSS HOLE



- Più affidabili per la determinazione del parametro  $V_s 30$  e del profilo di velocità delle onde S
- Costi maggiori rispetto alle prospezioni di superficie (MASW, ReMi), che comprendono anche la terebrazione ed il condizionamento di un foro di sondaggio, che diventano due nel caso delle cross hole
- Sono commissionate soprattutto dalle amministrazioni pubbliche e dai privati nell'ambito della progettazione di opere importanti
- Necessaria strumentazione allo stato dell'arte

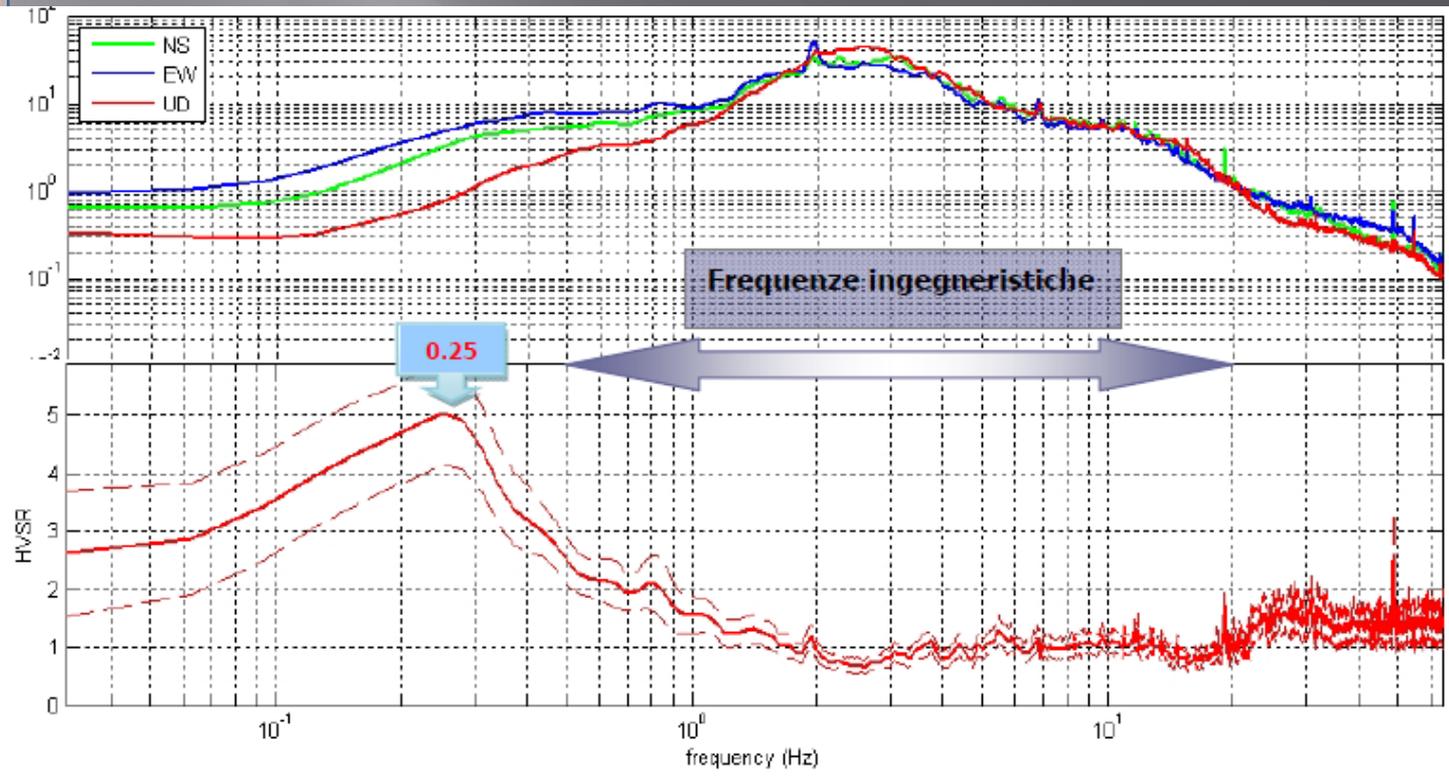
# HVSR – Horizontal to Vertical Spectral Ratio



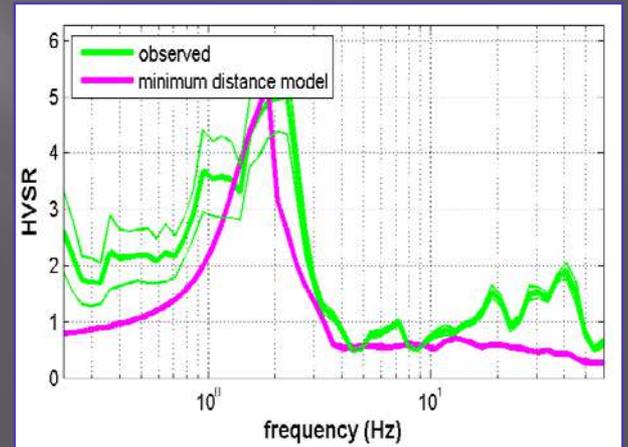
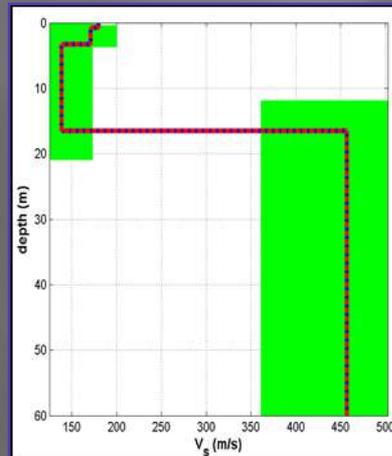
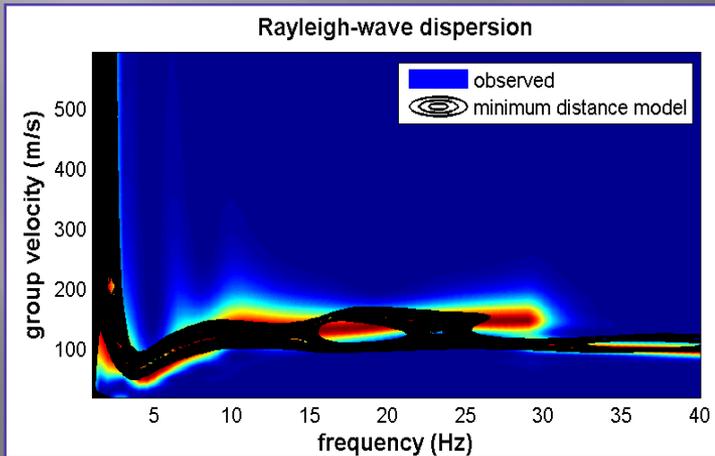
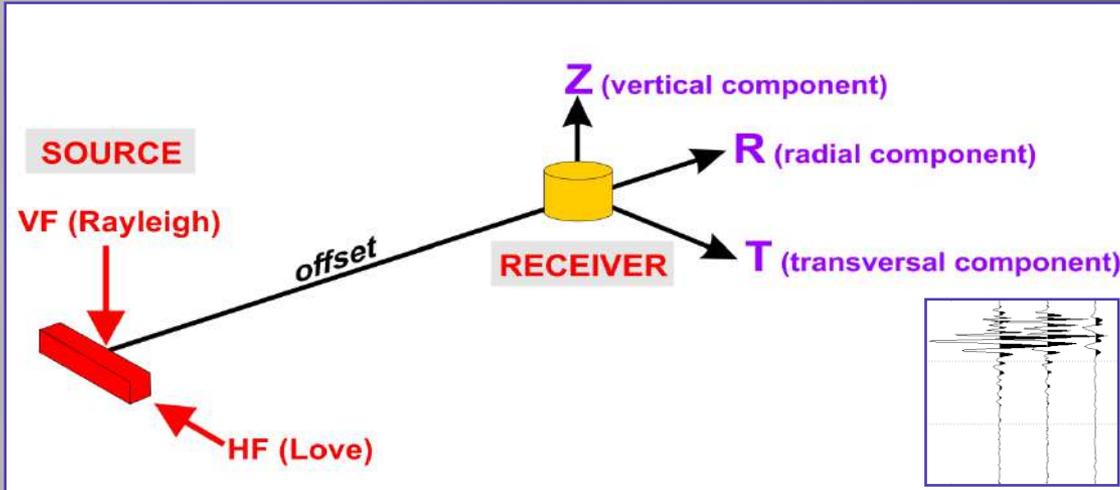
# HVSR – Horizontal to Vertical Spectral Ratio



Lo strumento indicato funziona con una terna di sensori velocimetrici ad alta sensibilità ed alta stabilità, con frequenza naturale pari a 2 Hz: ciò consente di far conto su una sensibilità strumentale in grado di esplorare i campi di frequenza (ordine di 0,1 Hz) che interessano la prospezione



# HOLISURFACE



# HOLISURFACE

Tale tipo di indagine è una evoluzione (oggetto di brevetto [www.holisurface.com](http://www.holisurface.com)) del metodo di analisi delle velocità di gruppo, quindi basata sulla dispersione delle onde di superficie (velocità di gruppo; rapporto tra spazio e tempo di arrivo dell'onda frequenza per frequenza) e la sua analisi secondo l'approccio FVS (Full Velocity Spectrum).

L'acquisizione dei dati HS (attivi) avviene grazie ad un unico geofono triassiale. Lo stesso geofono è poi utilizzato per registrare i dati passivi utili a definire il rapporto spettrale H/V. I dati (attivi e passivi) sono poi analizzati congiuntamente.

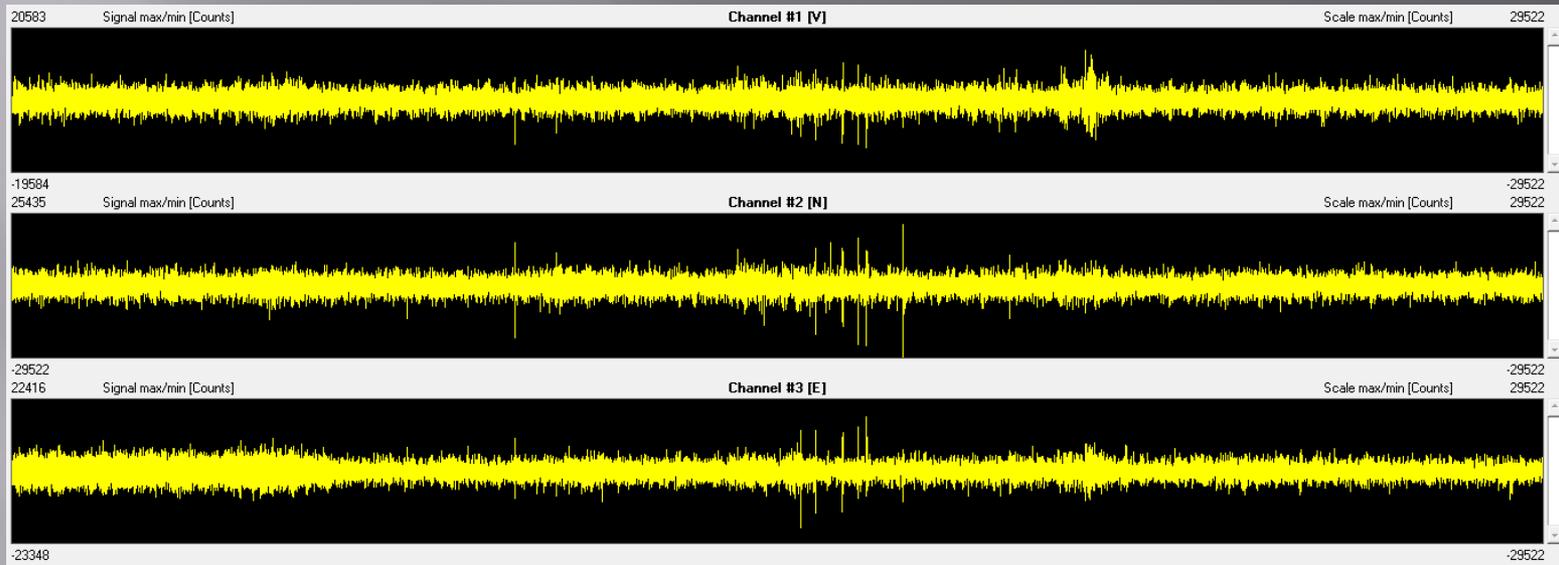
Acquisire un dato per analisi HoliSurface® non è molto diverso rispetto alle tradizionali acquisizioni di sismica attiva (ad es. MASW).

La differenza sostanziale rispetto alla cosiddetta tecnica MASW, sta nel fatto che per effettuare acquisizioni e analisi HoliSurface®, invece di utilizzare n geofoni a componente singola, si utilizza un unico geofono a tre componenti (geofono triassiale) posto ad una certa distanza (offset) dalla sorgente e opportunamente orientato in modo da raccogliere i dati relativi alla componente verticale (Z), radiale (R) e trasversale (T).

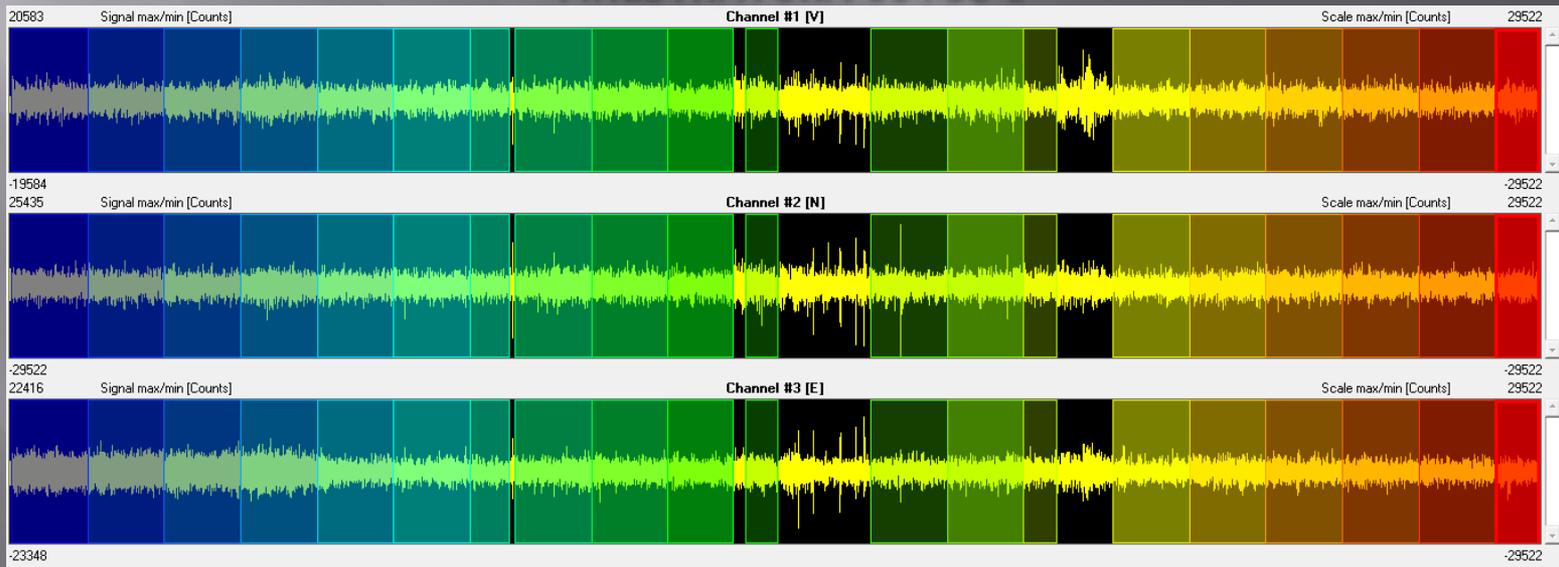
*(Giancarlo Dal Moro, 2020)*



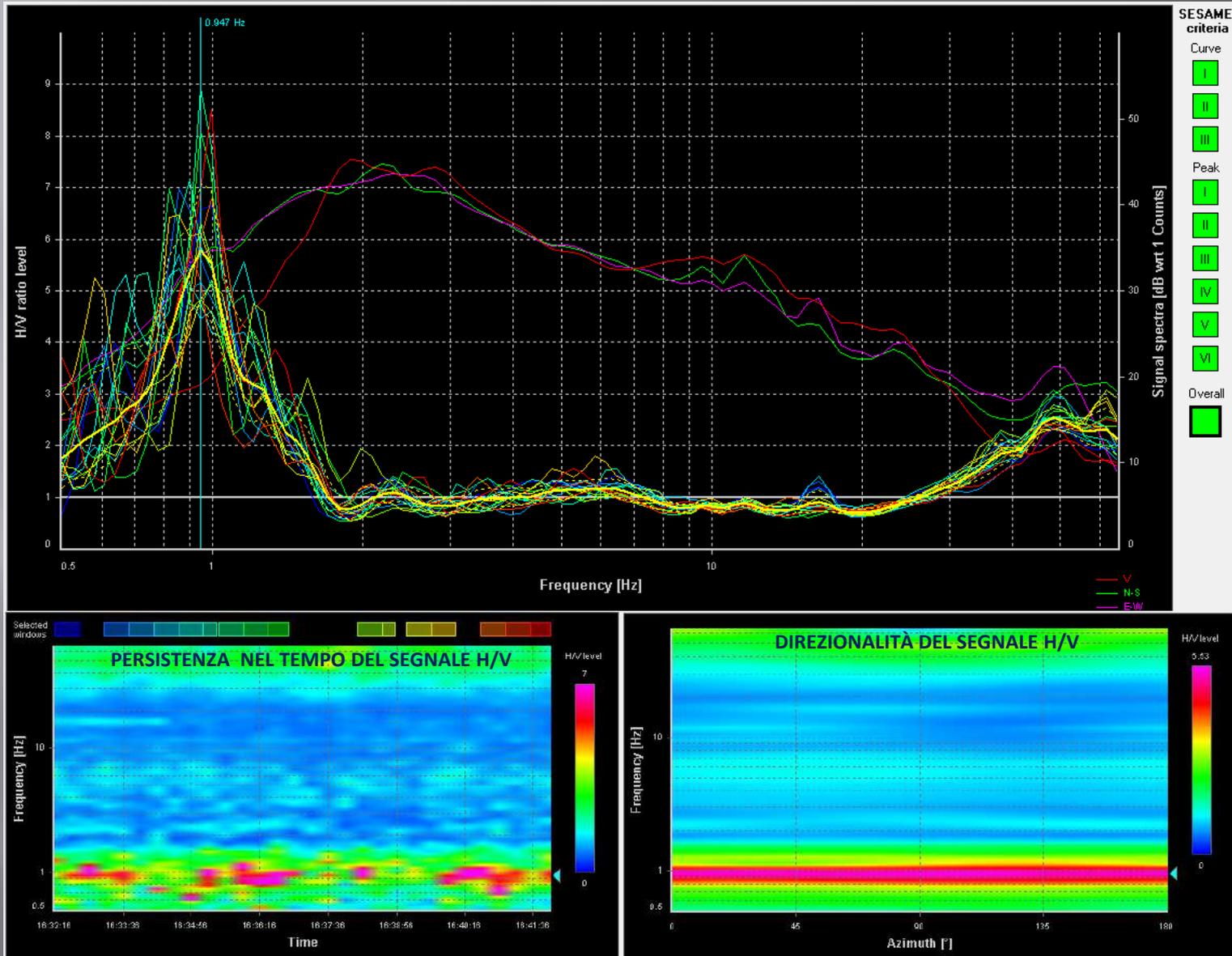
# PROVA HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)



FINISTRATURA 10 ÷ 30 s

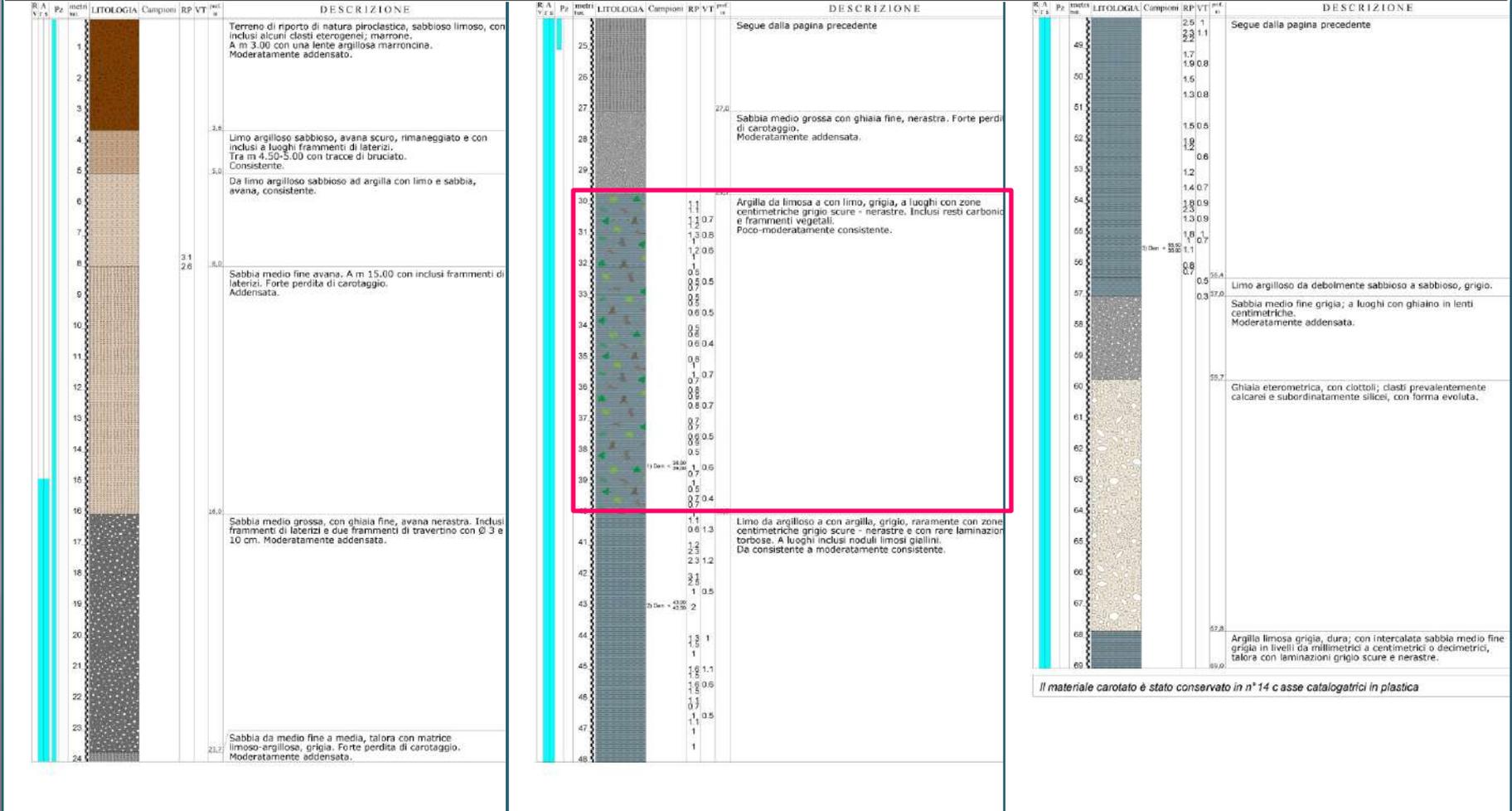


# RISULTATI



# SOTTO I VOSTRI PIEDI

<b>Riferimento:</b> Università degli Studi Roma TRE	<b>Sondaggio:</b> S3
<b>Località:</b> Roma, Largo San Leonardo Murialdo	<b>Quota:</b>
<b>Impresa esecutrice:</b>	<b>Data:</b> 23-29/05/2006
<b>Coordinate:</b>	<b>Redattore:</b> Dr Geol Pietro Nigro
<b>Perforazione:</b> Wire Line	



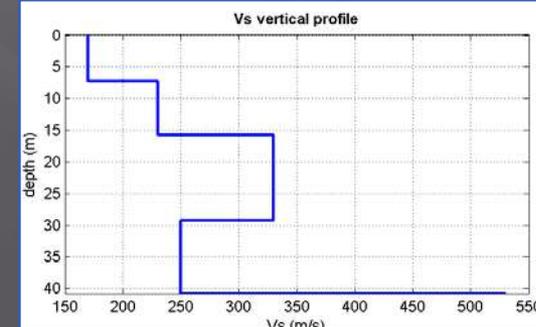
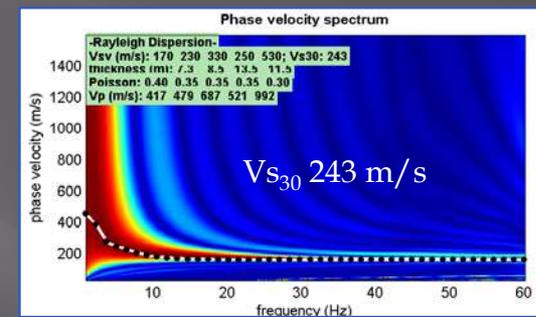
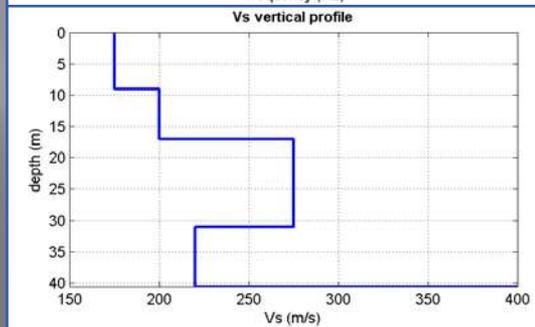
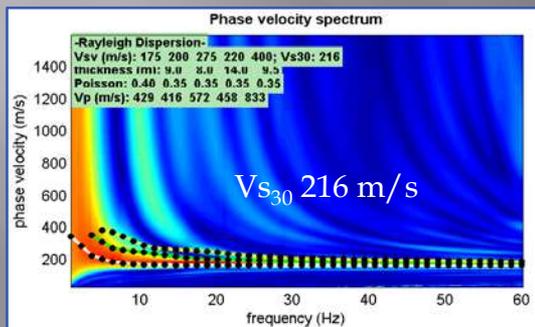
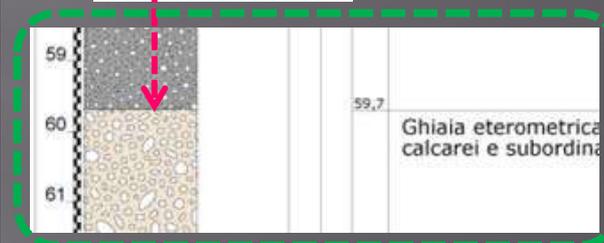
# USO CONGIUNTO DEI DATI GEONOSTICI



$$H = \frac{\hat{V}_s}{v_0 4}$$

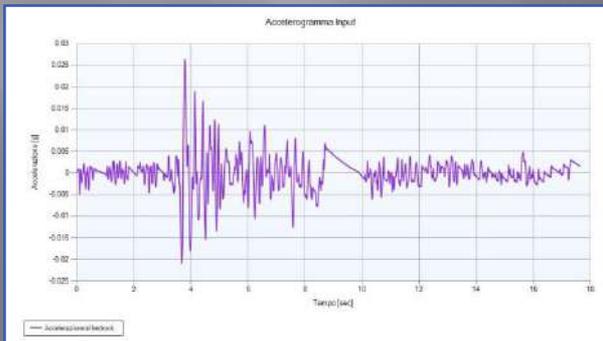
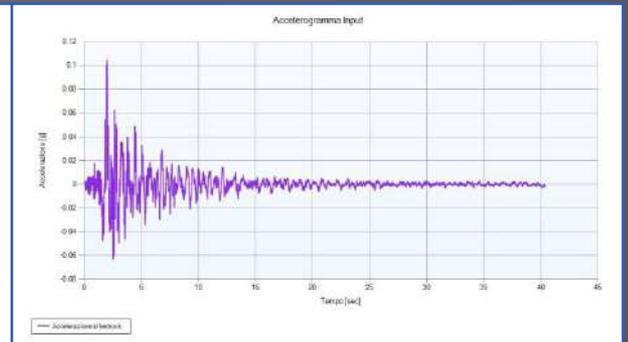
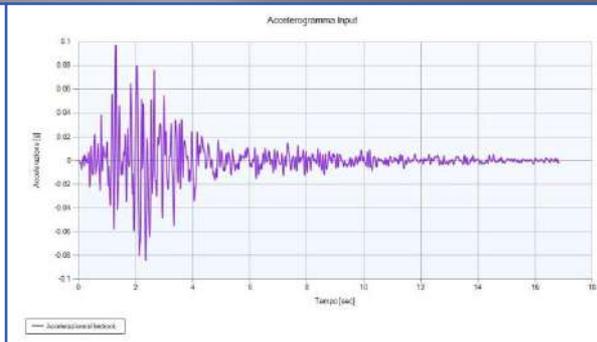
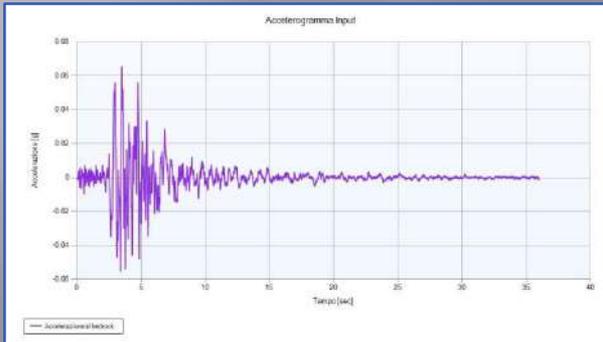
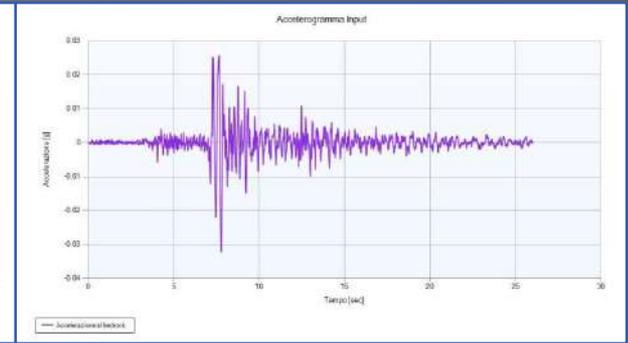
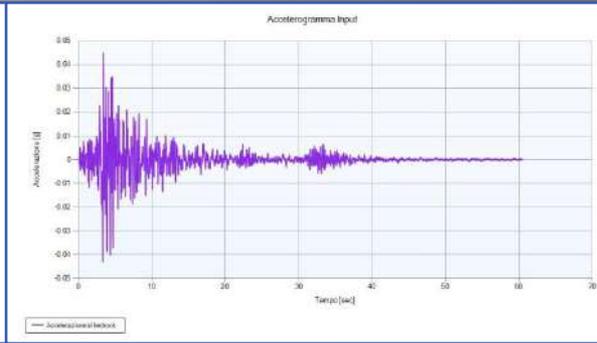
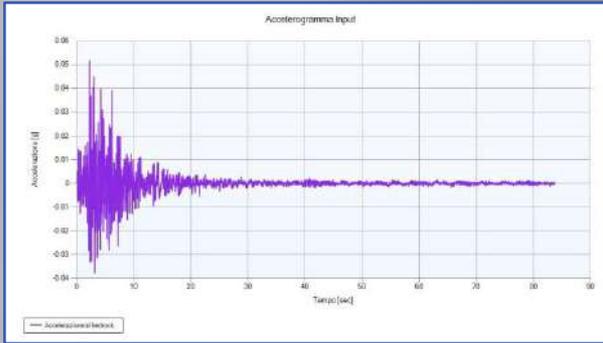
$$T_0 = 1,1 \text{ s}$$

$$v_0 = 0,95 \text{ Hz}$$

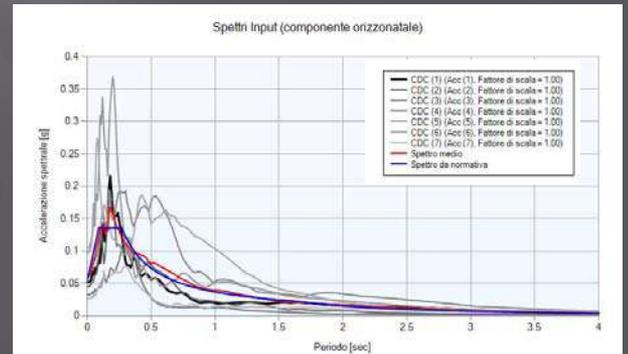


MASW RM3  
FACOLTÀ DI LETTERE

# Studio di Risposta Sismica Locale (RSL) - Sotto i vostri piedi Fase 1

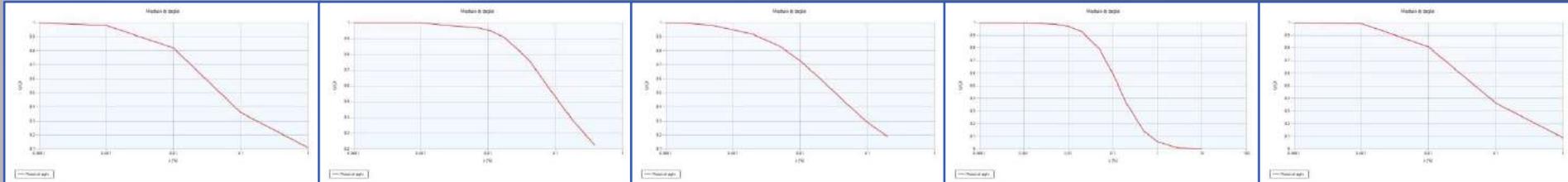


Accelerogrammi di riferimento, relativi spettri e spettrocompatibilità



# Studio di Risposta Sismica Locale (RSL) - Sotto i vostri piedi Fase 2

(G/G0)



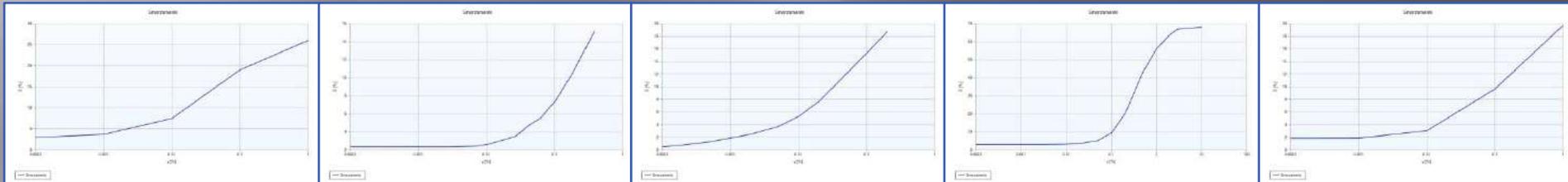
Riporti

Argille e limi

Sabbie alluvionali

Argille org. - Torbe

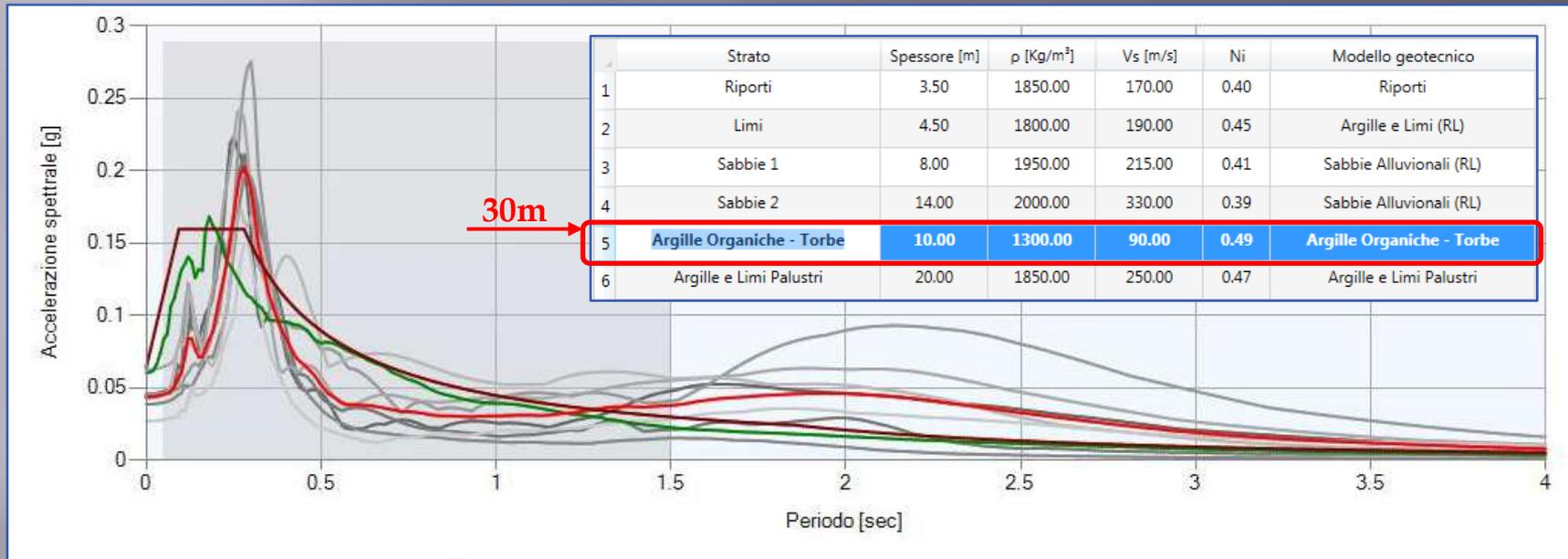
Argille, Limi palustri



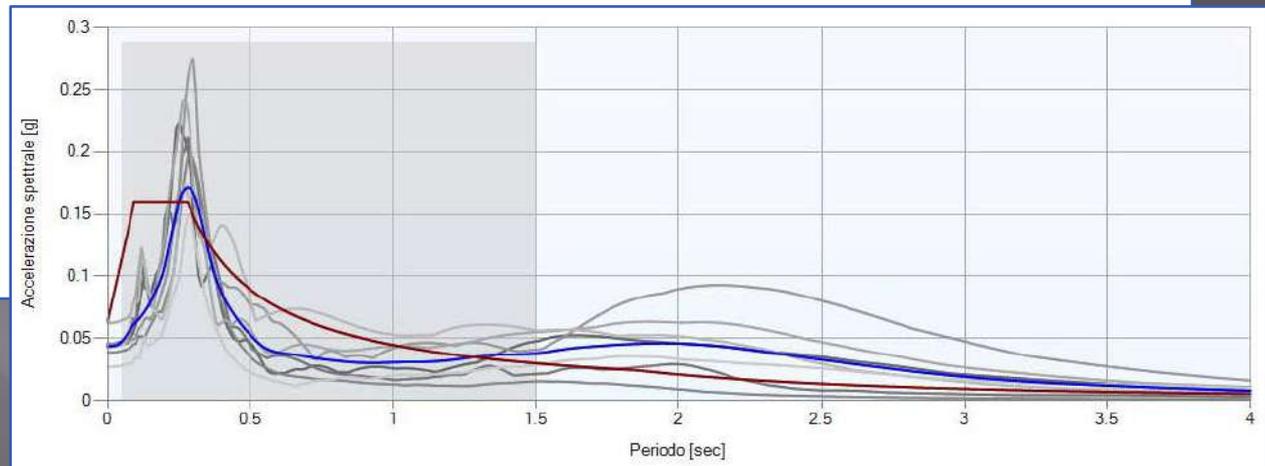
(D%)

## Curve di Smorzamento (G/G0) e Decadimento (D%)

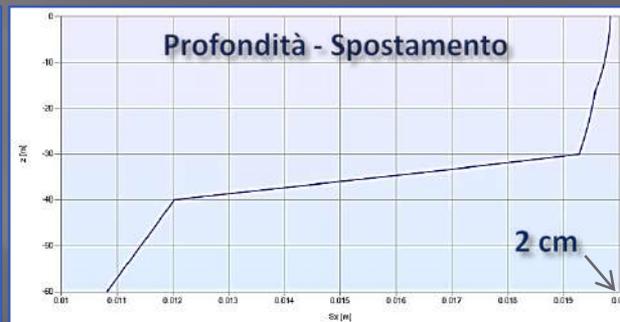
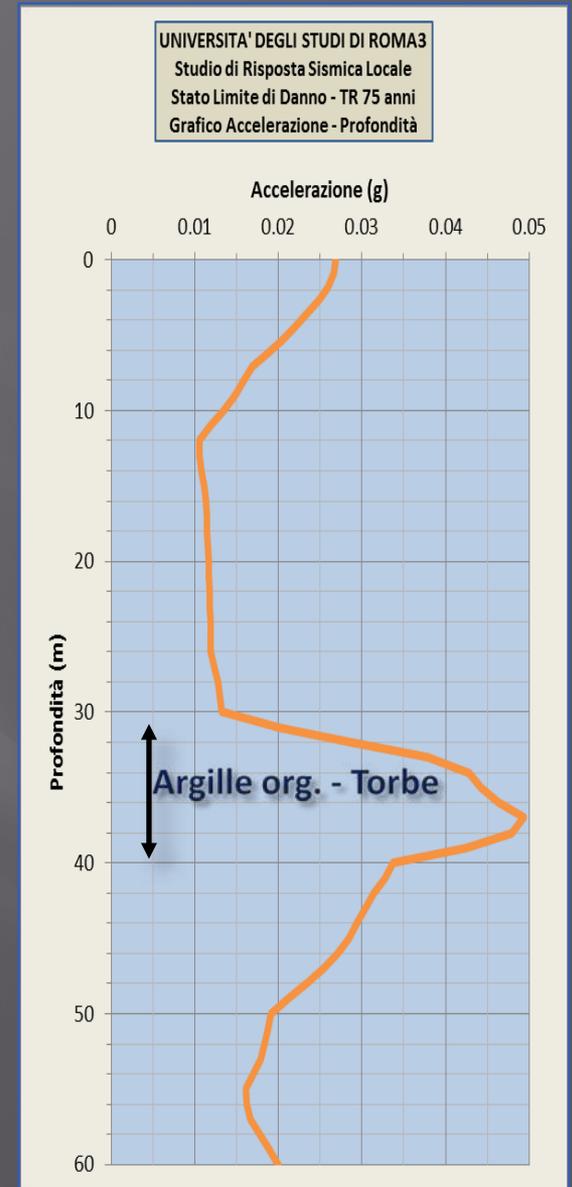
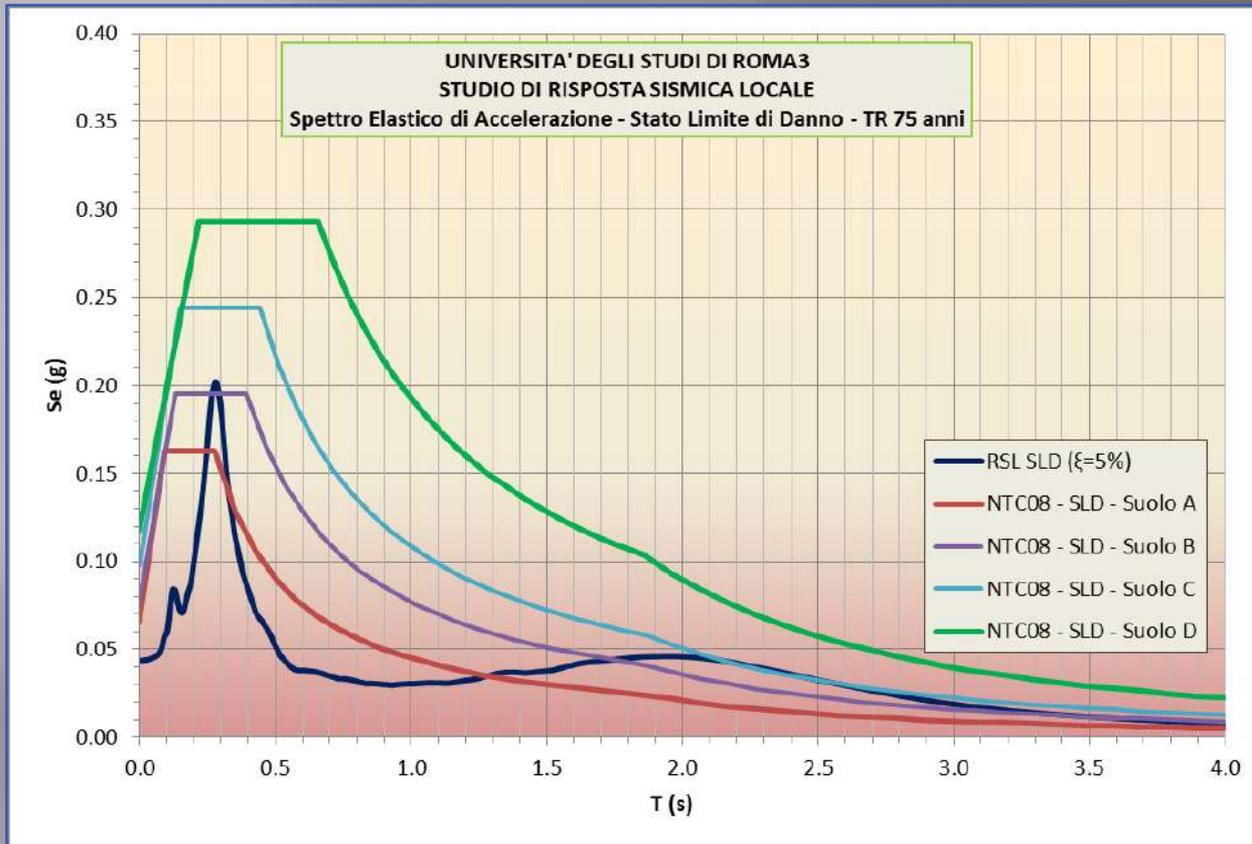
# Studio di Risposta Sismica Locale (RSL) - Sotto i vostri piedi Fase 3



- Intervallo T<sub>min</sub>-T<sub>max</sub>
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (1)
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (2)
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (3)
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (4)
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (5)
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (6)
- Spettro di risposta PietraPapa95 - SLD CDC (7)
- Spettro medio input
- Spettro medio
- Spettro parametrizzato

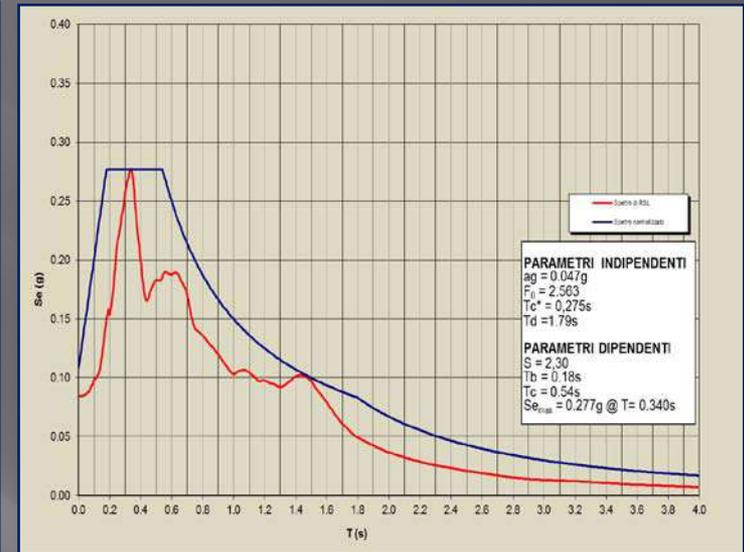
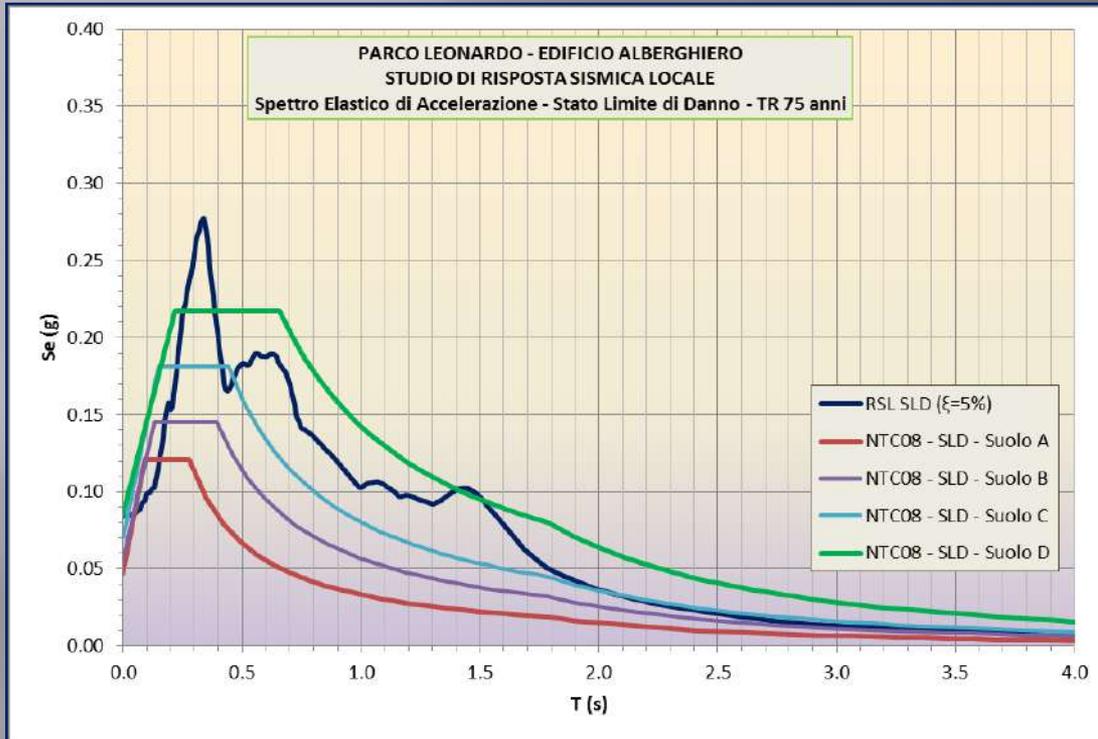


# Studio di Risposta Sismica Locale (RSL) - Sotto i vostri piedi Fase 4



# TERRENI DEFORMABILI E AMPLIFICAZIONE SISMICA

## Quanto contano quota, spessore e contrasti di velocità sismica?



Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione Litotipi	Vs
0 ÷ 4.2	4.2	Riporti -Argille essiccate	470 m/s
4.2 ÷ 7.2	3.0	Argille organiche e Torbe	90 m/s
7.2 ÷ 24.5	17.3	Argille grigie palustri	140 m/s
24.5 ÷ 71.4	46.9	Argille limose	233 m/s
BEDROCK			801 m/s

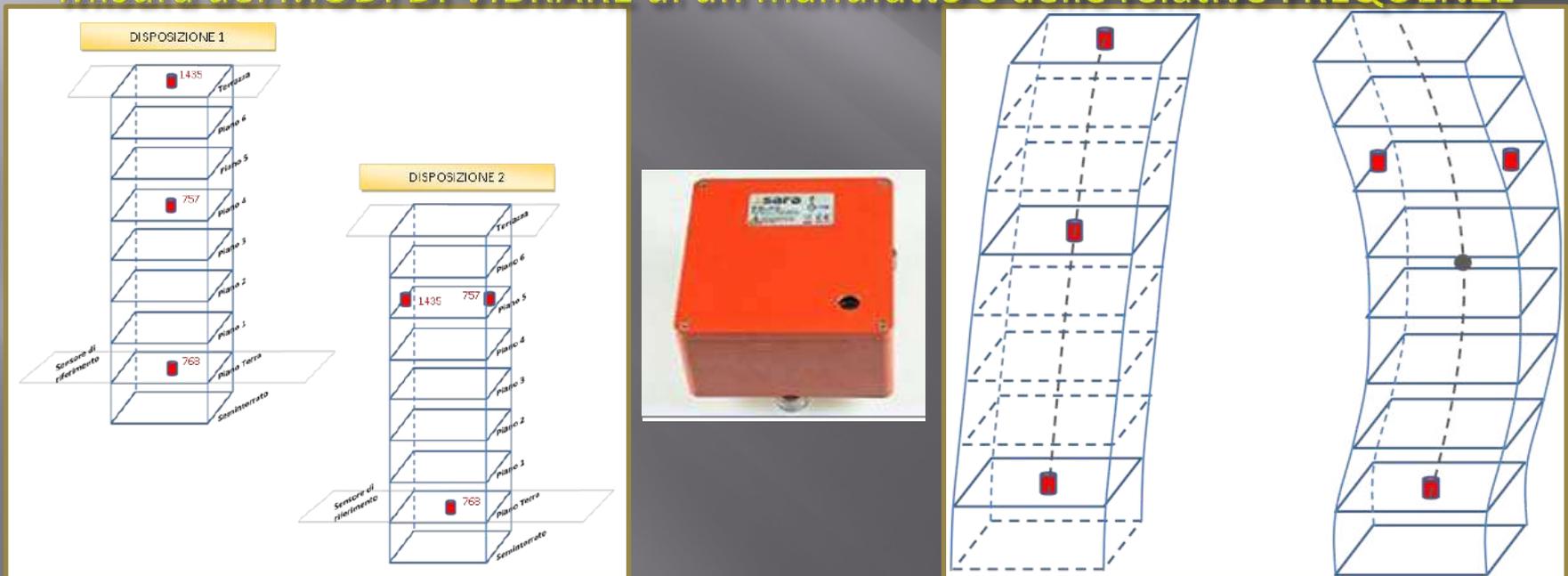


# PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE – RISPOSTA SISMICA LOCALE – DINAMICA VIBRAZIONALE

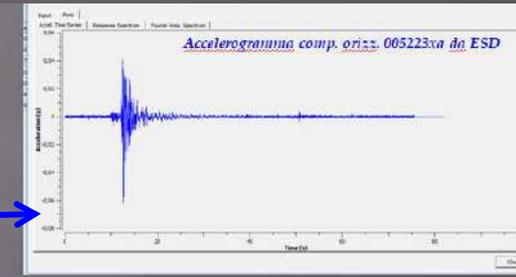
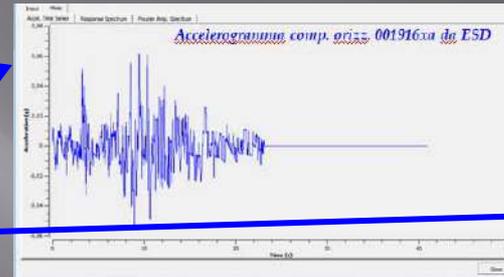


Dinamica Vibrazionale - Analisi Modale

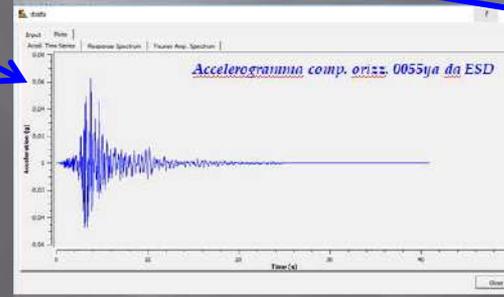
Misura dei MODI DI VIBRARE di un manufatto e delle relative FREQUENZE



# STIMA DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DEGLI EDIFICI CON FORMULE EMPIRICHE E CONFRONTO CON LO SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE ESEMPIO 1 – BACK ANALYSIS - AMATRICE

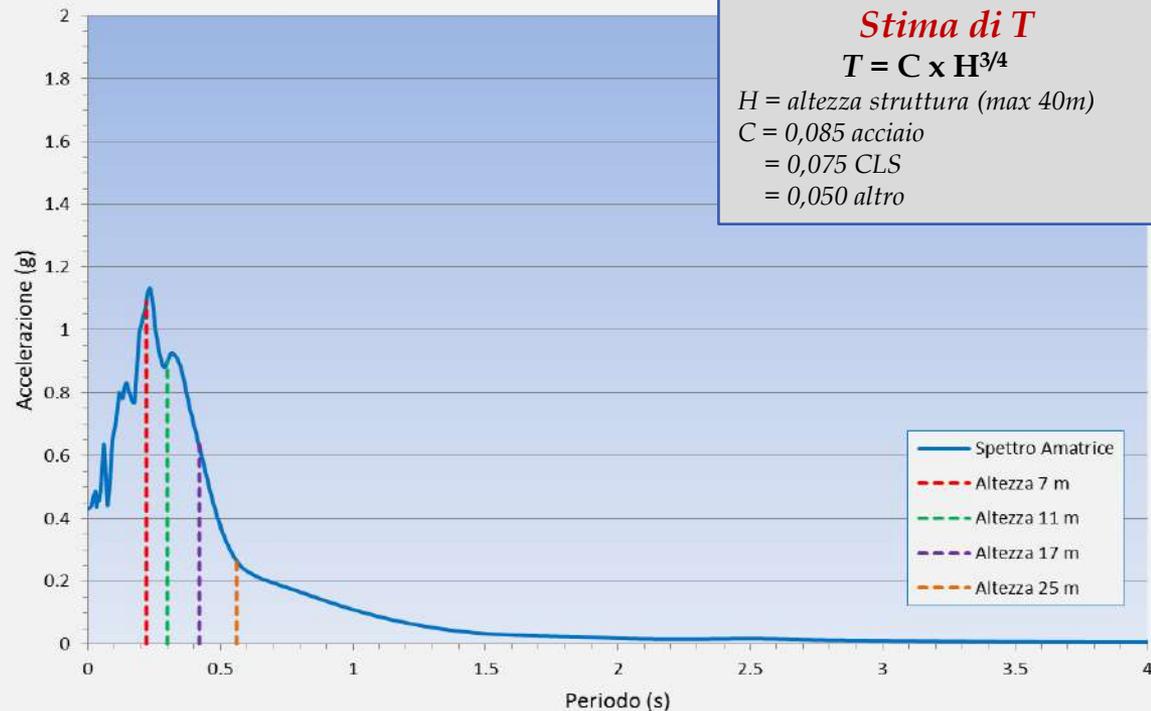


Importanza morfologia accelerogrammi



**Il terremoto è selettivo, a seconda del suo contenuto spettrale colpisce di più certe strutture che altre. Ogni terremoto è diverso dagli altri**

# STIMA DELLA FREQUENZA CARATTERISTICA DEGLI EDIFICI CON FORMULE EMPIRICHE E CONFRONTO CON LO SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE ESEMPIO 1 – BACK ANALYSIS - AMATRICE



**Il terremoto è selettivo, a seconda del suo contenuto spettrale colpisce di più certe strutture che altre. Ogni terremoto è diverso dagli altri**

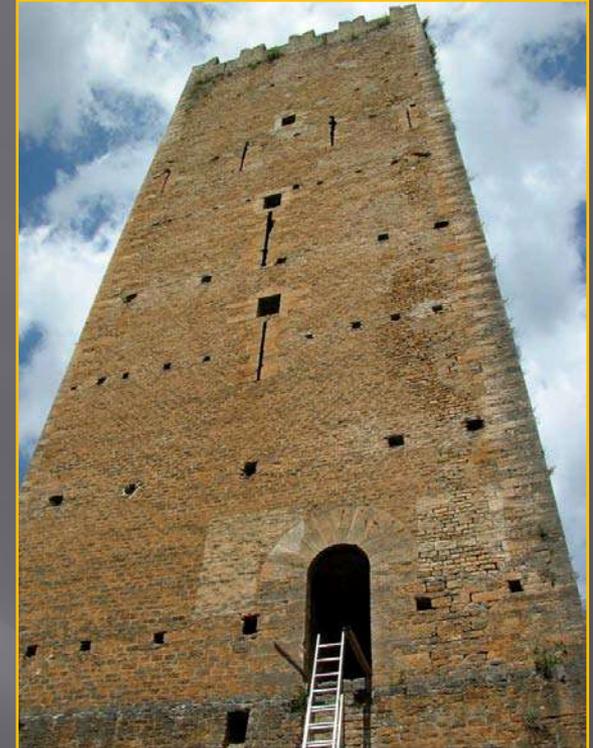
# SINTESI ASSOLUTA – STATO DELL'ARTE

## R.S.L. + ANALISI DINAMICA STRUTTURA

ESEMPIO 2 – LA TORRE DI NINFA

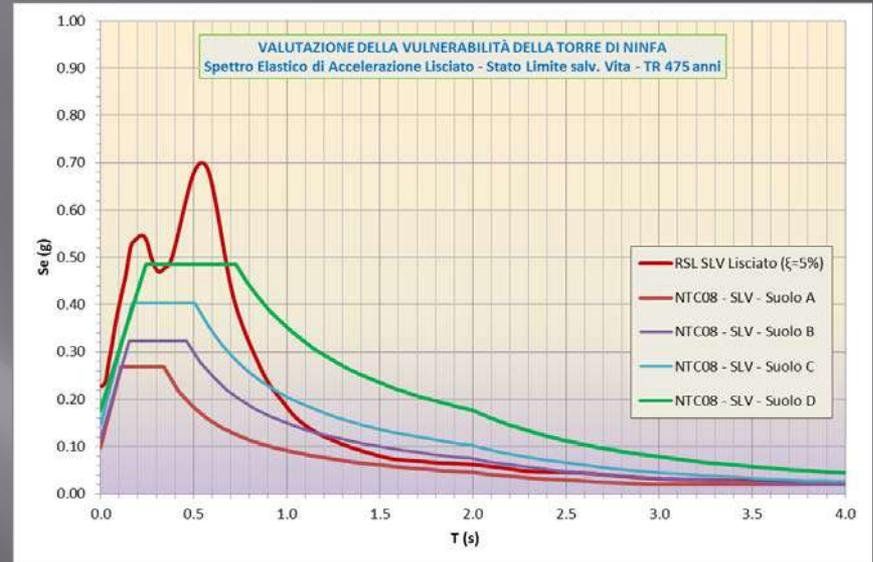
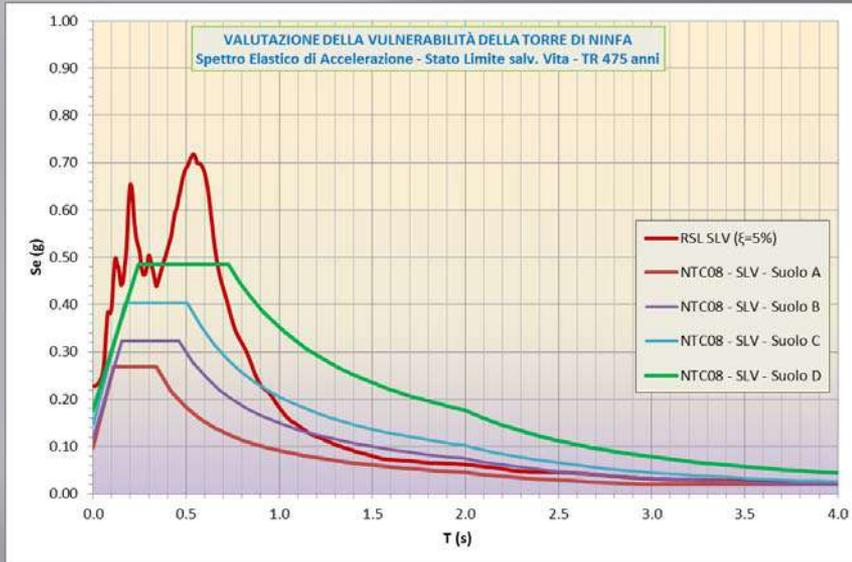


# STUDIO DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA TORRE DI NINFA (P. Friello – F. Aucone)



# STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

## Stadio Limite di salvaguardia Vita (SLV) – TR 475 anni



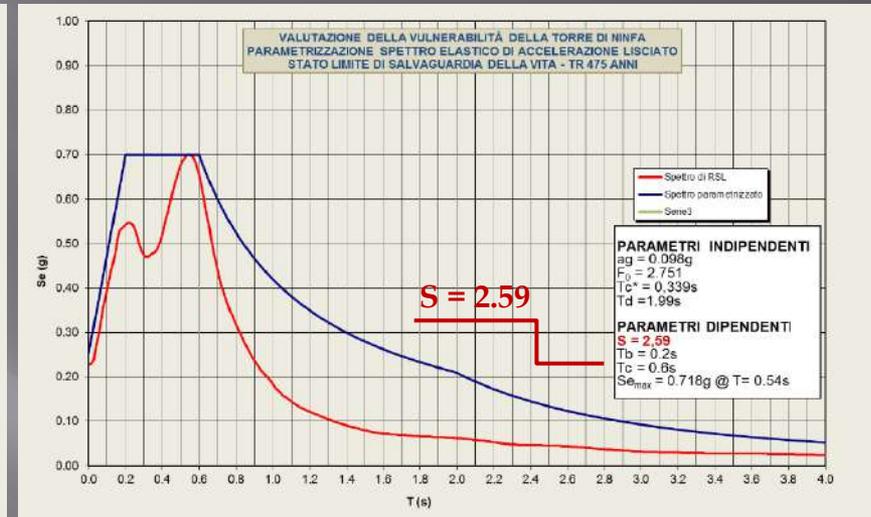
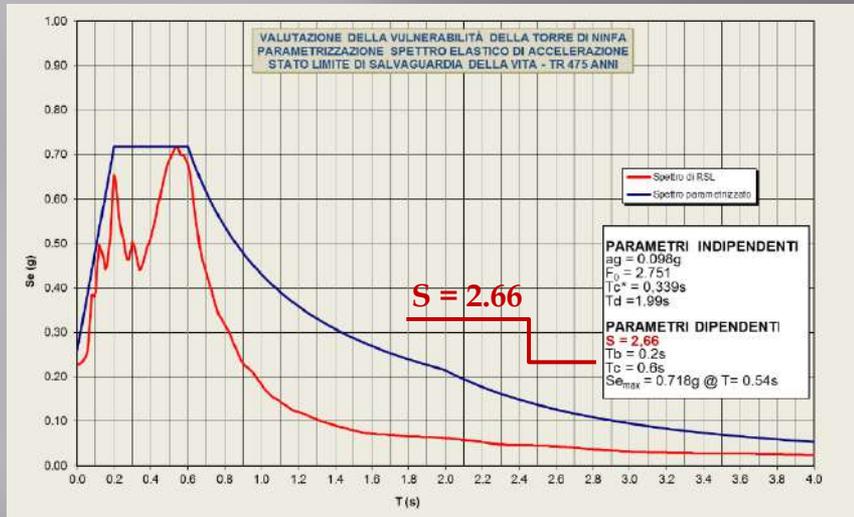
Amax =	0.654	g
PERIODO=	0.200	s
Freq=	5.000	Hz

Amax =	0.547	g
PERIODO=	0.220	s
Freq=	4.545	Hz

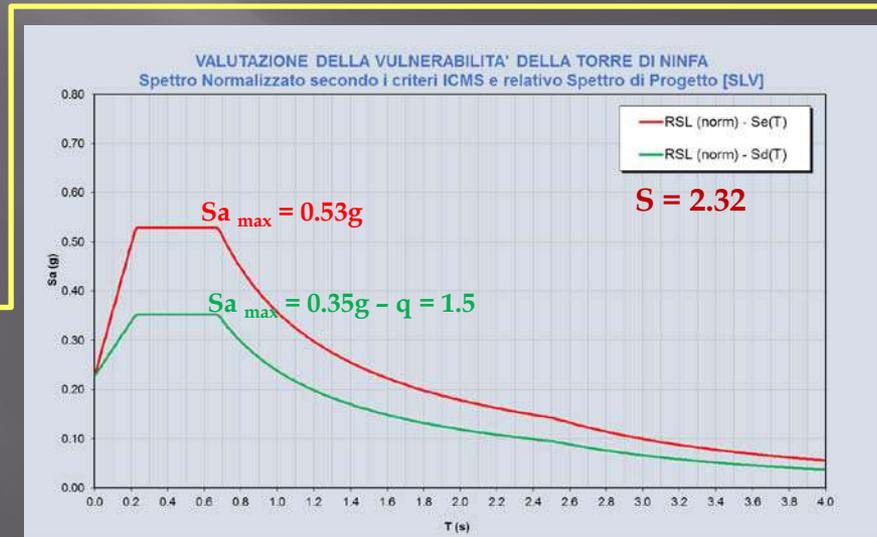
Amax =	0.718	g
PERIODO=	0.540	s
Freq=	1.852	Hz

Amax =	0.699	g
PERIODO=	0.540	s
Freq=	1.852	Hz

# PARAMETRIZZAZIONE SPETTRI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (SLV)



## INVILUPPO TOTALE DEGLI SPETTRI



## PARAMETRIZZAZIONE SECONDO I CRITERI ICMS

# CONCLUSIONI

Nelle zone a bassa sismicità, ma con particolari assetti geologici, l'approccio semplificato può non essere sufficiente per la valutazione delle sollecitazioni sismiche.

Lo studio di RSL eseguito per la Torre di Ninfa, ha infatti mostrato accelerazioni spettrali sensibilmente superiori a quelle di riferimento per la categoria di suolo del sito (C).

Utilizzando un approccio geofisico di tipo *olistico*, con metodi flessibili, non invasivi e di moderato impegno economico, è possibile ottenere un quadro sismostratigrafico di riferimento sufficientemente solido per la successiva procedura di RSL.

I risultati ottenuti, integrati con la caratterizzazione dinamica sperimentale della struttura in studio, può fornire al progettista un quadro esaustivo per la valutazione della sua vulnerabilità sismica e per la progettazione degli interventi propedeutici alla sua tutela e conservazione.

## **Analisi dinamica: parametri del moto**

**Cosa significa effettuare l'analisi dinamica di una struttura?**

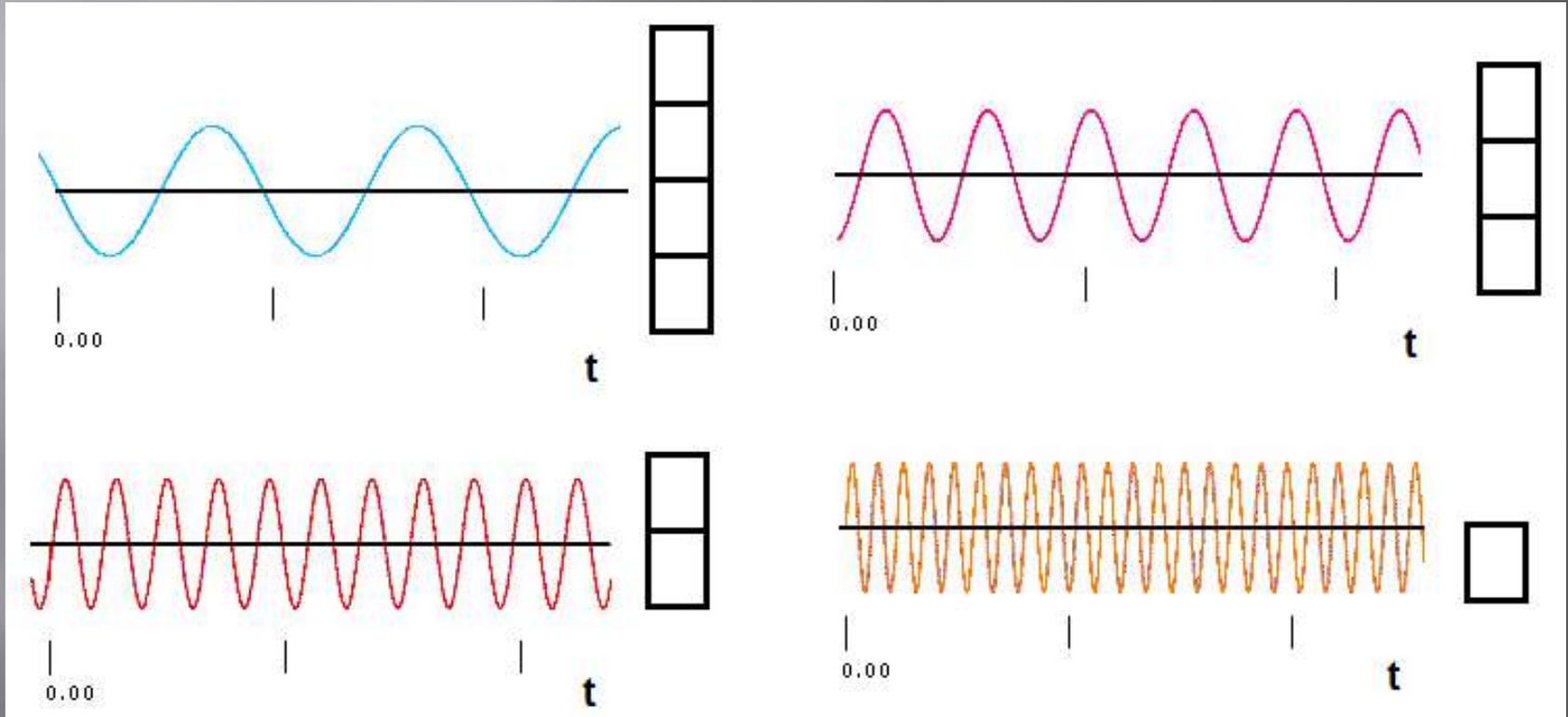
**Significa definire come questa risponde naturalmente alle sollecitazioni dinamiche**

**Ossia significa definirne i Modi naturali di vibrazione**

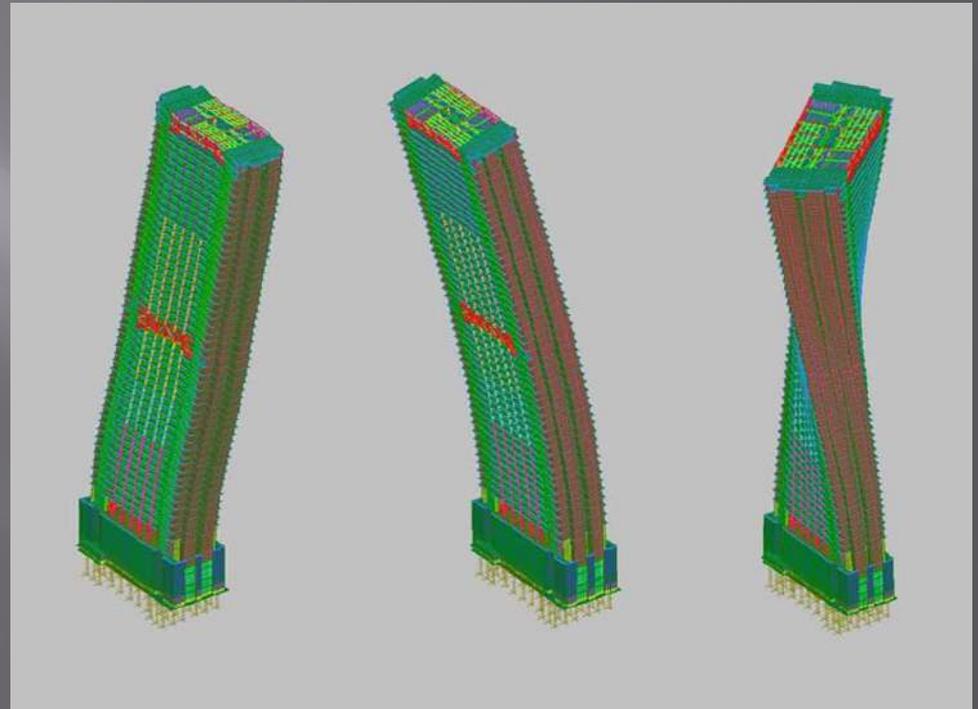
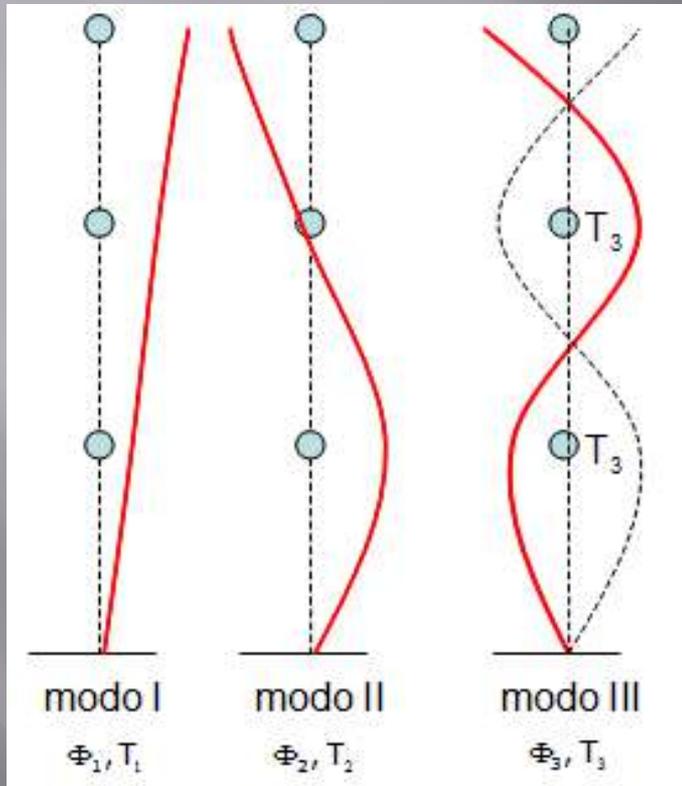
**Un modo di vibrare è caratterizzato dai seguenti parametri**

- Frequenza caratteristica**
- Forma modale (o anche deformata)**
- Smorzamento**

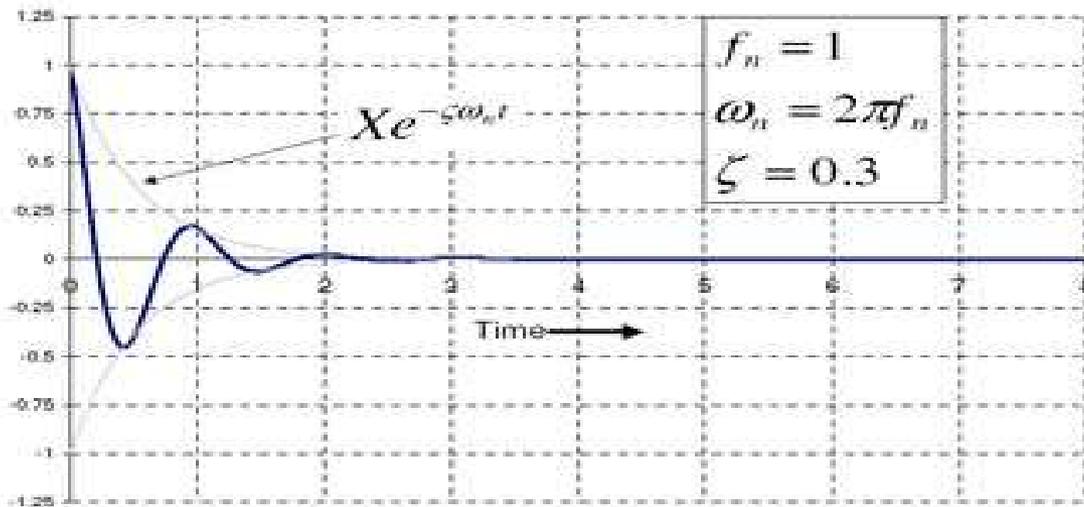
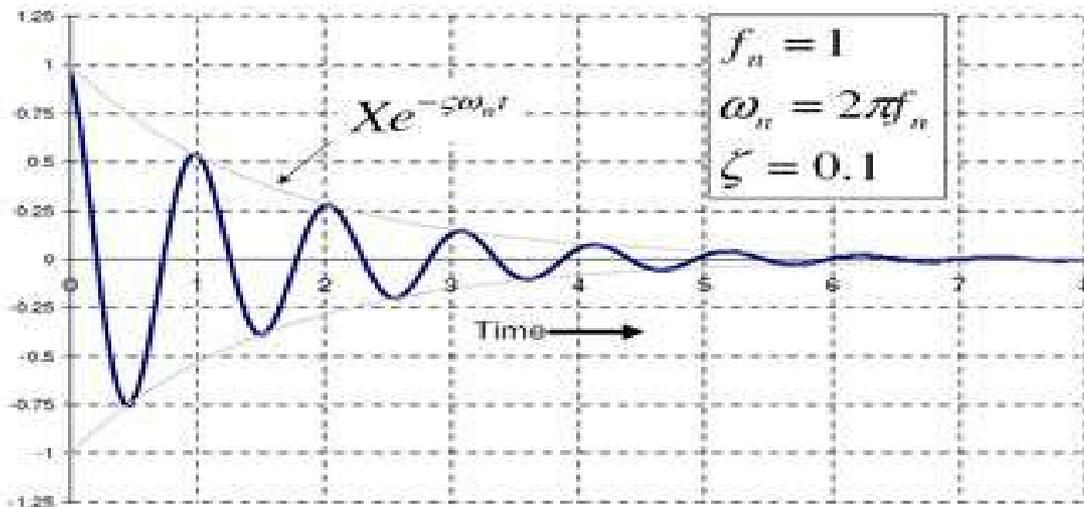
# Frequenza caratteristica



# Forma modale

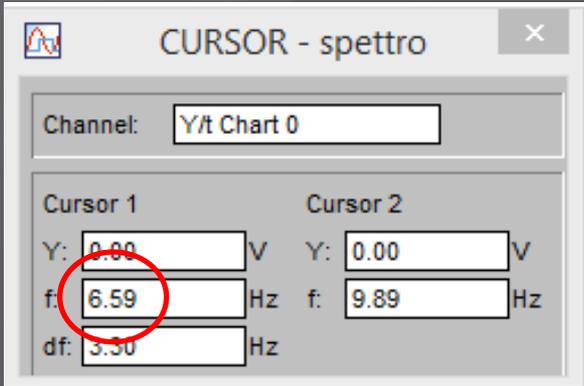
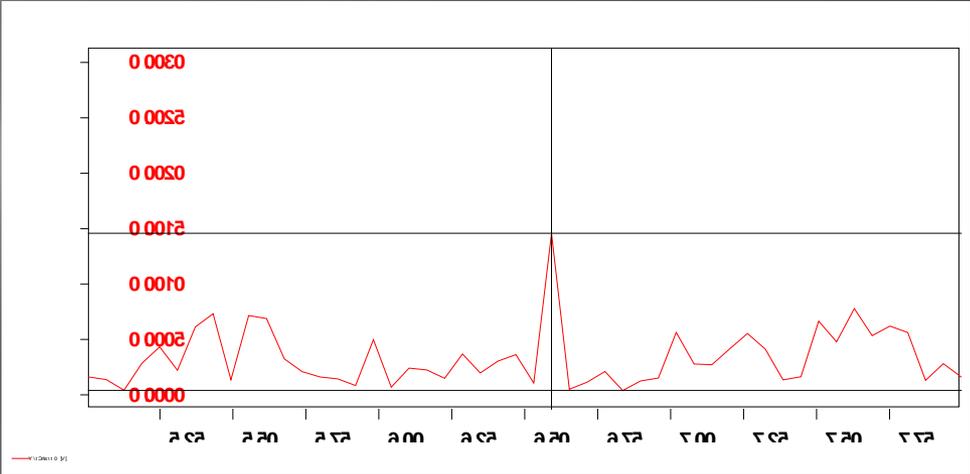


# Smorzamento



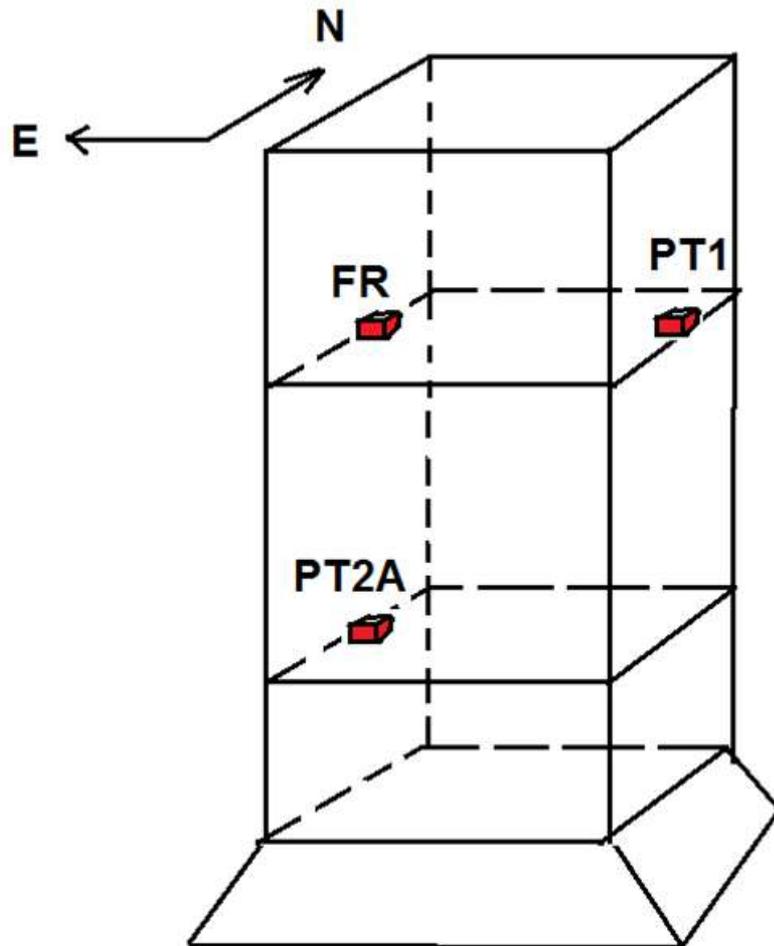
**Turbina della centrale idroelettrica all'interno del Giardino: la macchina è della seconda metà dell'800, acquistata dalla Famiglia Caetani ai primi del '900, installata ed in funzione dal 1908, tuttora in funzione.**

**Compie circa 400 giri/min, corrispondenti a circa 6,6 Hz  
Riscontrati sulla Torre, sulle misure di sismica passiva nei dintorni della torre e direttamente con un accelerometro sulla turbina stessa**

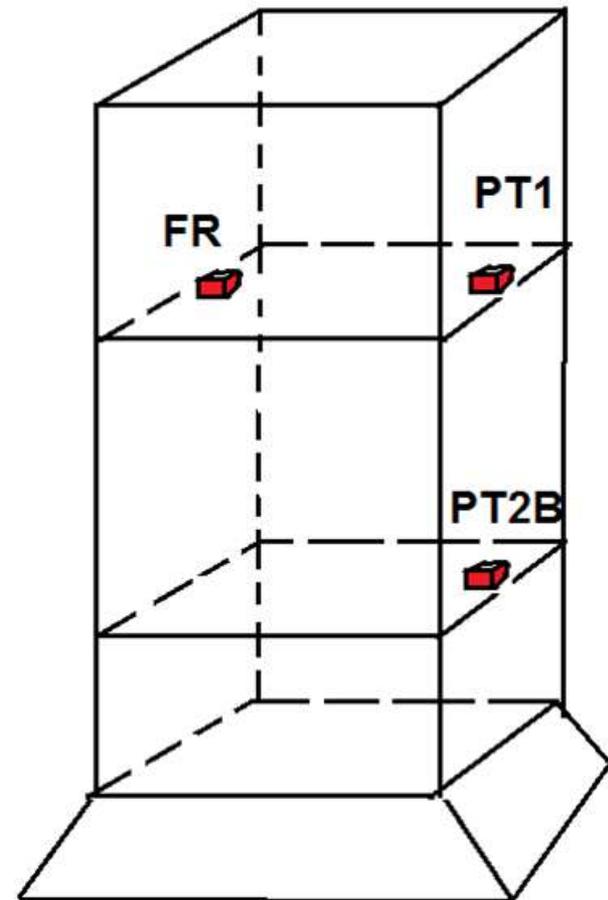


## MISURE E DISPOSIZIONE DEI SENSORI GEOFONICI TRIASSIALI

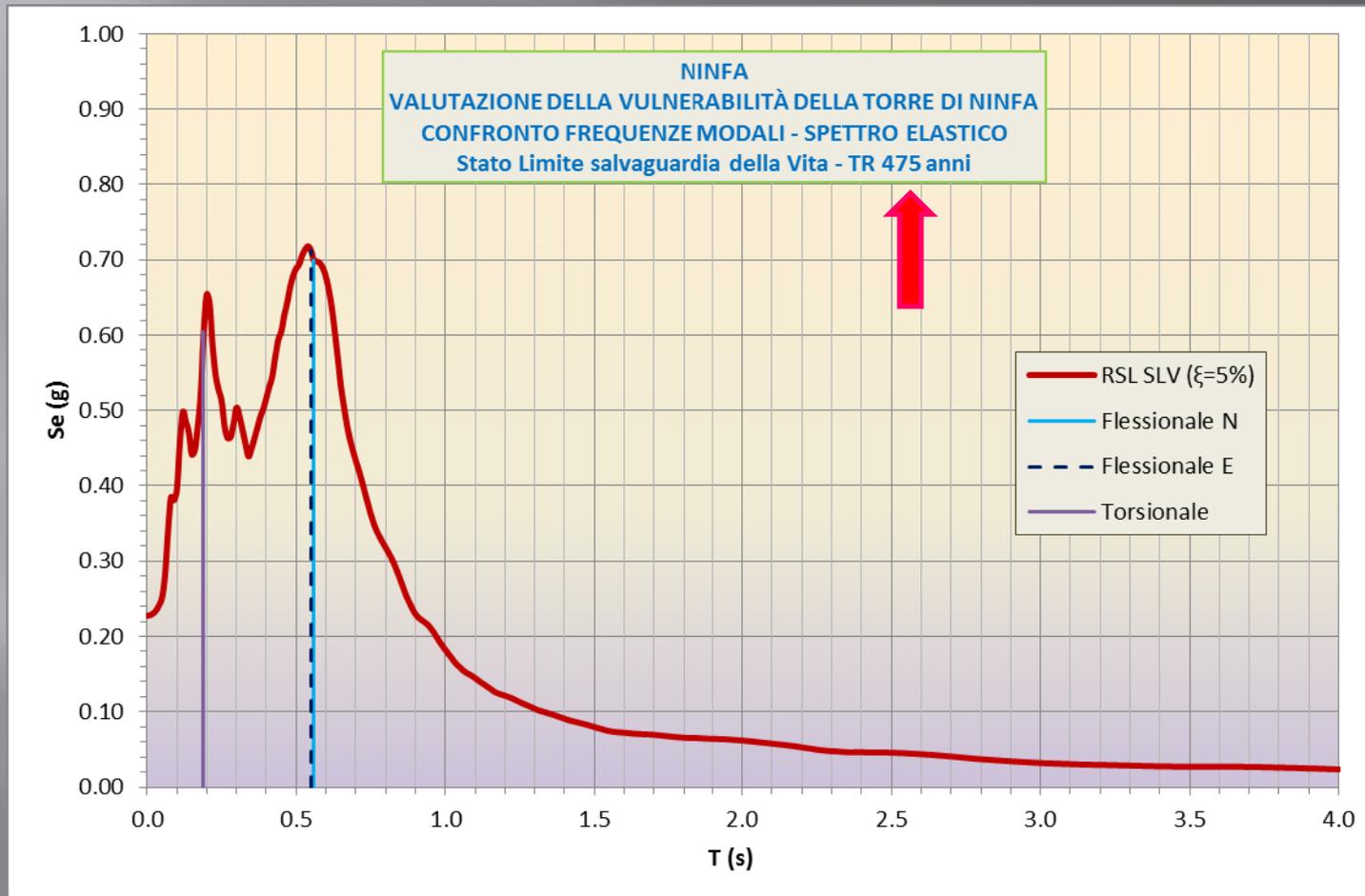
1a misura sincrona



2a misura sincrona

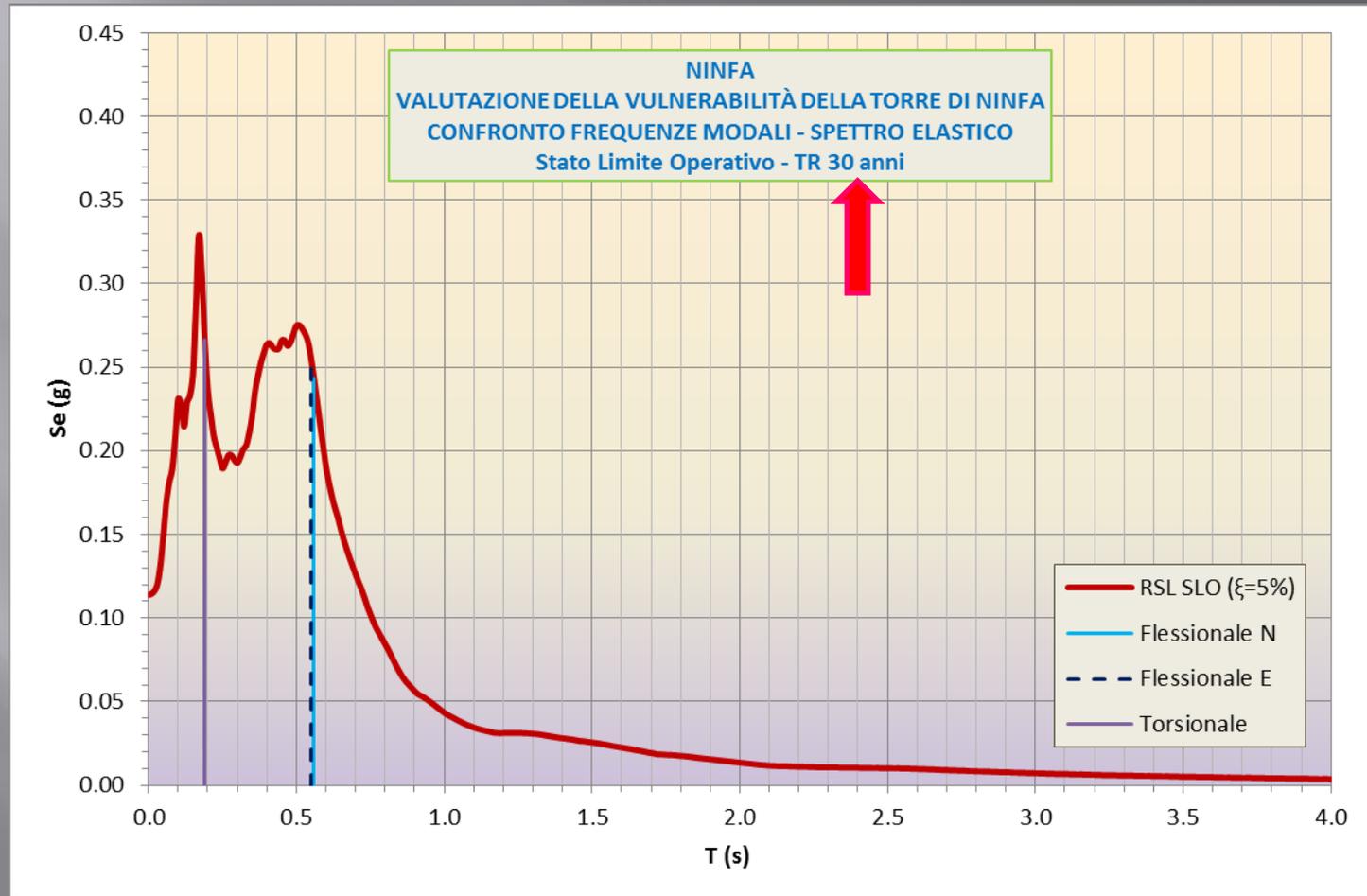


# CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLV)



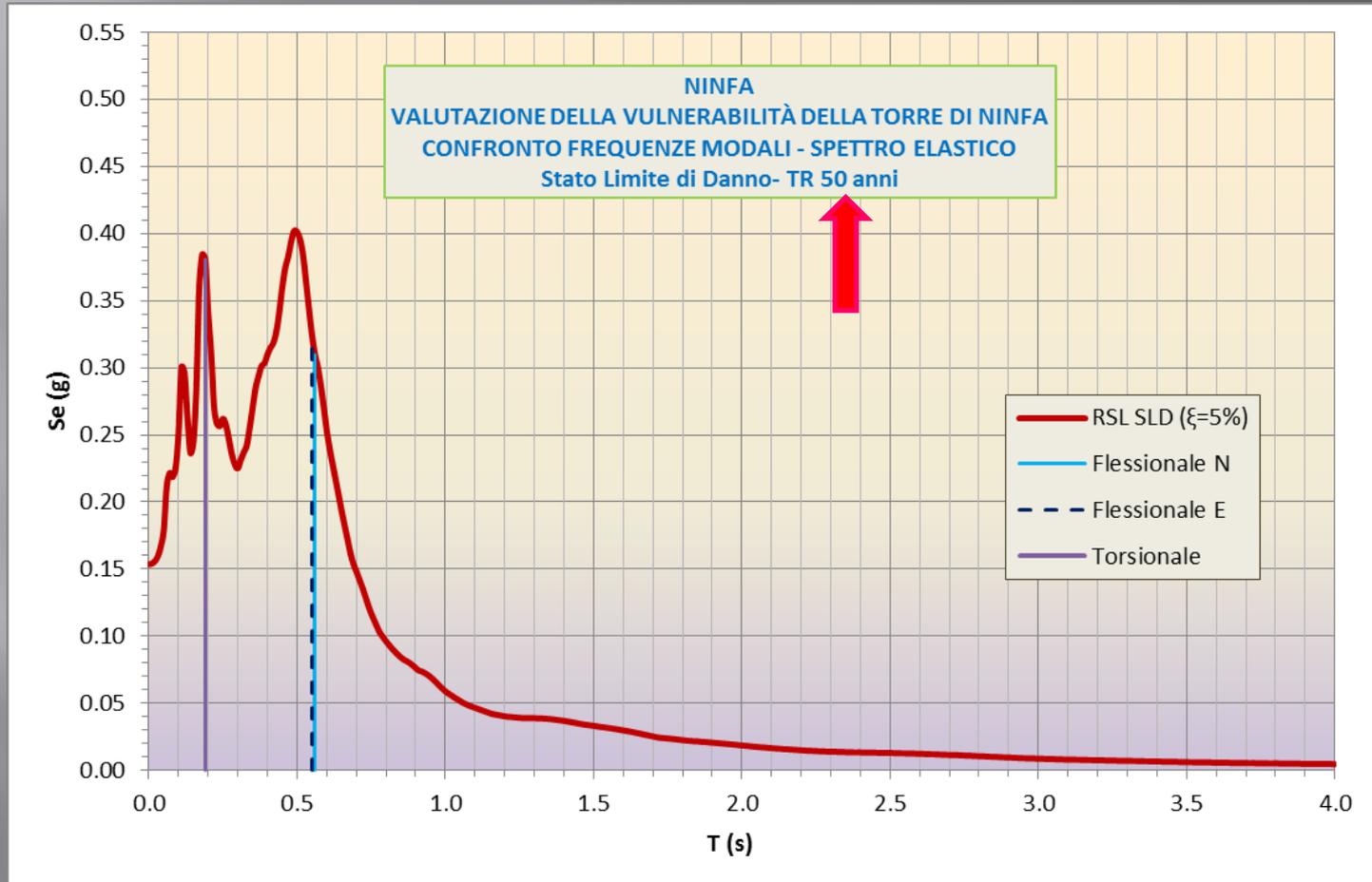
LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.699
Flessionale E	1.82	0.55	0.712
Torsionale	5.26	0.19	0.605

# CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLO)



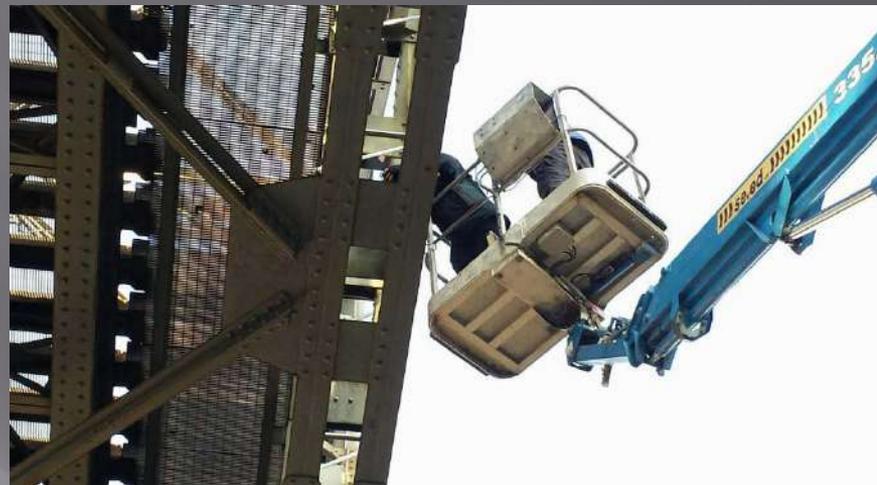
LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.243
Flessionale E	1.82	0.55	0.255
Torsionale	5.26	0.19	0.266

# CONFRONTO FREQUENZE MODALI – SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO (SLD)

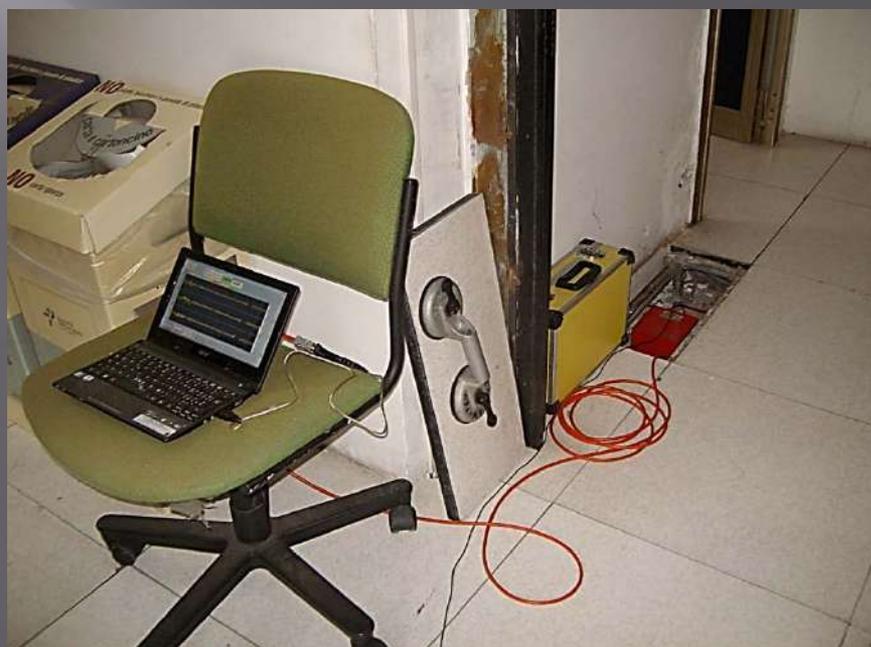


LSR2D	F (Hz)	T (s)	Acc (g)
Flessionale N	1.79	0.56	0.310
Flessionale E	1.82	0.55	0.325
Torsionale	5.26	0.19	0.381

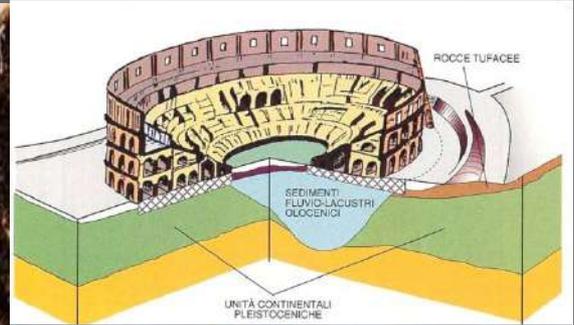
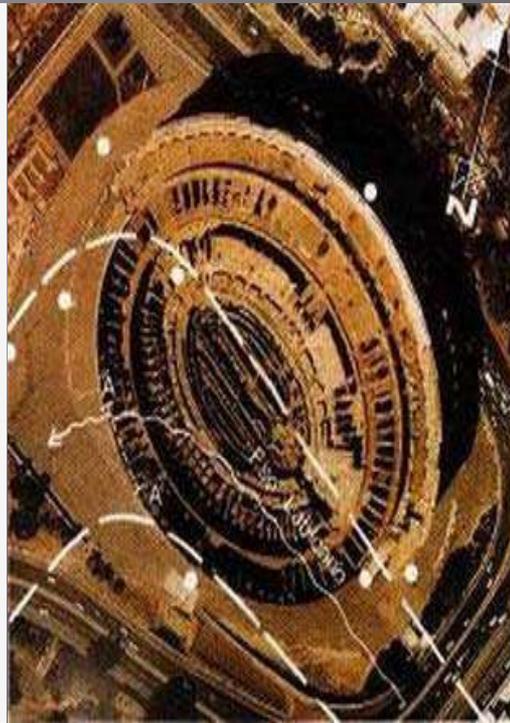
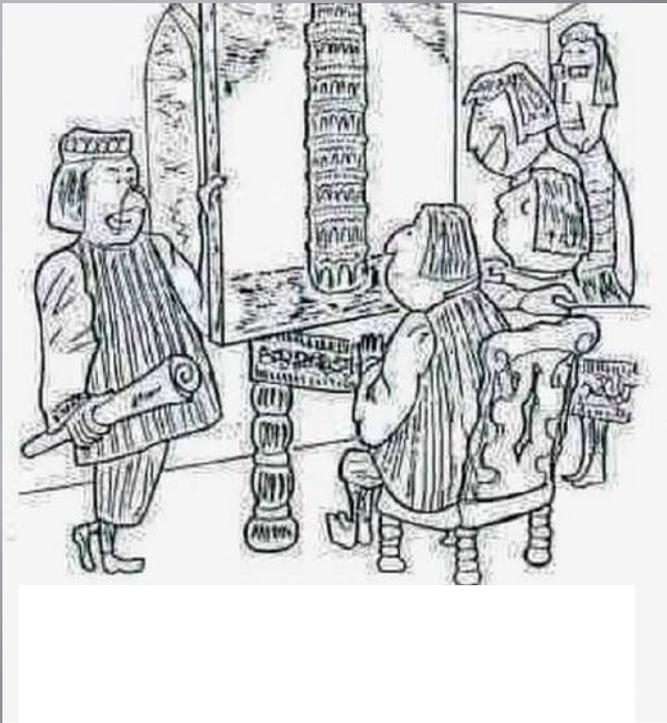
# QUALCHE ESEMPIO 1



# QUALCHE ESEMPIO 2



# LASCIAMOCI CON UN SORRISO AMARO



...potremmo risparmiare 700 fiorini non facendo le prove sui terreni... tanto nessuno se ne accorgerà mai!

Roma si salva dai terremoti perché è fondata su terreni paludosi che smorzano l'energia sismica

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE !!



# E

