

MASSIMO MANGIFESTA Ph.D

Numerical Analysis in Geotechnical and Earthquake Engineering
Research Fellow - University "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara | UNICH

mmangifesta@gmail.com – mmangifesta@unich.it

L'interdisciplinarietà delle analisi di RSL: approcci e metodi

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI VITERBO

ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO

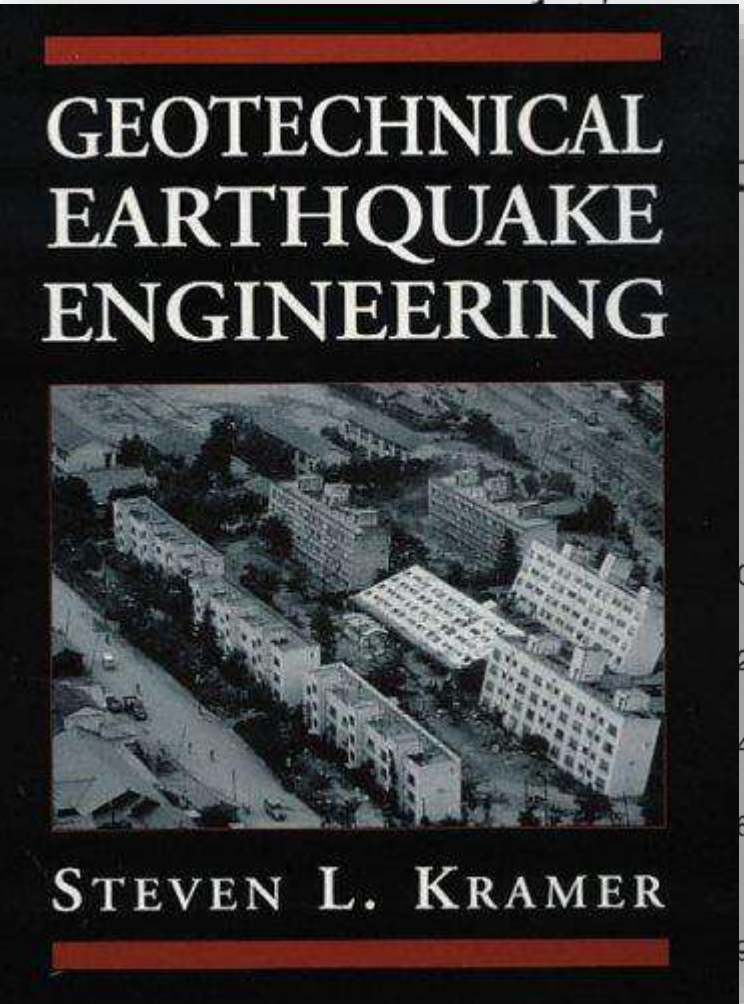
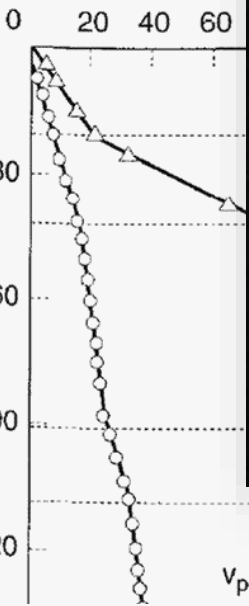
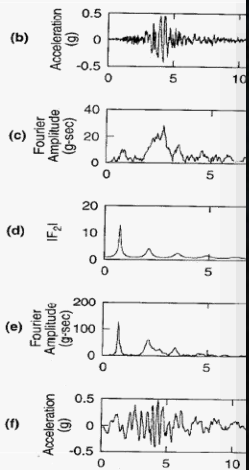
ESEMPI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE NELL'AMBITO DELLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO



15 APRILE 2024

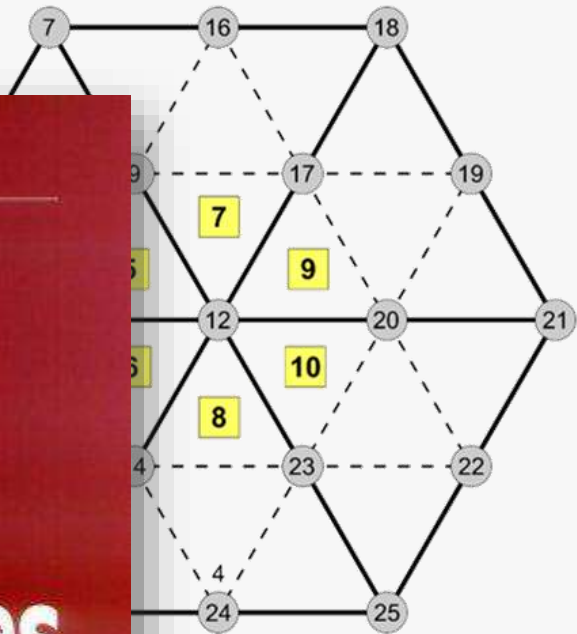
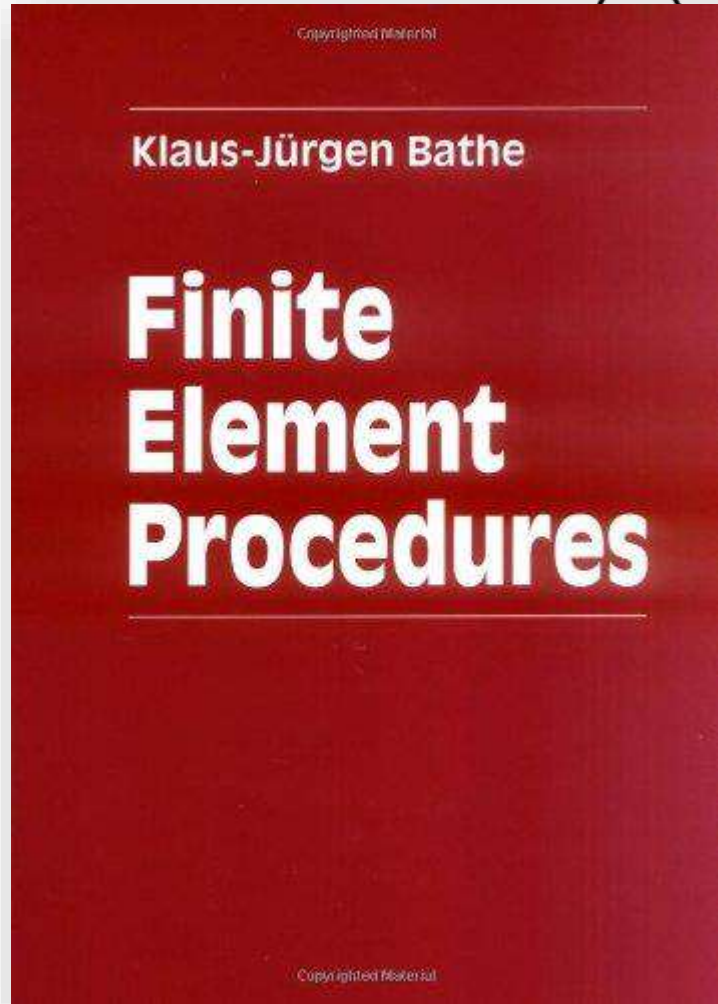
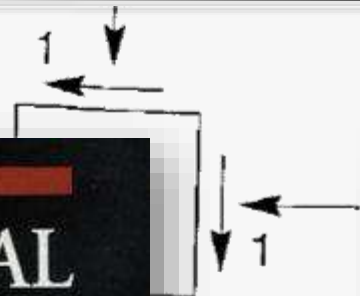
VITERBO

Via Faul, 17
Auditorium Unindustria
Viterbo



$v_p = 5000$ $v_s = 900$

Stiff clay
110.5
130.5



$$\left. \begin{matrix} v & 0 \\ (1-v) & 0 \\ 0 & \frac{(1-2v)}{2} \end{matrix} \right\} \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{xy} \end{pmatrix}$$

$$\left. \begin{matrix} \frac{vE}{(1-2\nu)} \\ \frac{vE}{(1-2\nu)} \end{matrix} \right\} \begin{pmatrix} \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{xx} \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{xy} \equiv \sigma_{yx} = \tau_{xy} = 2G\epsilon_{xy}$$

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

3.2.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, **l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi**, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. **In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato** che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

7.11.3.1 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, **l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali. Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove.** Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione (accelerogrammi) su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale (sottosuolo tipo A del § 3.2.2). Per la scelta degli accelerogrammi di ingresso, si deve fare riferimento a quanto già specificato al § 3.2.3.6.

ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Definizione

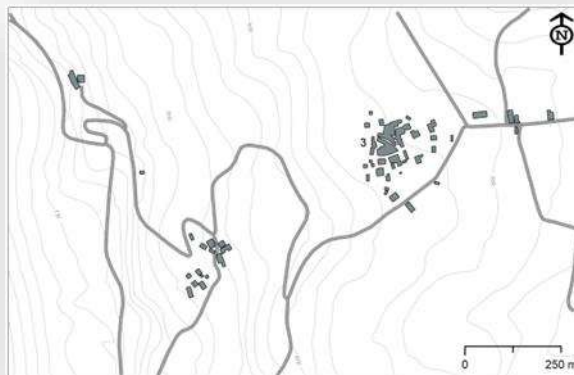
Modello Geologico

Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.

Rilievo topografico di dettaglio



Prove di laboratorio su terra

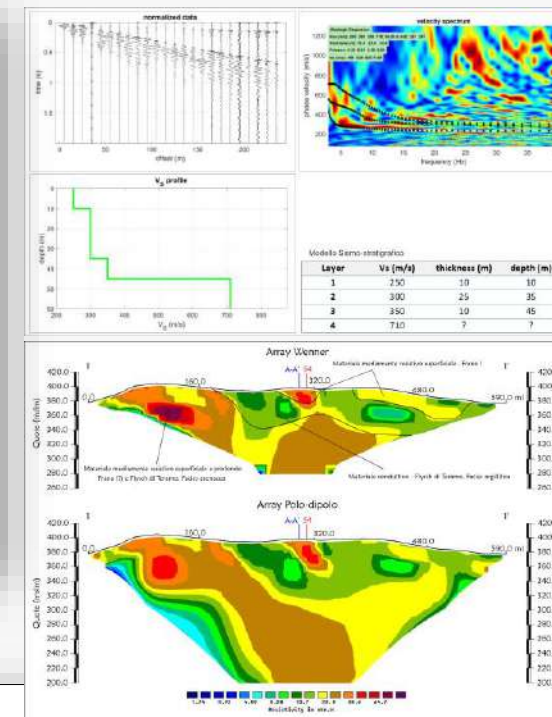


Prove di laboratorio su roccia

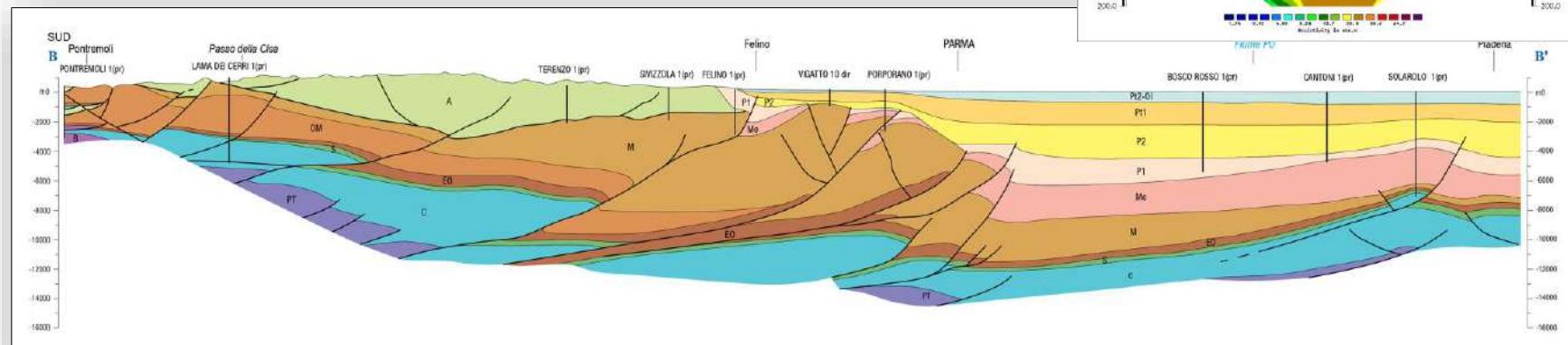
Indagini Geonostiche



Indagini Geofisiche



Ricostruzioni Geologica



ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Definizione

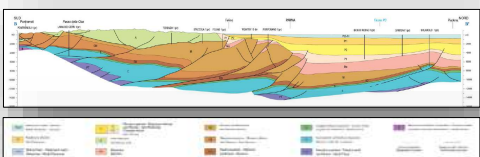
Ricostruzione

Modello Geologico

Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.

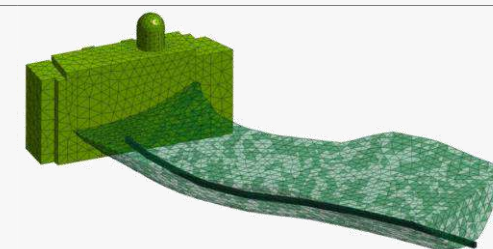
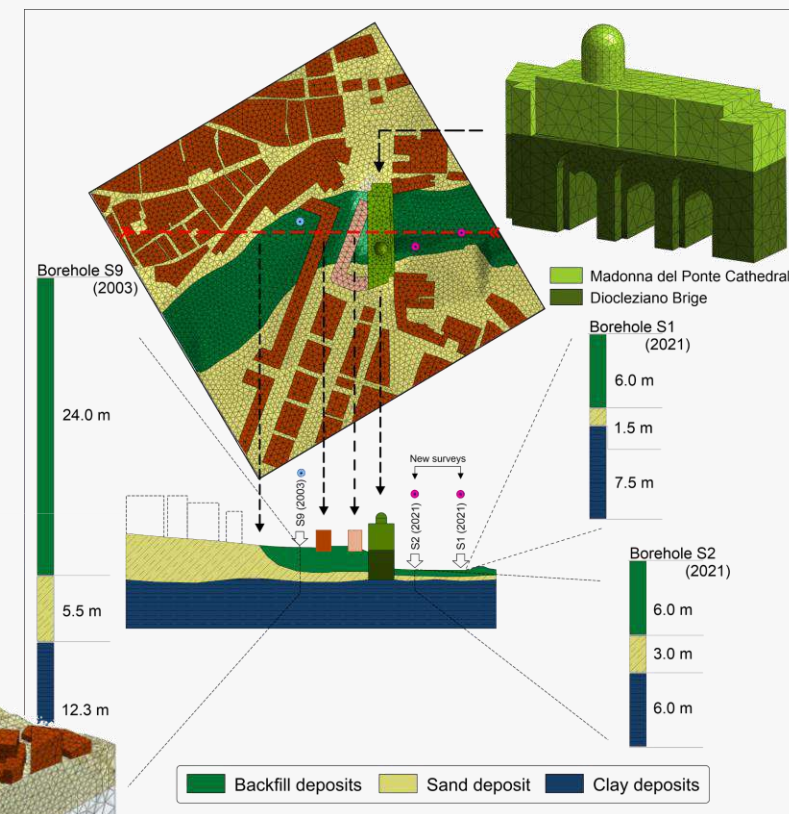
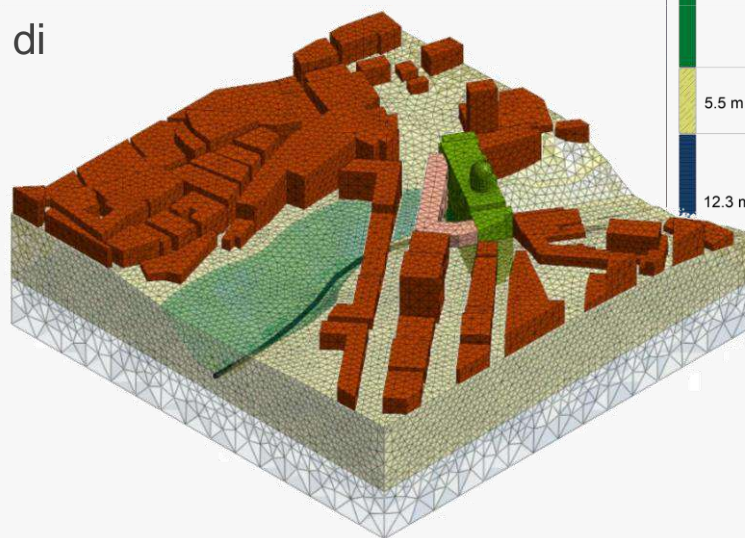
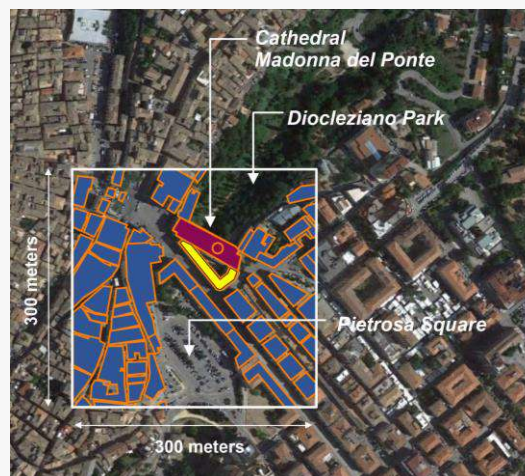


Modello Numerico

Ricostruzione del modello numerico il più possibile aderente alle condizioni geologiche del sito da analizzare.

Definizione delle condizioni al contorno.

Individuazioni dei punti di monitoraggio per la registrazione delle accelerazioni/spettri in output.



ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

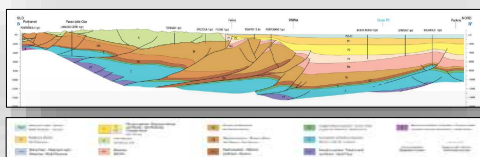
Definizione

Modello Geologico

Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



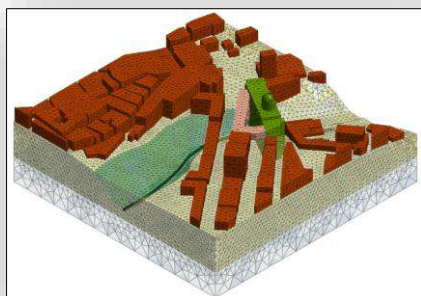
Ricostruzione

Modello Numerico

Ricostruzione del modello numerico il più possibile aderente alle condizioni geologiche del sito da analizzare.

Definizione delle condizioni al contorno.

Individuazioni dei punti di monitoraggio per la registrazione delle accelerazioni/spettri in output.



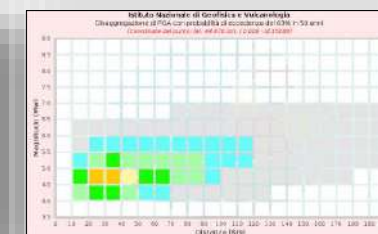
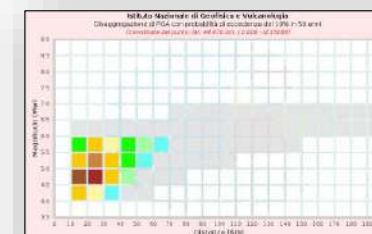
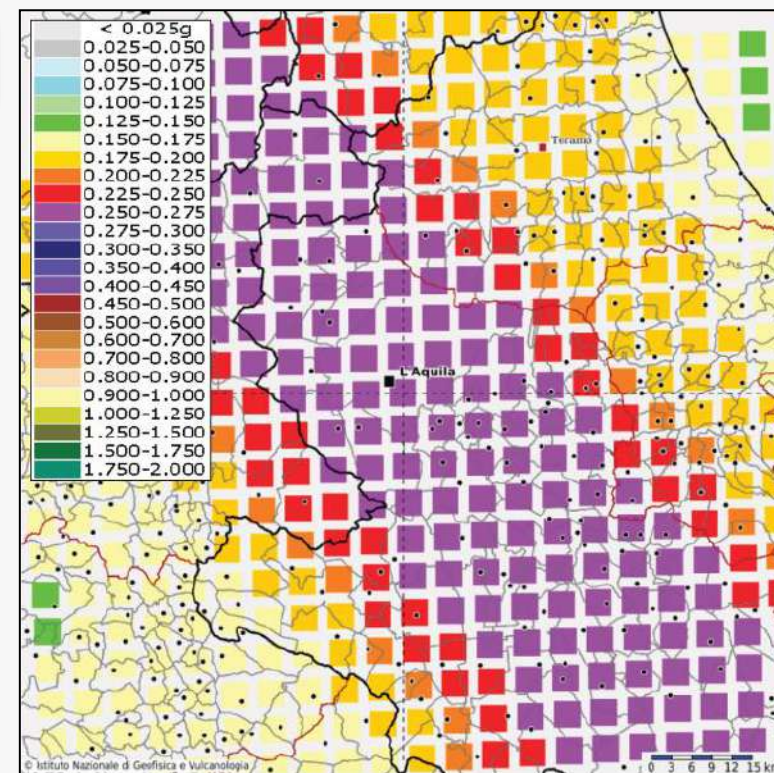
Estrazione

Storie Temporal

Individuazione della pericolosità sismica di base e definizione della massima accelerazione attesa su suolo rigido.

Le massime PGA attese, sono sempre riferite al suolo rigido. Non tengono conto delle modifiche che il segnale sismico subisce in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza, rispetto a quello in profondità, a causa delle diverse condizioni geologiche, stratigrafiche e topografiche locali.

INGV (<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>)



ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

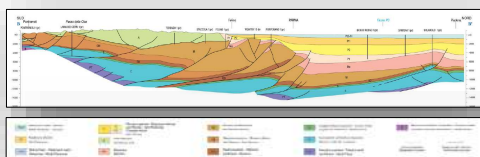
Definizione

Modello Geologico

Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



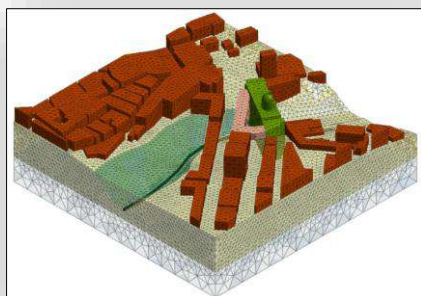
Ricostruzione

Modello Numerico

Ricostruzione del modello numerico il più possibile aderente alle condizioni geologiche del sito da analizzare.

Definizione delle condizioni al contorno.

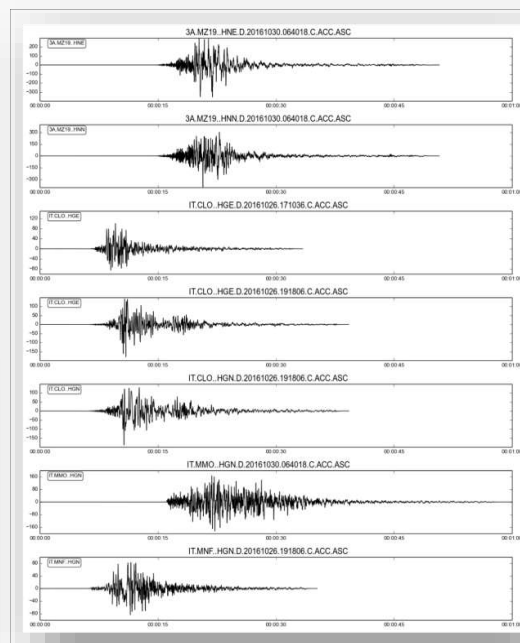
Individuazioni dei punti di monitoraggio per la registrazione delle accelerazioni/spettri in output.



Estrazione

Storie Temporali

Individuazione della pericolosità sismica di base e definizione della massima accelerazione attesa su suolo rigido.



Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

3.2.3.6

IMPIEGO DI STORIE TEMPORALI DEL MOTO DEL TERRENO

*L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che **la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito** e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.*

ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

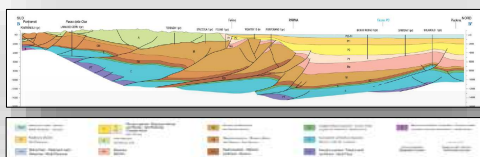
Definizione

Modello Geologico

Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



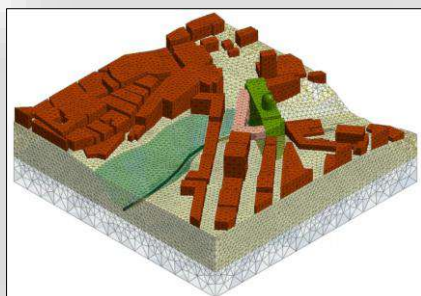
Ricostruzione

Modello Numerico

Ricostruzione del modello numerico il più possibile aderente alle condizioni geologiche del sito da analizzare.

Definizione delle condizioni al contorno.

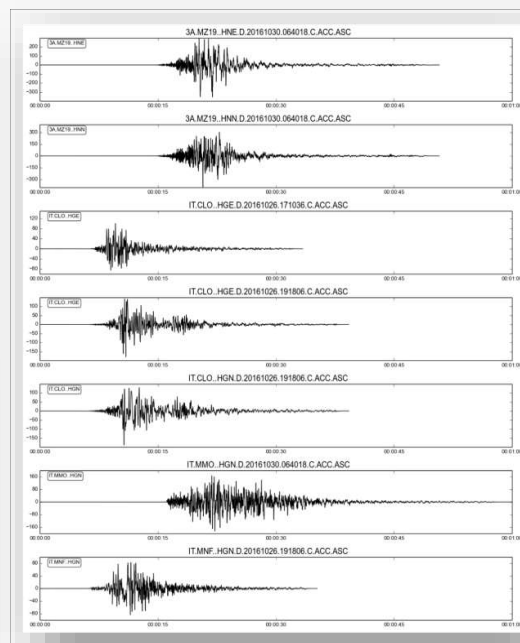
Individuazioni dei punti di monitoraggio per la registrazione delle accelerazioni/spettri in output.



Estrazione

Storie Temporali

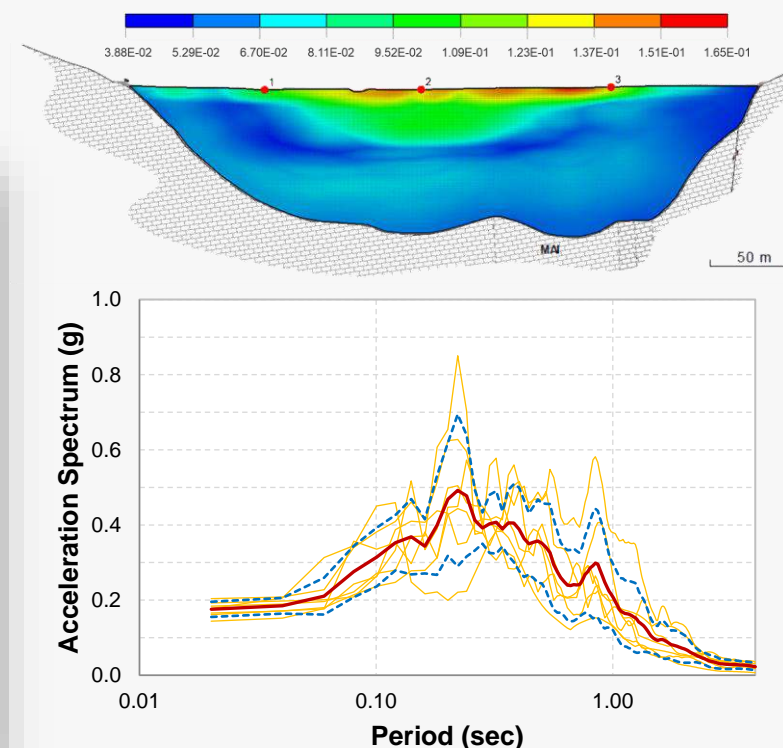
Individuazione della pericolosità sismica di base e definizione della massima accelerazione attesa su suolo rigido.



Analisi

Risposta Sismica Locale

Analisi numerica ed interpretazione dei risultati globali.

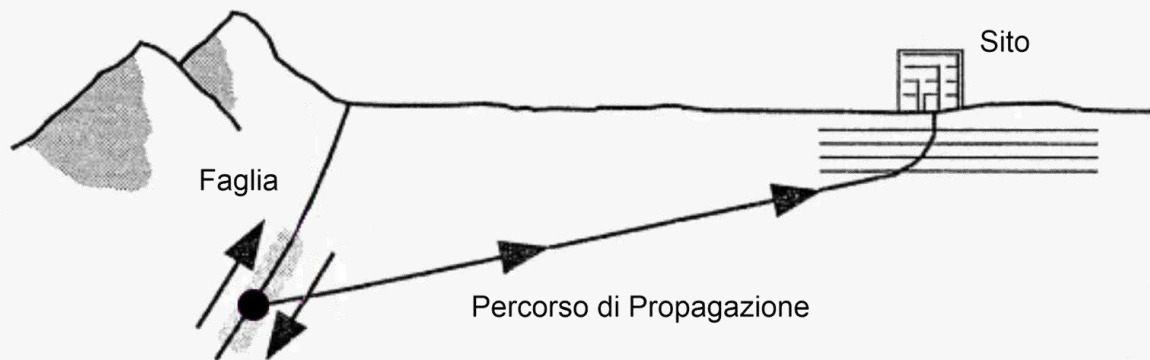


Cosa significa utilizzare un codice numerico???

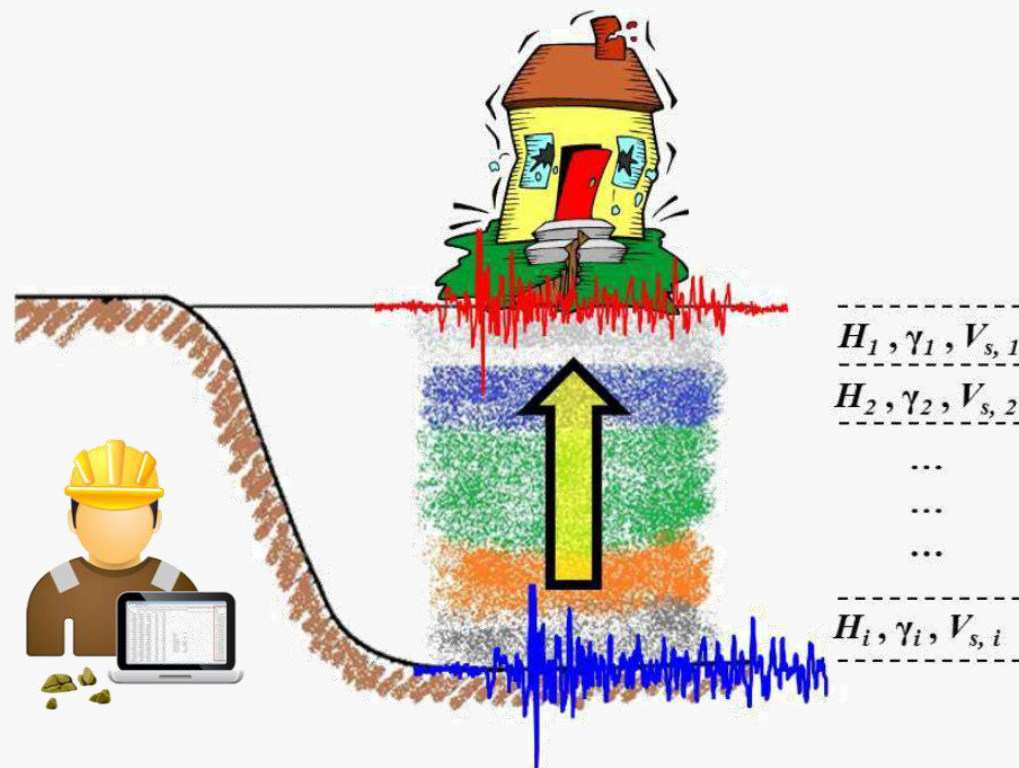
Eseguire una simulazione di una condizione/evento reale
(Terremoti, Frane, Interazione Terreno-Struttura...)

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (§ 7.11.3.)

Definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei fattori locali, dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi.



G. Lanzo e F. Silvestri 1999
Risposta sismica locale. Teoria ed esperienze



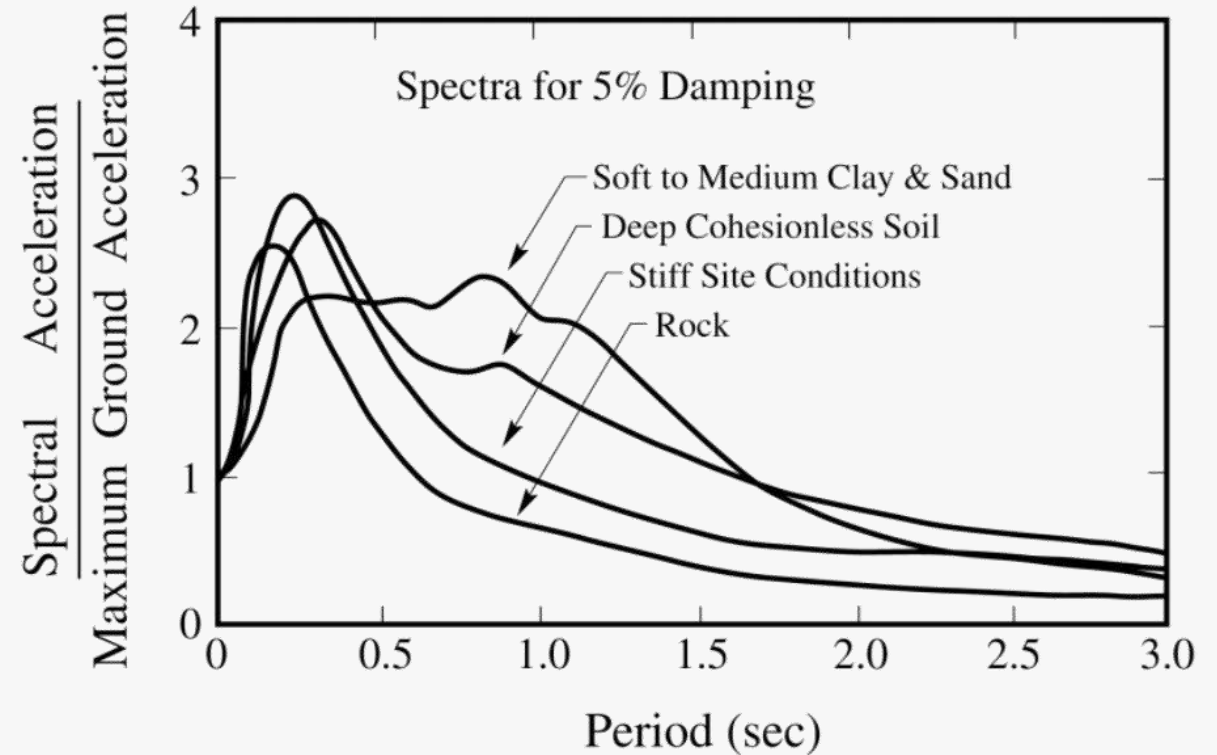
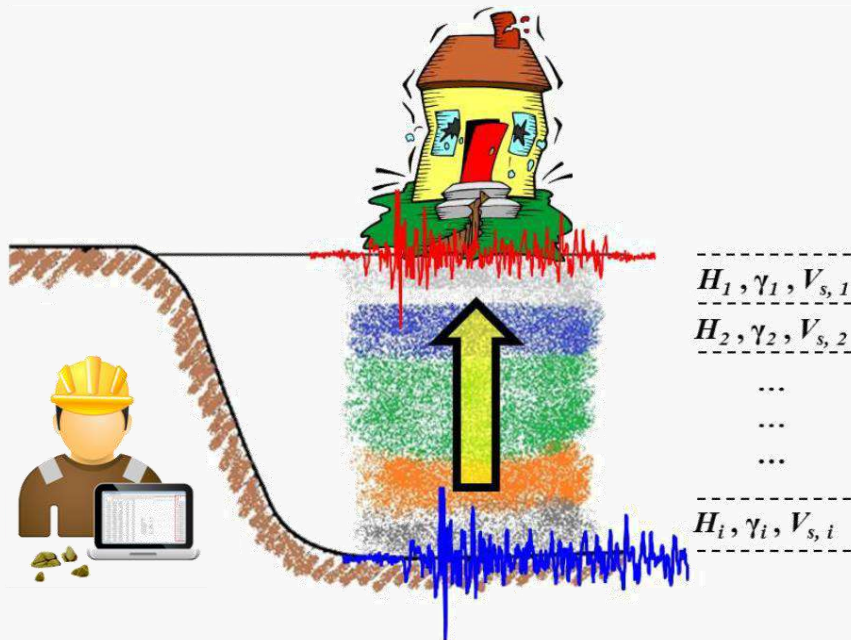
Rajesh P. Dhakal et al. 2013
Seismic design spectra for different soil classes
Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering
Vol. 46, no. 2, June 2013

Cosa significa utilizzare un codice numerico???

Eseguire una simulazione di una condizione/evento reale
(Terremoti, Frane, Interazione Terreno-Struttura...)

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (§ 7.11.3.)

Definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei fattori locali, dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi.



Seed, H.B., Ugas, C. and Lysmer, J. (1976),
Site-dependent Spectra for Earthquake-resistant Design.
Bulletin of the Seismological Society of America. 66(1), 221-243.

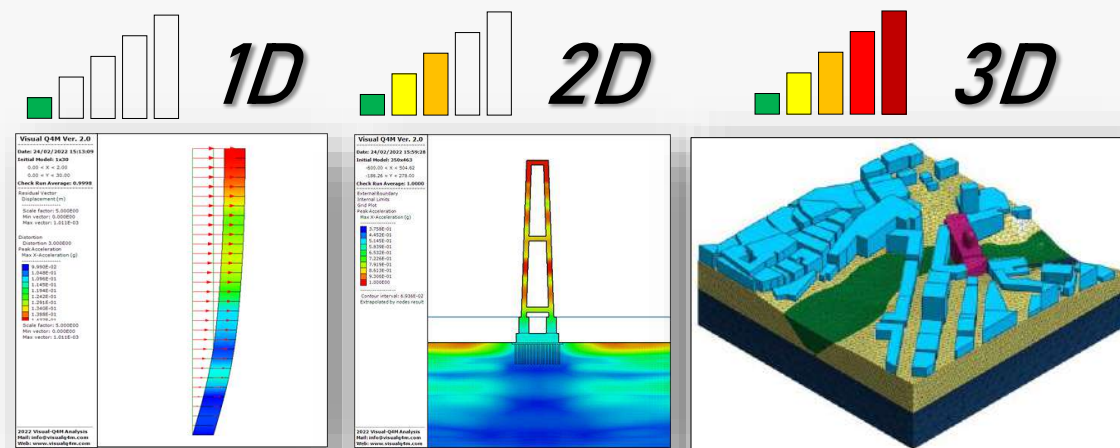
Quanto tempo serve per eseguire un calcolo???

Ogni processo ha bisogno di tempi di calcolo più o meno lunghi assecondo della complessità del modello (1D – 2D – 3D)

Il Pre-Processore per costruire il modello numerico

Il Solutore per risolvere le equazioni di moto

Il Post-Processore per interpreta l'output del solutore in ogni sua parte



EQUAZIONE DI MOTO

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & M_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Pesi di Volume
(Forze inerziali)*

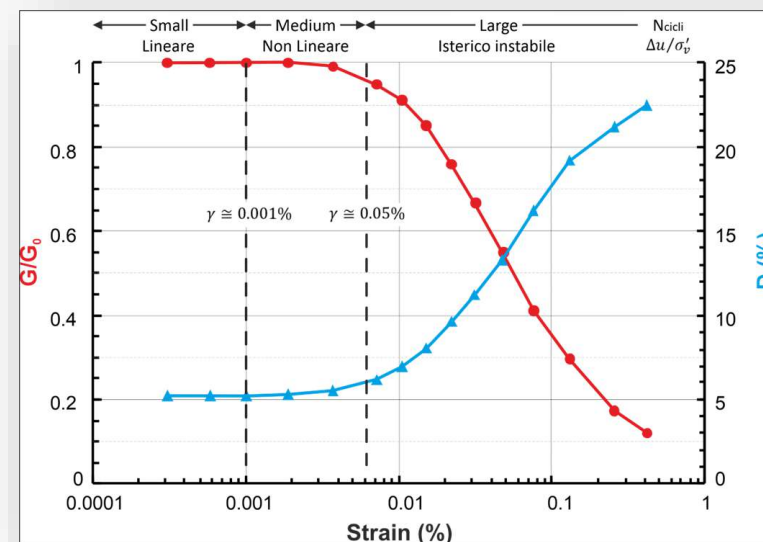
$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & C_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Damping Ratio
(Smorzamento)*

$$\begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,3} & \dots \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,3} & \dots \\ K_{3,1} & K_{3,2} & K_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & K_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Modulo elastico
(Rigidezza)*

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)} \cdot \begin{pmatrix} (1-\nu) & \nu & 0 \\ \nu & (1-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{xy} \end{Bmatrix}$$



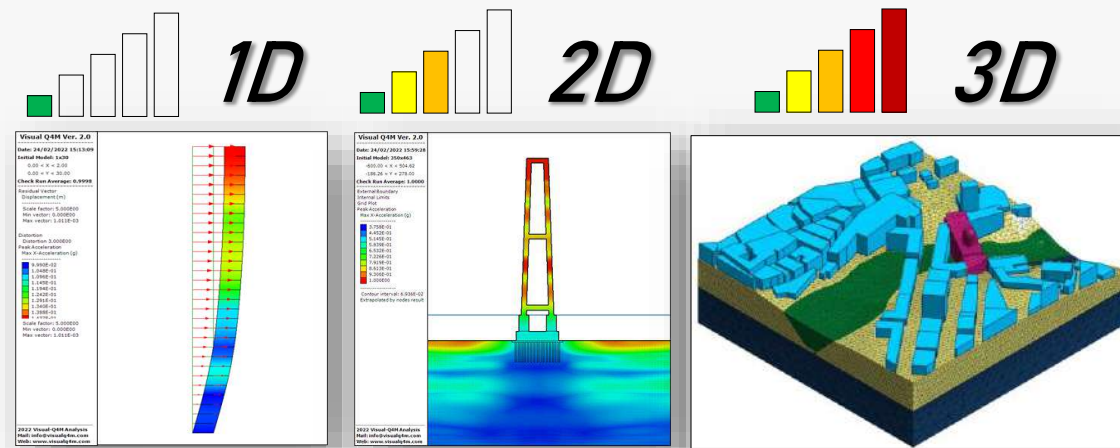
Quanto tempo serve per eseguire un calcolo???

Ogni processo ha bisogno di tempi di calcolo più o meno lunghi assecondo della complessità del modello (1D – 2D – 3D)

Il Pre-Processore per costruire il modello numerico

Il Solutore per risolvere le equazioni di moto

Il Post-Processore per interpreta l'output del solutore in ogni sua parte



EQUAZIONE DI MOTO

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & M_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Pesi di Volume
(Forze inerziali)*

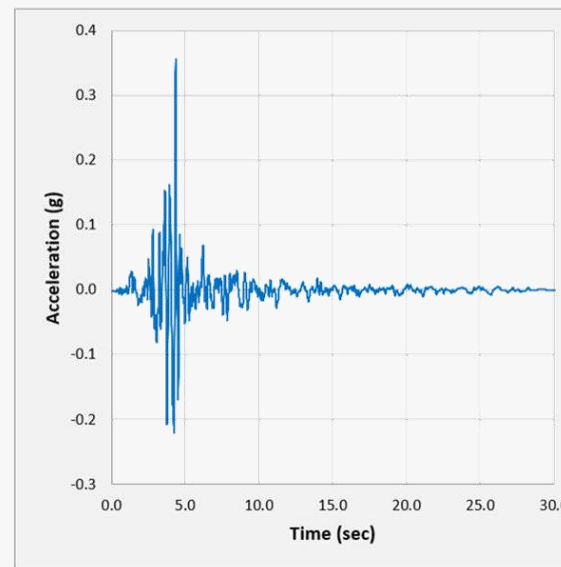
$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & C_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Damping Ratio
(Smorzamento)*

$$\begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,3} & \dots \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,3} & \dots \\ K_{3,1} & K_{3,2} & K_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & K_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Modulo elastico
(Rigidezza)*

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)} \cdot \begin{pmatrix} (1-\nu) & \nu & 0 \\ \nu & (1-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{xy} \end{Bmatrix}$$



Parametri Sismici Caratteristici

- Maximum Acceleration: 0.35736g at time t=4.35000sec
- Maximum Velocity: 0.21479m/sec at time t=4.28000sec
- Maximum Displacement: 0.03810m at time t=3.04000sec
- V_{max} / A_{max}: 0.06127sec
- Acceleration RMS: 0.03107g
- Velocity RMS: 0.02456m/sec
- Displacement RMS: 0.00906m
- Arias Intensity: 0.45107m/sec
- Characteristic Intensity (I_c): 0.03016
- Specific Energy Density: 0.01829m²/sec
- Cumulative Abs. Velocity: 3.58297m/sec
- Acc. Spectrum Intensity: 0.30434g*sec
- Vel. Spectrum Intensity: 0.72185m
- Housner Intensity: 0.51535m
- Sustained Maximum Acc.: 0.09400g
- Sustained Maximum Vel.: 0.09891m/sec
- Effective Design Acc.: 0.36000g
- A95 parameter: 0.35646g
- Predominant Period (T_p): 0.38000sec
- Mean Period (T_m): 0.40496sec

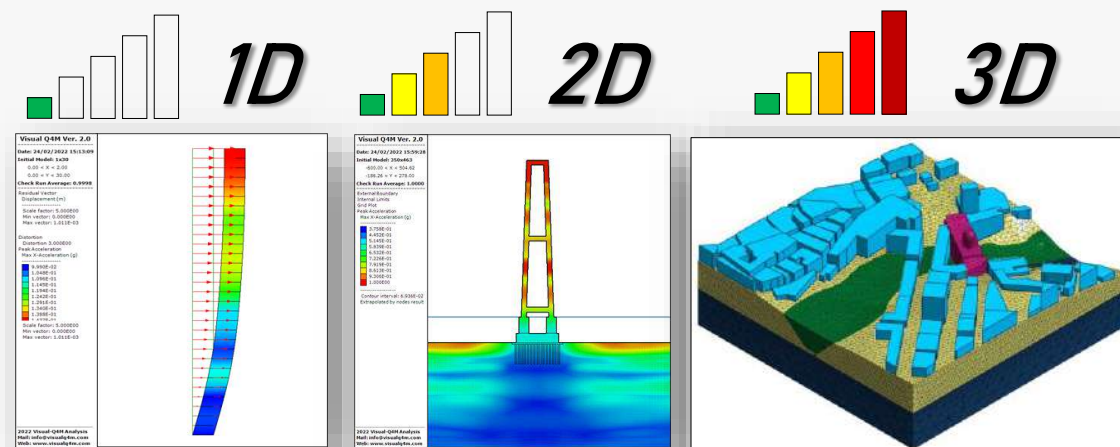
Quanto tempo serve per eseguire un calcolo???

Ogni processo ha bisogno di tempi di calcolo più o meno lunghi assecondo della complessità del modello (1D – 2D – 3D)

Il Pre-Processore per costruire il modello numerico

Il Solutore per risolvere le equazioni di moto

Il Post-Processore per interpreta l'output del solutore in ogni sua parte



EQUAZIONE DI MOTO

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & M_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Pesi di Volume
(Forze inerziali)*

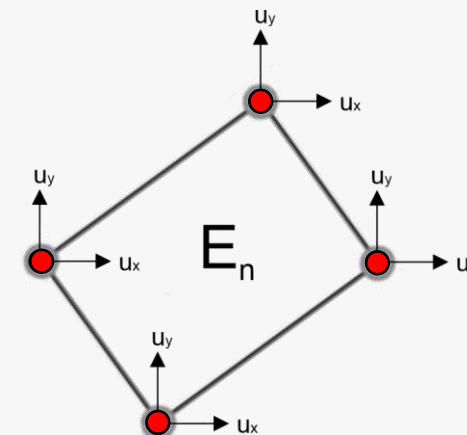
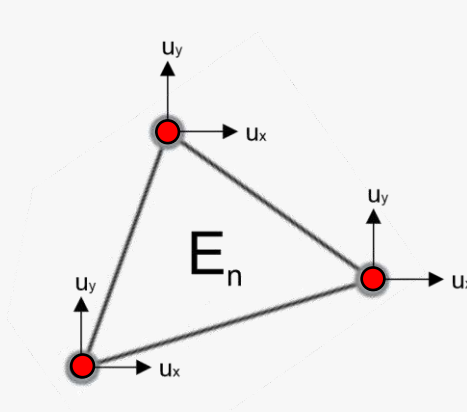
$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & C_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Damping Ratio
(Smorzamento)*

$$\begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,3} & \dots \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,3} & \dots \\ K_{3,1} & K_{3,2} & K_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & K_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Modulo elastico
(Rigidezza)*

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)} \cdot \begin{pmatrix} (1-\nu) & \nu & 0 \\ \nu & (1-\nu) & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu) \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{xy} \end{Bmatrix}$$



Quanto tempo serve per eseguire un calcolo???

Ogni processo ha bisogno di tempi di calcolo più o meno lunghi assecondo della complessità del modello (1D – 2D – 3D)

Il Pre-Processore per costruire il modello numerico

Il Solutore per risolvere le equazioni di moto

Il Post-Processore per interpreta l'output del solutore in ogni sua parte

EQUAZIONE DI MOTO

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & M_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Pesi di Volume
(Forze inerziali)*

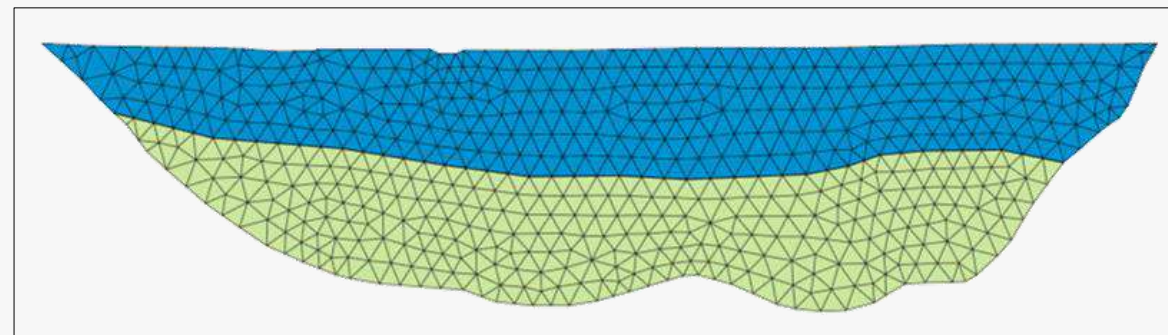
$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & C_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Damping Ratio
(Smorzamento)*

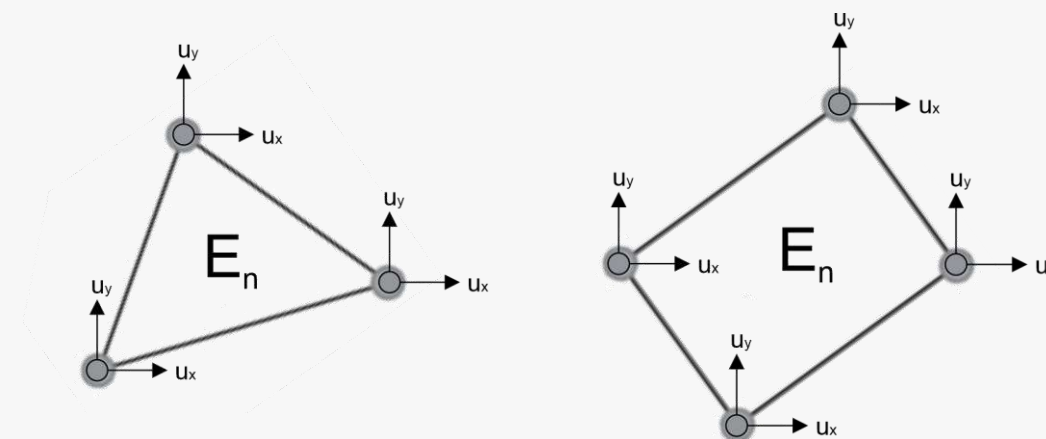
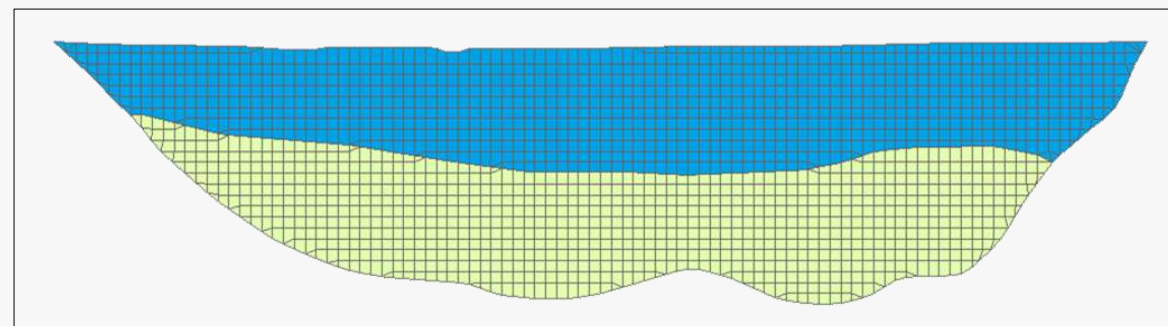
$$\begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,3} & \dots \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,3} & \dots \\ K_{3,1} & K_{3,2} & K_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & K_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Modulo elastico
(Rigidezza)*

Mesh NON Strutturata (Delaunay)



Mesh Strutturata



Quanto tempo serve per eseguire un calcolo???

Ogni processo ha bisogno di tempi di calcolo
più o meno lunghi assecondo della complessità del modello
(1D – 2D – 3D)

Il Pre-Processore per costruire il modello numerico

Il Solutore per risolvere le equazioni di moto

Il Post-Processore per interpreta l'output del solutore in ogni sua parte

EQUAZIONE DI MOTO

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & M_{m,n} \end{bmatrix}$$

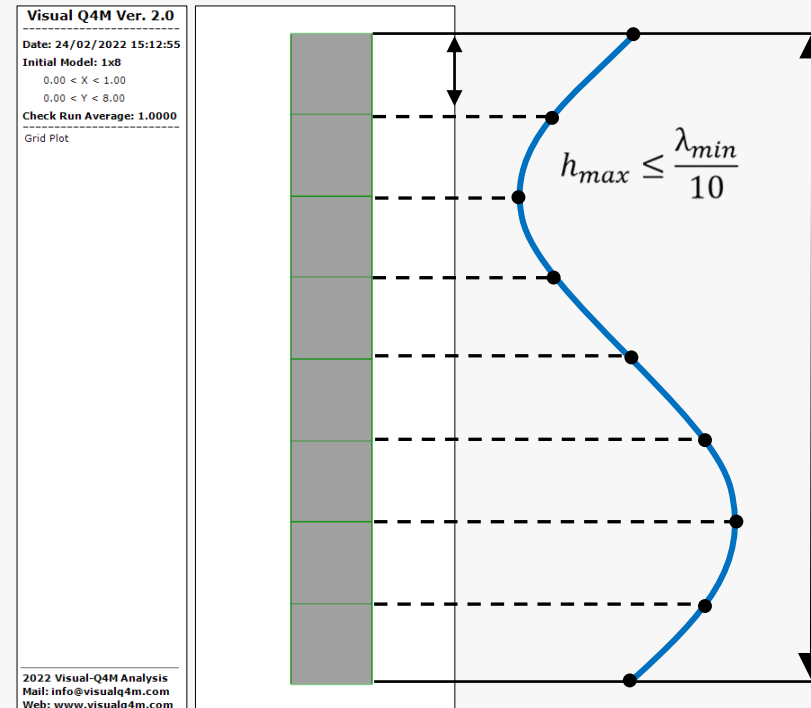
Pesi di Volume
(Forze inerziali)

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & C_{m,n} \end{bmatrix}$$

Damping Ratio
(Smorzamento)

$$\begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,3} & \dots \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,3} & \dots \\ K_{3,1} & K_{3,2} & K_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & K_{m,n} \end{bmatrix}$$

Modulo elastico
(Rigidezza)



$$\lambda_{min} = \frac{V_s}{f_{max}} \quad h_{max} \leq \frac{\lambda_{min}}{10}$$

f_{max} = generalmente 20÷25 Hz)

Quanto tempo serve per eseguire un calcolo???

Ogni processo ha bisogno di tempi di calcolo più o meno lunghi assecondo della complessità del modello (1D – 2D – 3D)

Il Pre-Processore per costruire il modello numerico

Il Solutore per risolvere le equazioni di moto

Il Post-Processore per interpreta l'output del solutore in ogni sua parte

EQUAZIONE DI MOTO

$$[M]\ddot{u} + [C]\dot{u} + [K]u = R$$

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & M_{m,n} \end{bmatrix}$$

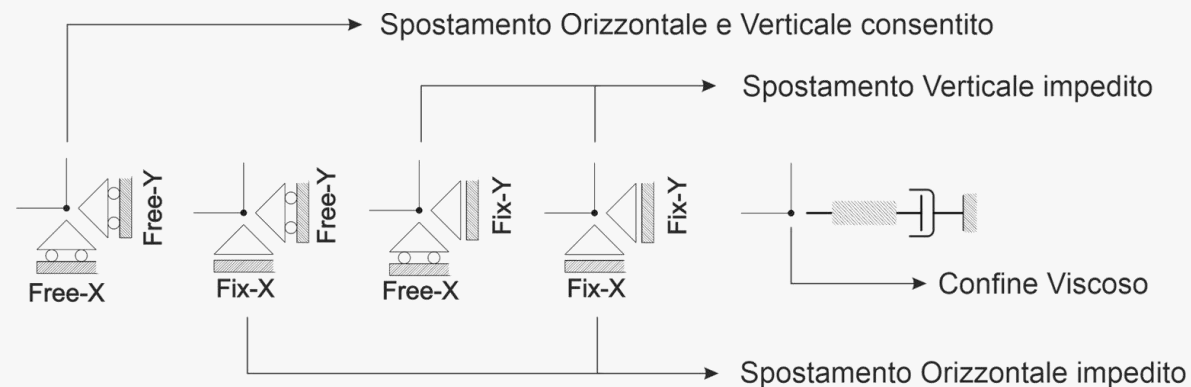
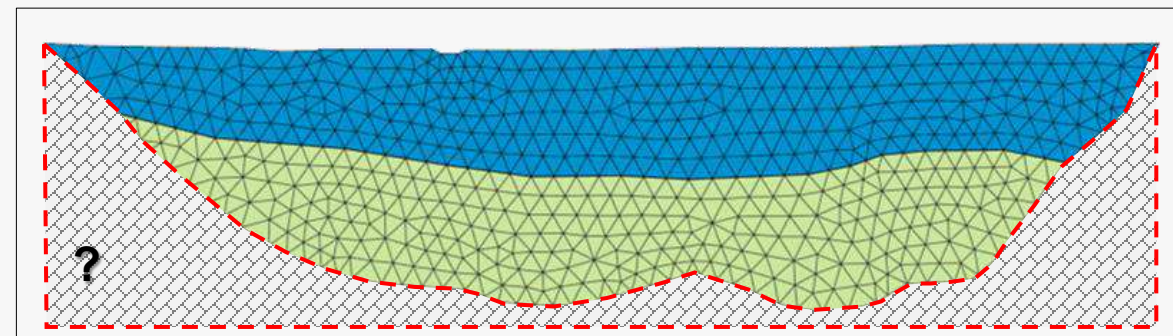
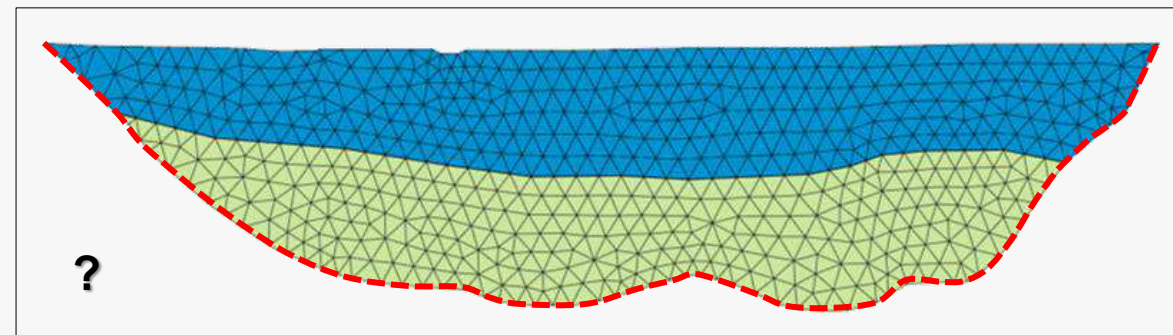
*Pesi di Volume
(Forze inerziali)*

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \dots \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \dots \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & C_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Damping Ratio
(Smorzamento)*

$$\begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,3} & \dots \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,3} & \dots \\ K_{3,1} & K_{3,2} & K_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ & & & K_{m,n} \end{bmatrix}$$

*Modulo elastico
(Rigidezza)*



ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

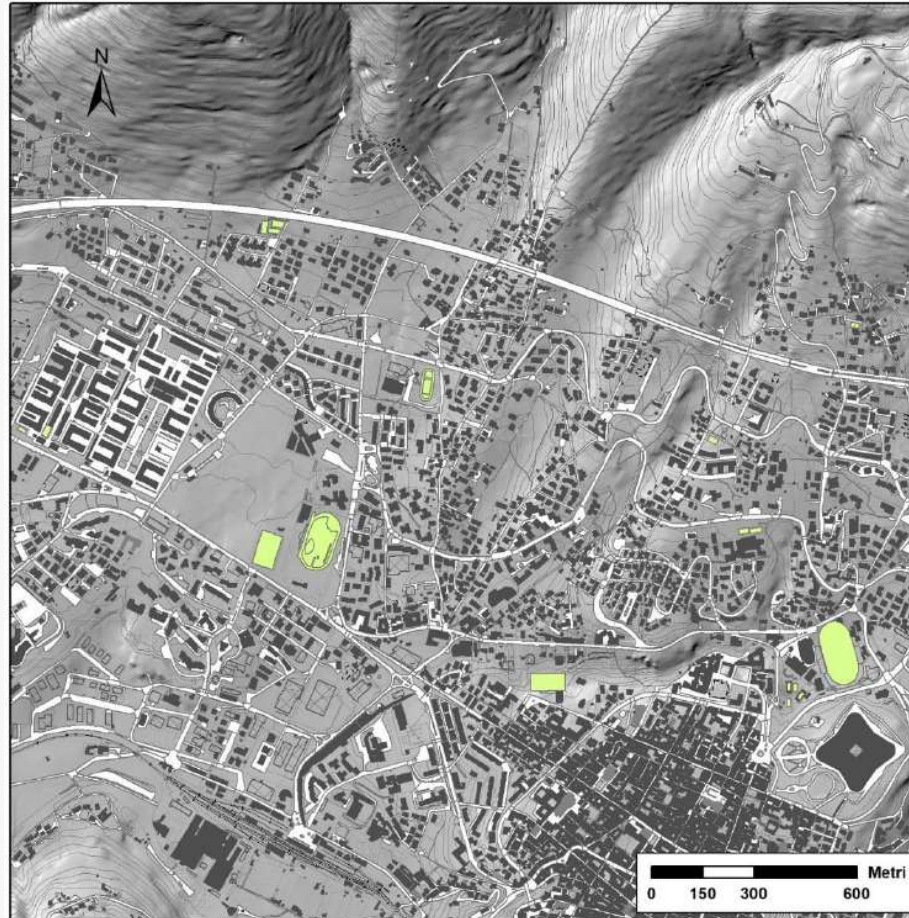
Definizione

Modello Geologico

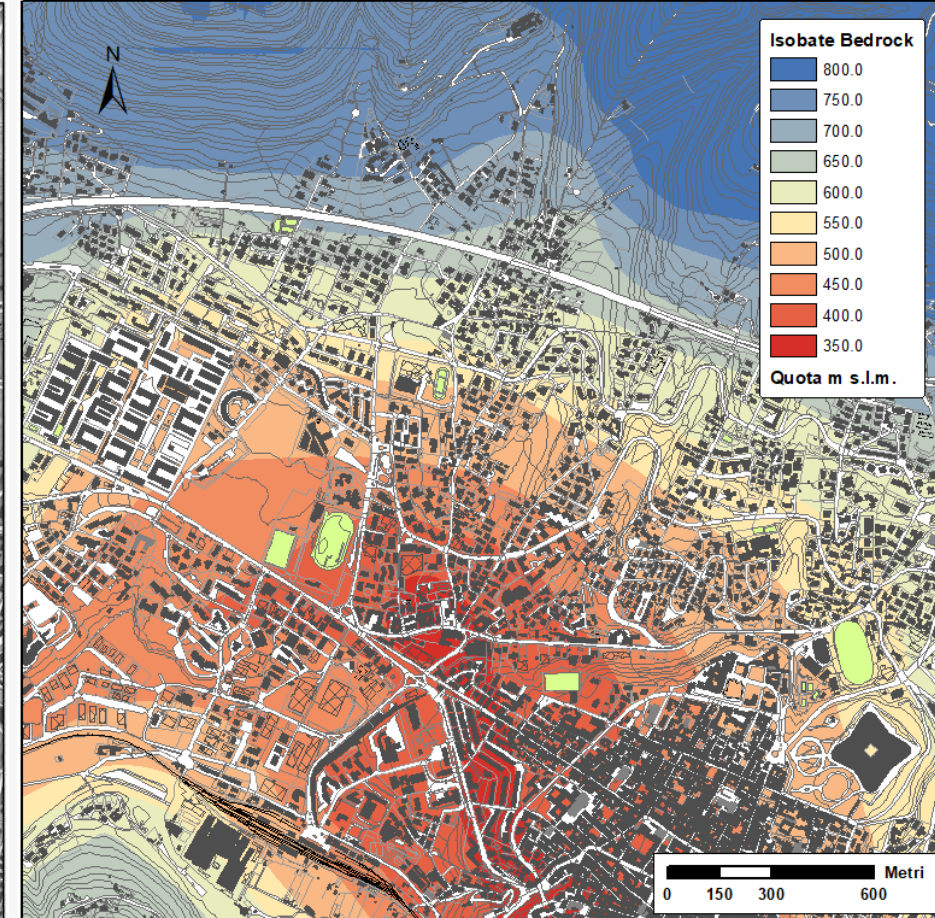
Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



Rilievo Topografico di dettaglio



Andamento del Bedrock Sismico

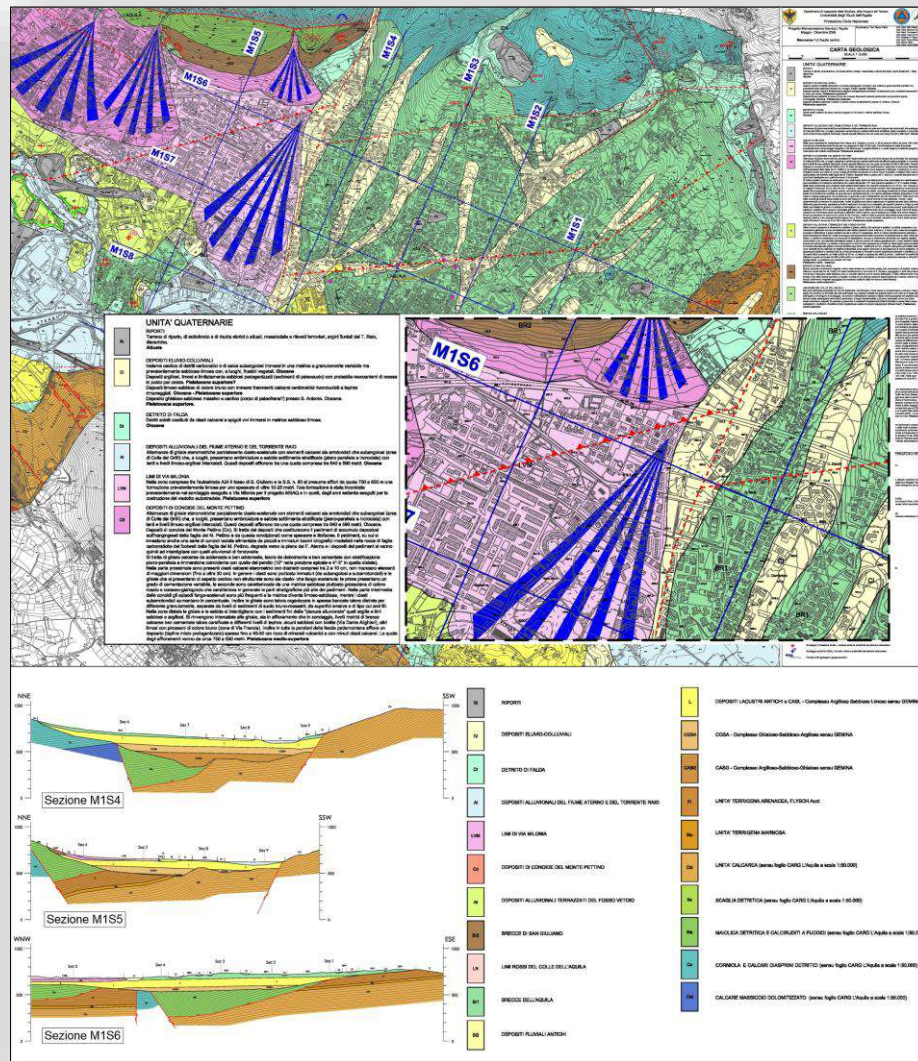
Definizione

Modello Geologico

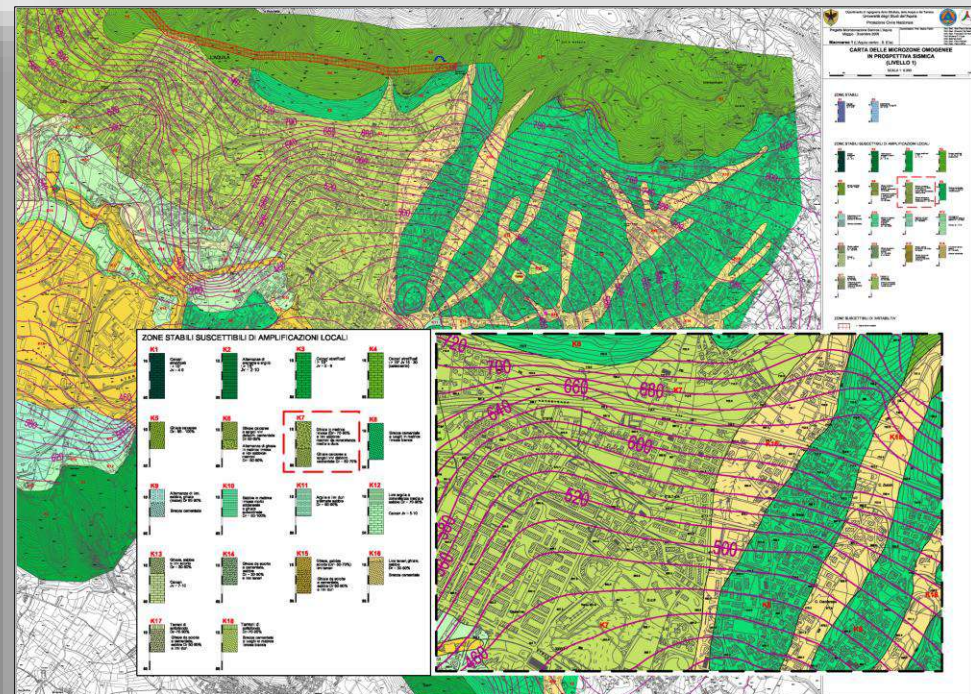
Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



Carta Geologica



Carta delle Microzonone Omogenee



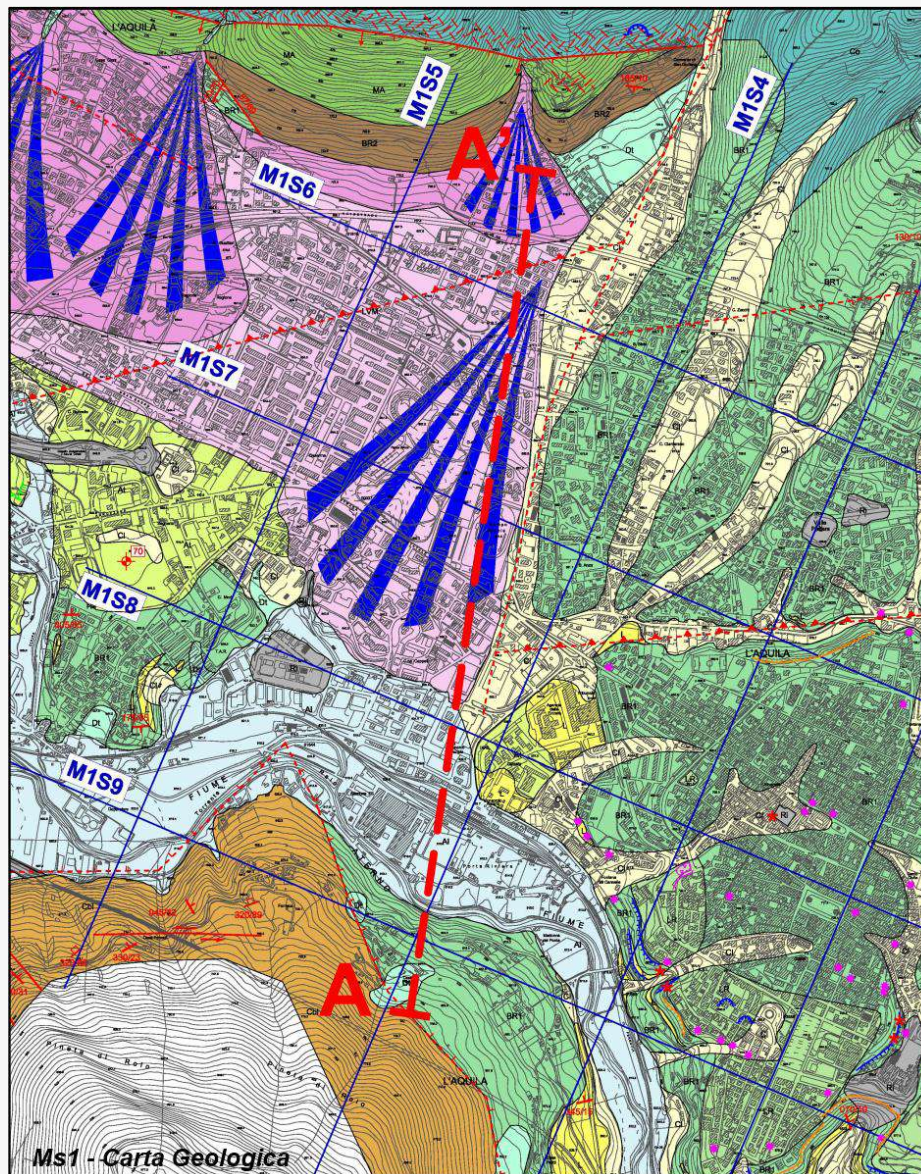
Definizione

Modello Geologico

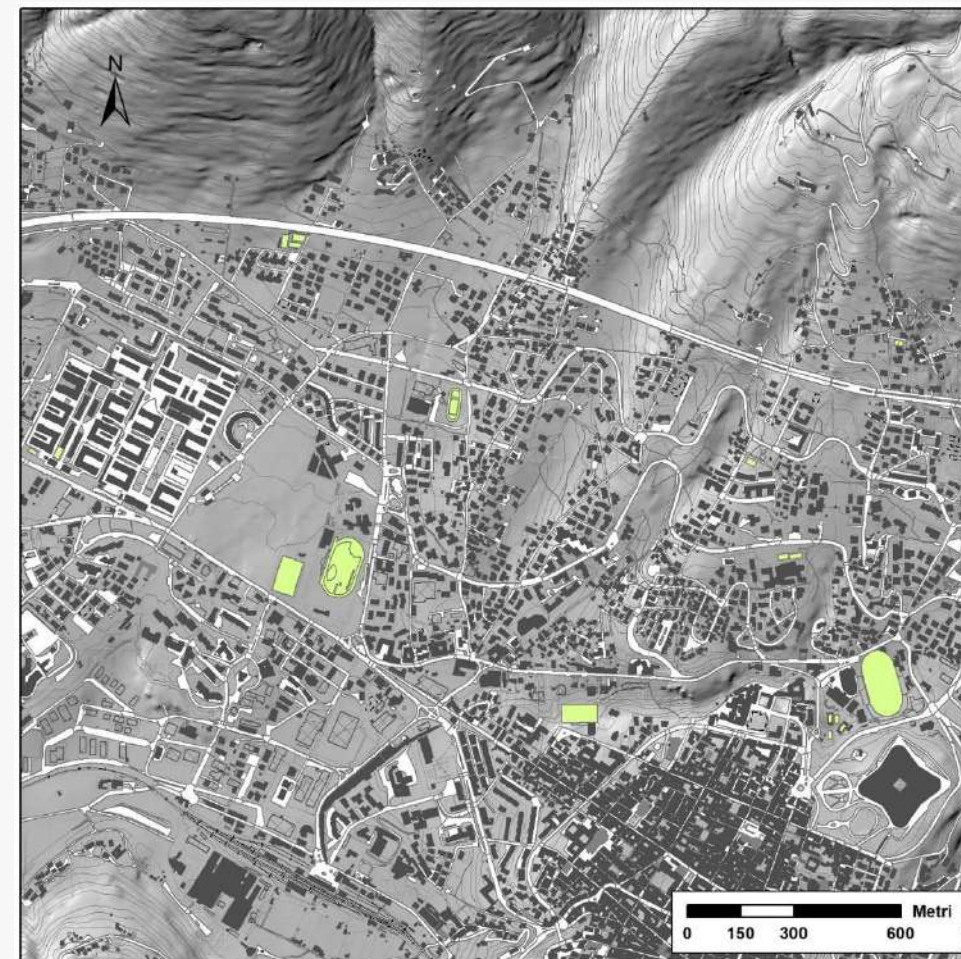
Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



Carta Geologica



Rilievo Topografico di dettaglio

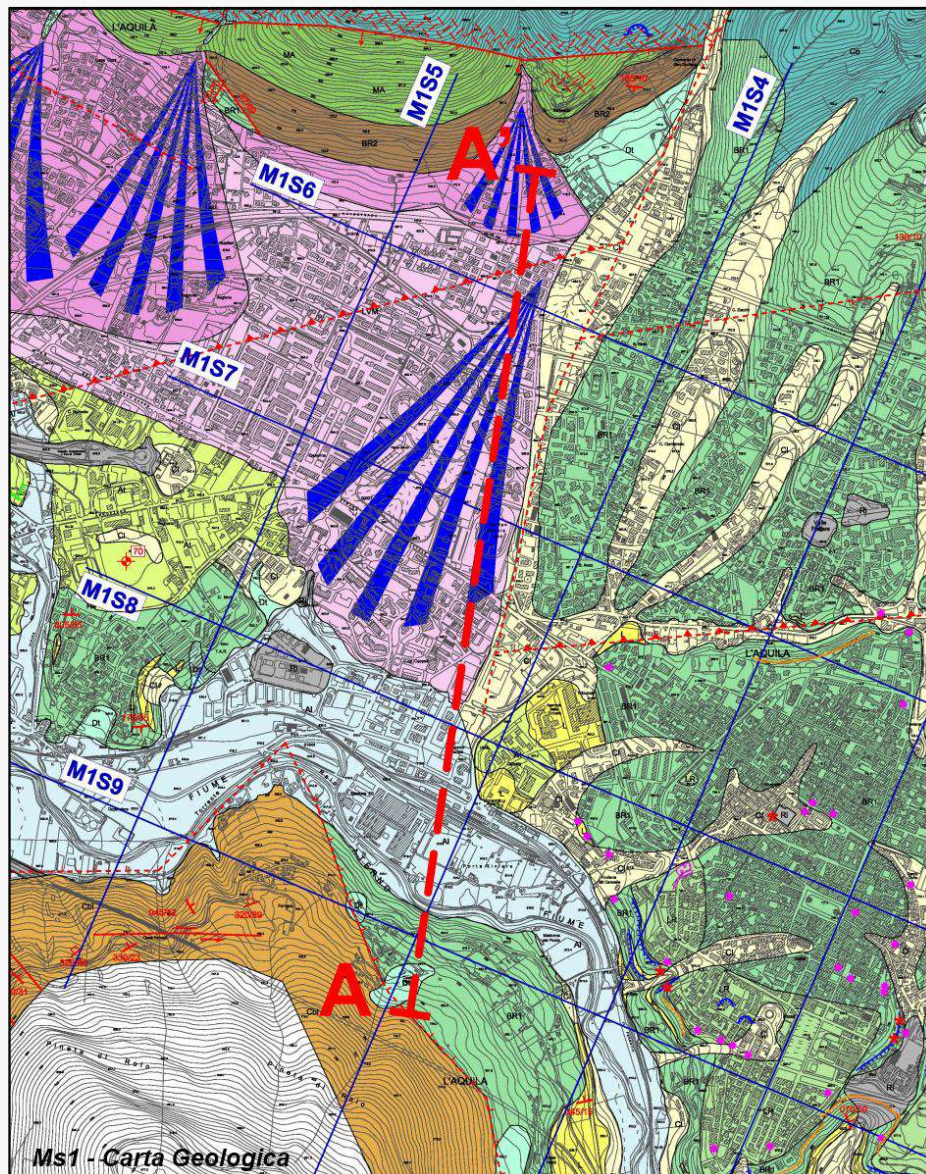
Definizione

Modello Stratigrafico

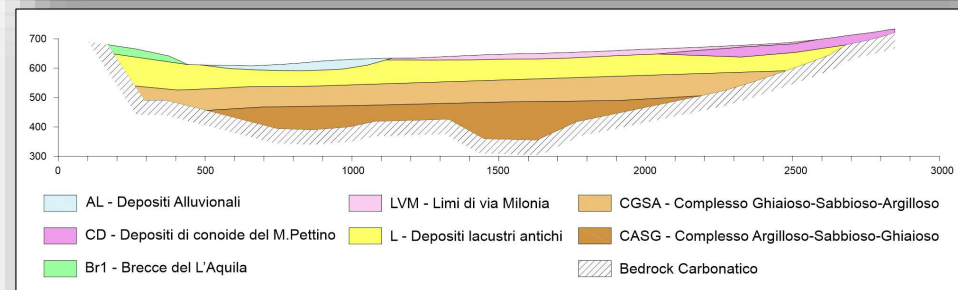
Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.



Carta Geologica



Definizione

Modello Geologico

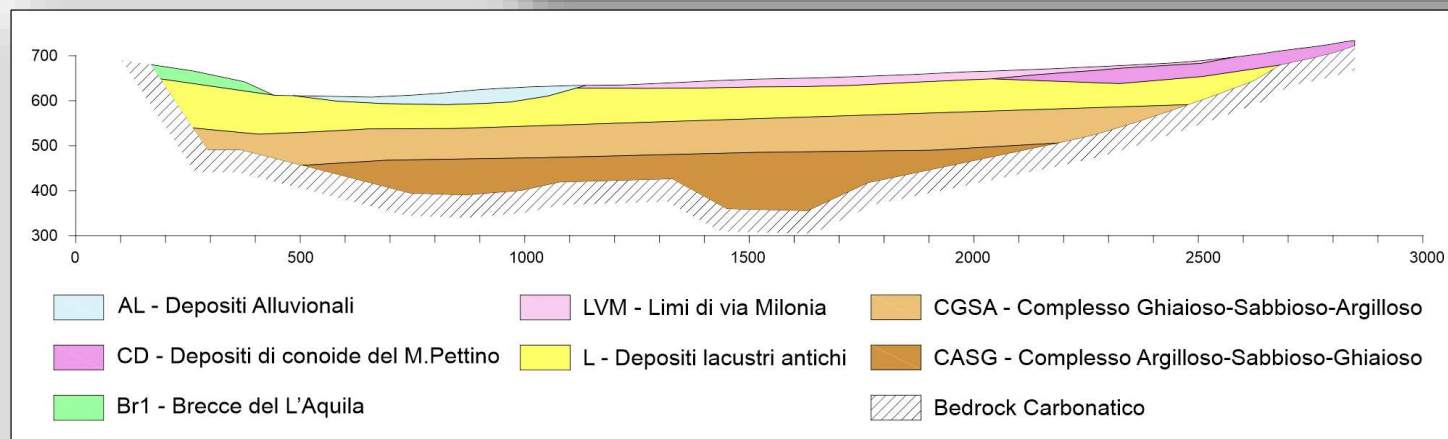
Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.

Riferimento Microzonazione Sismica		Peso di Volume	Vs
		kN/m ³	m/s
LVM	Limi di via Milonia	17.0	393
CD	Depositi di conoide del M.Pettino	21.0	986
L	Depositi lacustri antichi	19.0	500
BR1	Brecce de L'Aquila	24.0	800
AL	Depositi alluvionali	19.0	350
CGSA CASG	Complesso Gaioso-Sabbioso-Argilloso Complesso Argilloso-Sabbioso-Ghiaiolo	22.0	500-600

- Sondaggi a carotaggio
- SPT in foro
- Prove di laboratorio
- Down-Hole



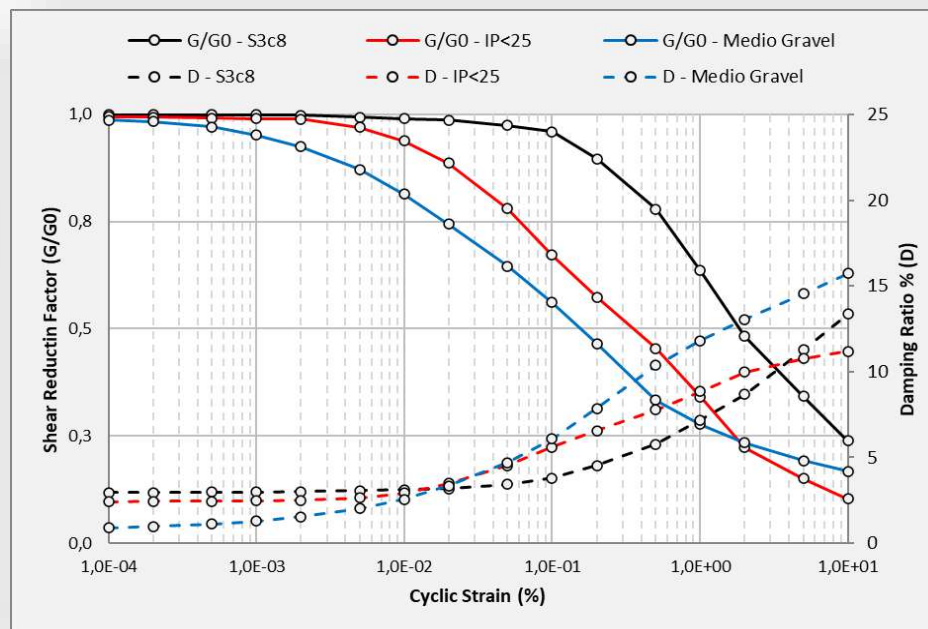
Definizione

Modello Geologico

Un rilievo topografico di dettaglio con estensione congrua con l'area in studio.

L'individuazione dei contatti stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche e sismiche dei terreni.

Definizione della profondità del bedrock sismico ed il suo andamento nello spazio.

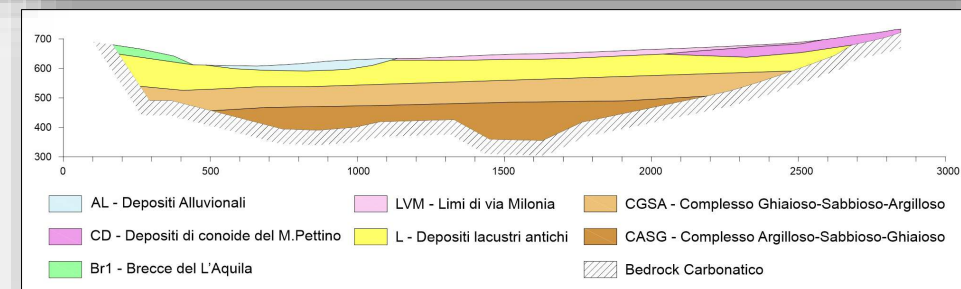


Brecce e i Depositi di Conoide: Comportamento lineare;

Depositi alluvionali: le curve delle ghiaie usate per le analisi di deconvoluzione della registrazione della scossa principale nella stazione R.A.N. (AQV Centrovale);

Limi: le curve del limo argilloso corrispondente ad un indice $IP \leq 25$ (Boiero et al., 2009);

Depositi lacustri profondi: le curve del limo argilloso del campione S3C8 del sito Roio Piano prelevato alla profondità di 50 m. (Boiero et al., 2009).



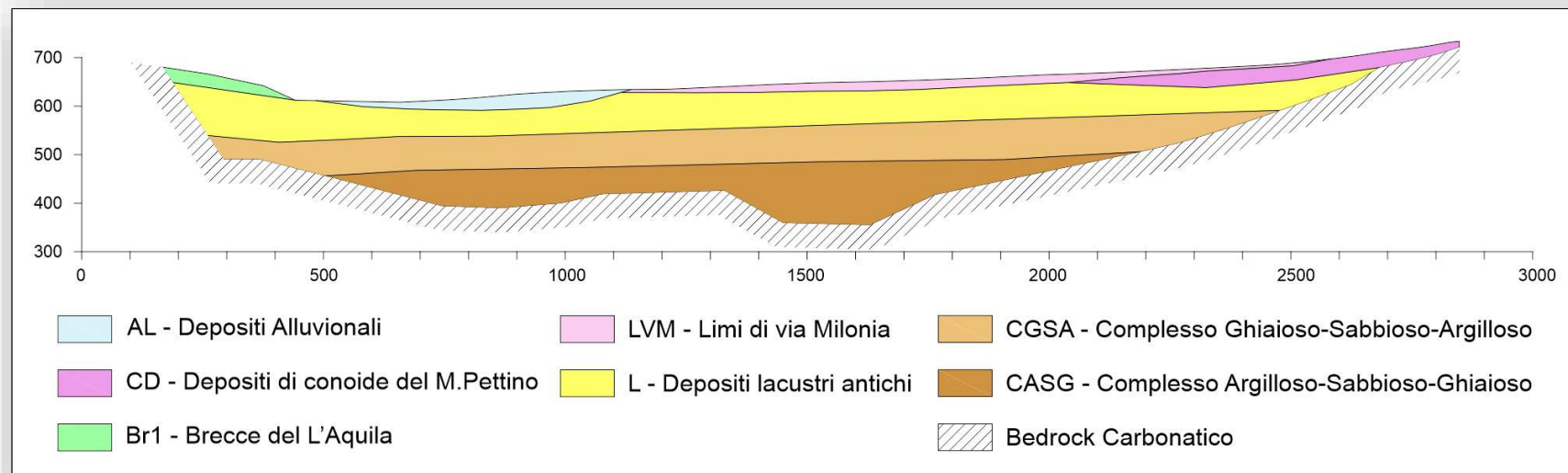
Ricostruzione

Modello Numerico

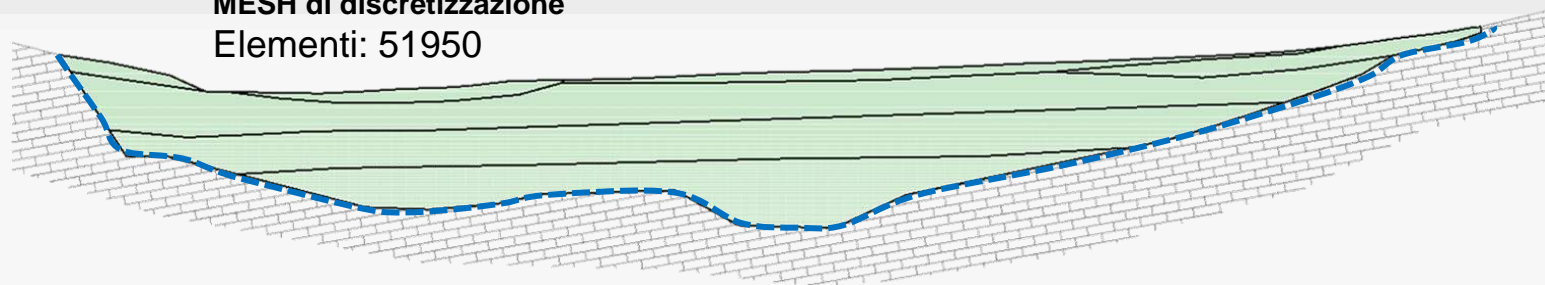
Ricostruzione del modello numerico il più possibile aderente alle condizioni geologiche del sito da analizzare.

Definizione delle condizioni al contorno.

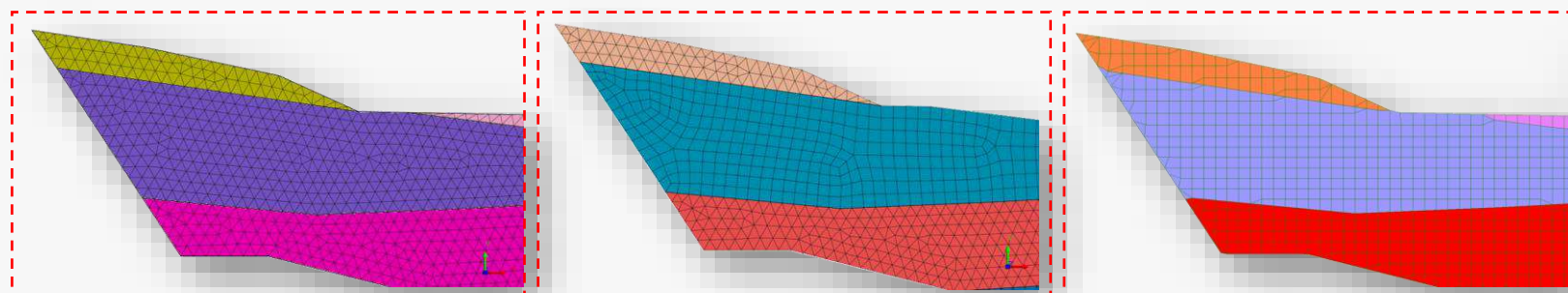
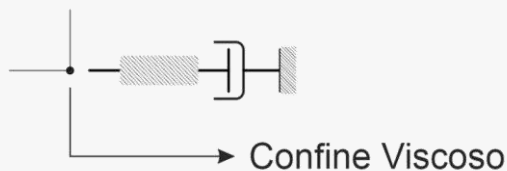
Individuazioni dei punti di monitoraggio per la registrazione delle accelerazioni/spettri in output.



MESH di discretizzazione
Elementi: 51950



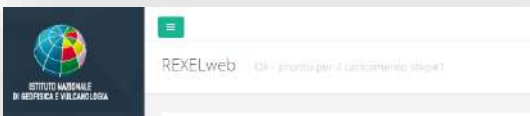
Condizion al Contorno: Bedrock



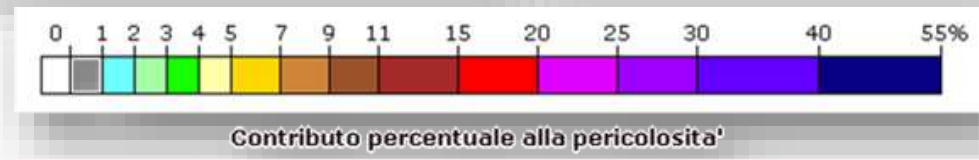
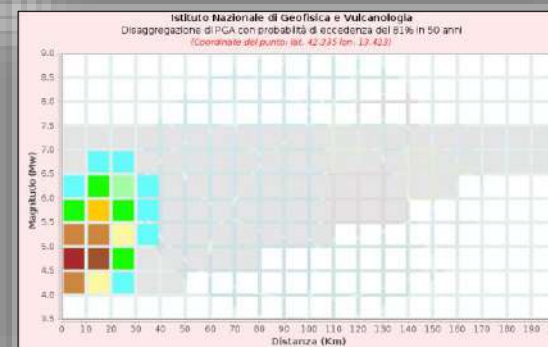
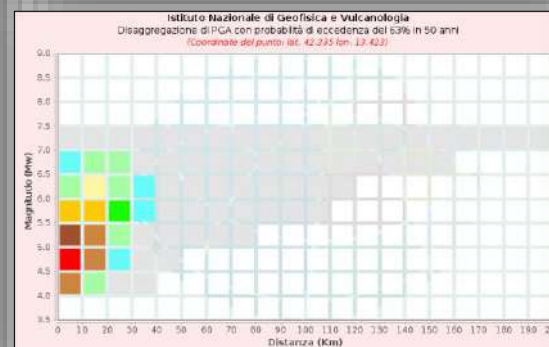
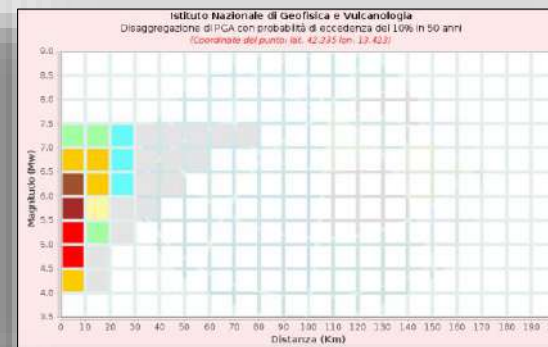
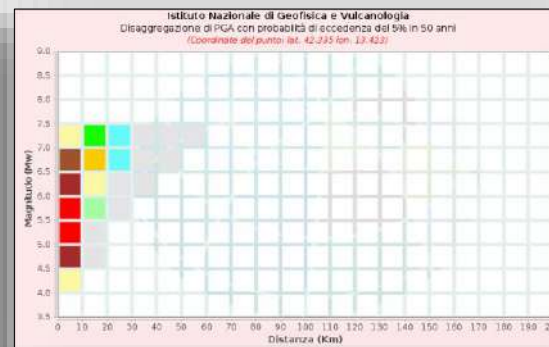
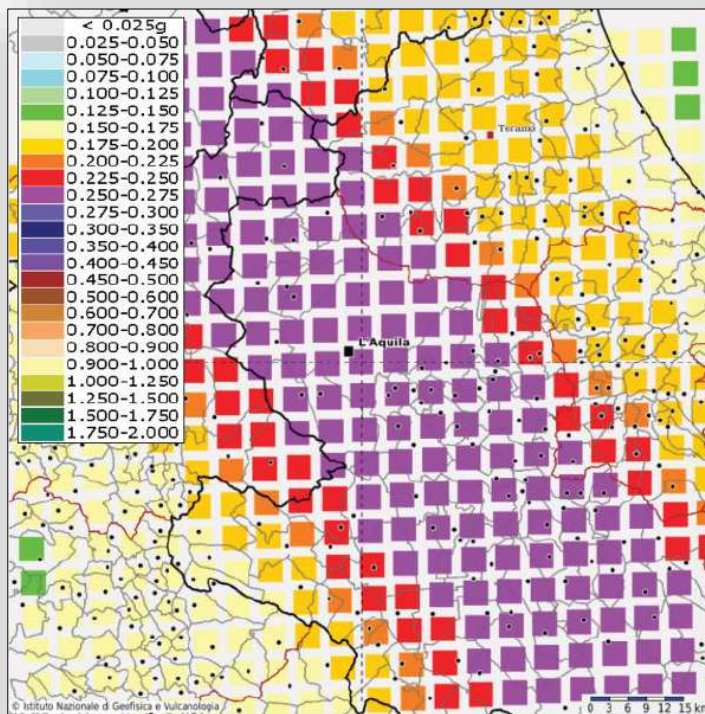
Estrazione

Storie Temporali

Individuazione della pericolosità sismica di base e definizione della massima accelerazione attesa su suolo rigido.



Fonte: <https://esse1-gis.mi.ingv.it/>



Vita Nominale (Vn)

100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati

Classe d'uso

IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti

SLV - Stato Limite di salvaguardia Vita

- Input 1 - 3A.MZ19.HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC
- Input 2 - 3A.MZ102.HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC
- Input 3 - EU.BAR.00.HNE.D.ME-1979-0003.ACC
- Input 4 - IT.AMT.00.HGE.D.EMSC-20160824_0000006.ACC
- Input 5 - IT.AQG.00.HNE.D.IT-2009-0009.ACC
- Input 6 - IT.AQK.00.HNN.D.IT-2009-0009.ACC
- Input 7 - IV.T1213.HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC

Combinazione bidimensionale di Magnitudo (M) e distanza (R) relative al terremoto che domina lo scenario di pericolosità, ossia che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito

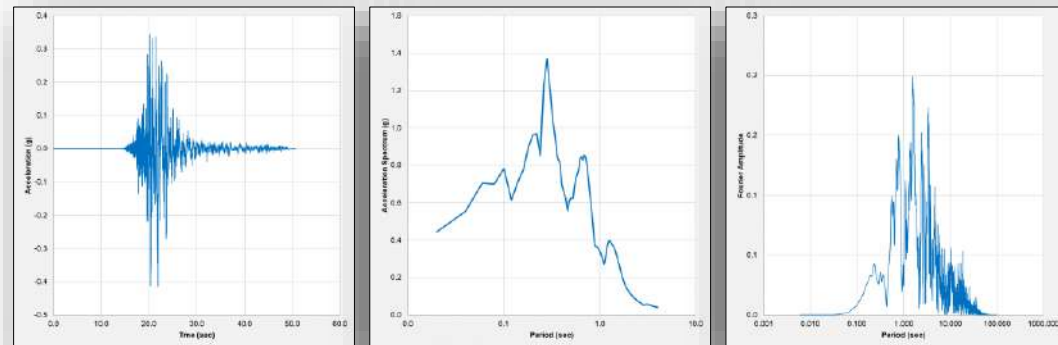
Estrazione

Storie Temporali

Individuazione della pericolosità sismica di base e definizione della massima accelerazione attesa su suolo rigido.

SLV - Stato Limite di salvaguardia Vita

Input 1 - 3A.MZ19.HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC
 Input 2 - 3A.MZ102.HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC
 Input 3 - EU.BAR.00.HNE.D.ME-1979-0003.ACC
 Input 4 - IT.AMT.00.HGE.D.EMSC-20160824_0000006.ACC
 Input 5 - IT.AQG.00.HNE.D.IT-2009-0009.ACC
 Input 6 - IT.AQK.00.HNN.D.IT-2009-0009.ACC
 Input 7 - IV.T1213.HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC



INPUT SLV	1	2	3	4	5	6	7
Peak Ground Acceleration (g)	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415	0.415
Peak Ground Velocity (m/sec)	0.395	0.484	0.581	0.208	0.288	0.420	0.317
Peak Ground Displacement (m)	0.144	0.159	0.159	0.016	0.056	0.137	0.065
Peak Velocity and Acc. Ratio (sec)	0.097	0.119	0.143	0.051	0.071	0.103	0.078
Root Mean Square of acceleration (g)	0.044	0.043	0.074	0.032	0.027	0.033	0.043
Root Mean Square of velocity (m/sec)	0.046	0.047	0.102	0.017	0.024	0.045	0.027
Root Mean Square of displacement (m)	0.021	0.020	0.025	0.003	0.006	0.013	0.016
Arias Intensity (m/sec)	1.502	2.147	4.002	0.432	1.146	1.678	1.516
Characteristic Intensity	0.065	0.077	0.138	0.030	0.045	0.060	0.065
Specific Energy Density (m ² /sec)	0.108	0.167	0.500	0.008	0.059	0.198	0.039
Cumulative Absolute Velocity (m/s)	8.274	9.947	20.076	3.051	7.882	11.578	8.301
Acc. Spectrum Intensity (g*sec)	0.355	0.432	0.438	0.314	0.303	0.302	0.321
Housner Intensity (m)	1.279	1.571	2.896	0.357	1.070	1.664	0.793
Predominant Period (sec)	0.281	0.302	0.241	0.241	0.221	0.141	0.080
Significant duration (sec)	5.780	5.375	18.825	3.735	8.140	11.305	6.535



Vita Nominale (Vn)

100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati

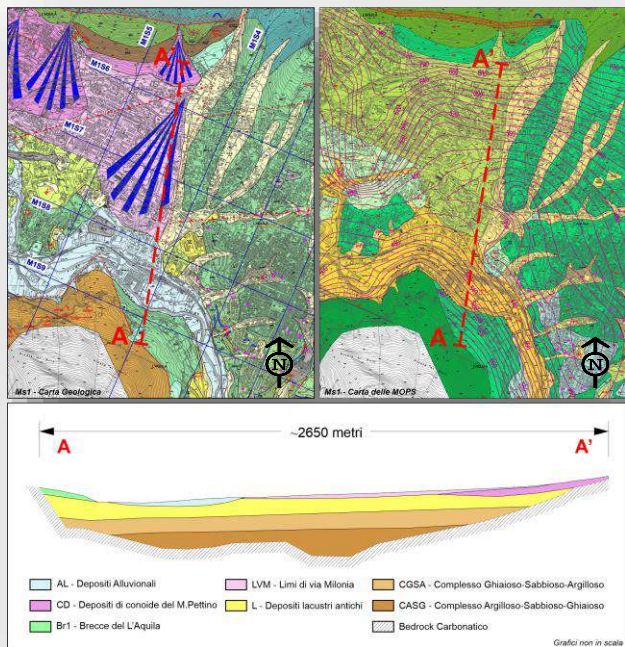
Classe d'uso

IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti

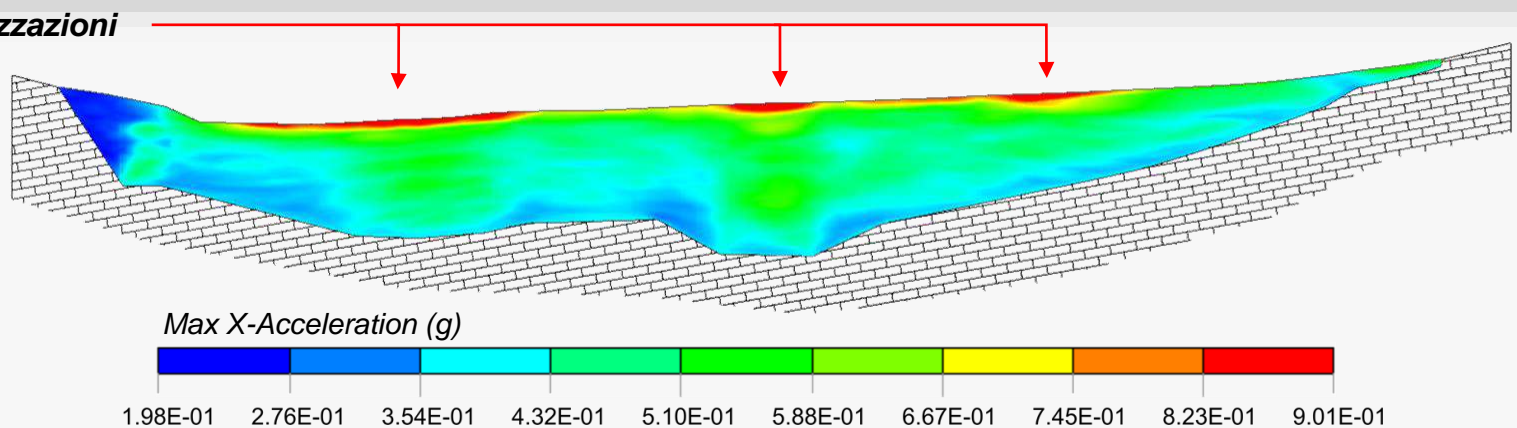
Analisi

Risposta Sismica Locale

Analisi numerica ed interpretazione dei risultati.



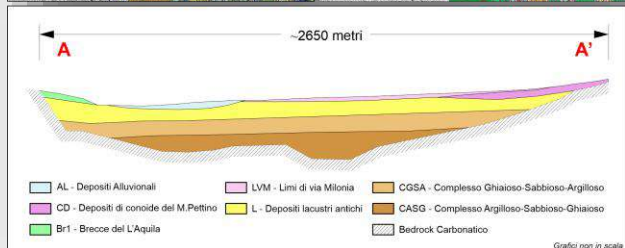
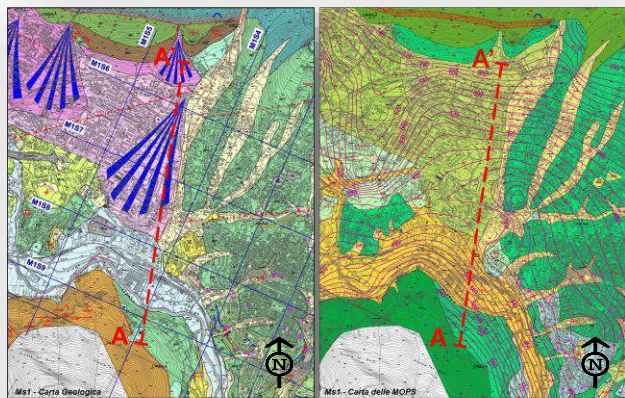
Focalizzazioni



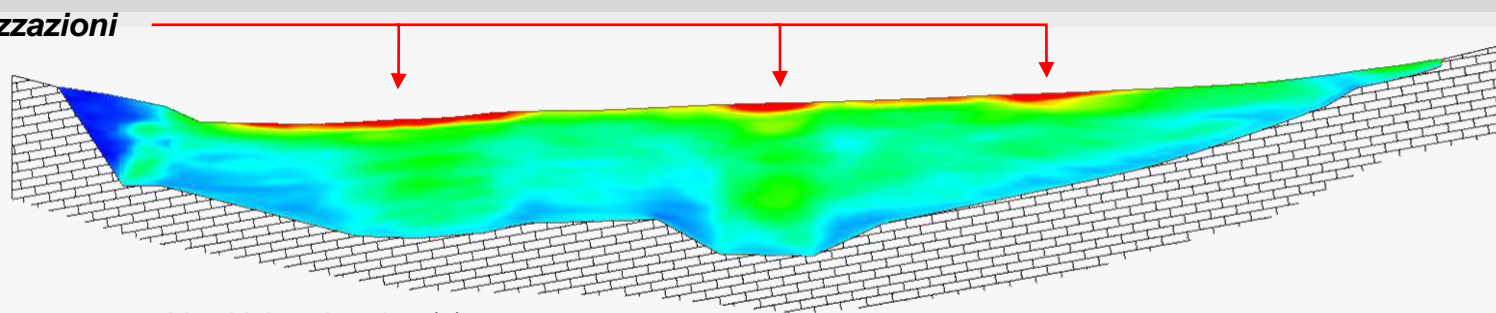
Analisi

Risposta Sismica Locale

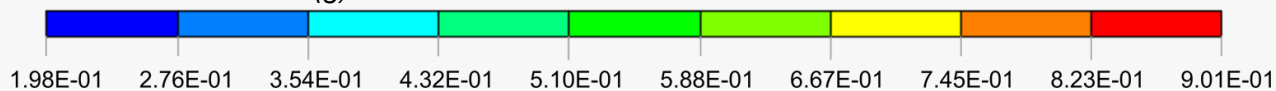
Analisi numerica ed interpretazione dei risultati.

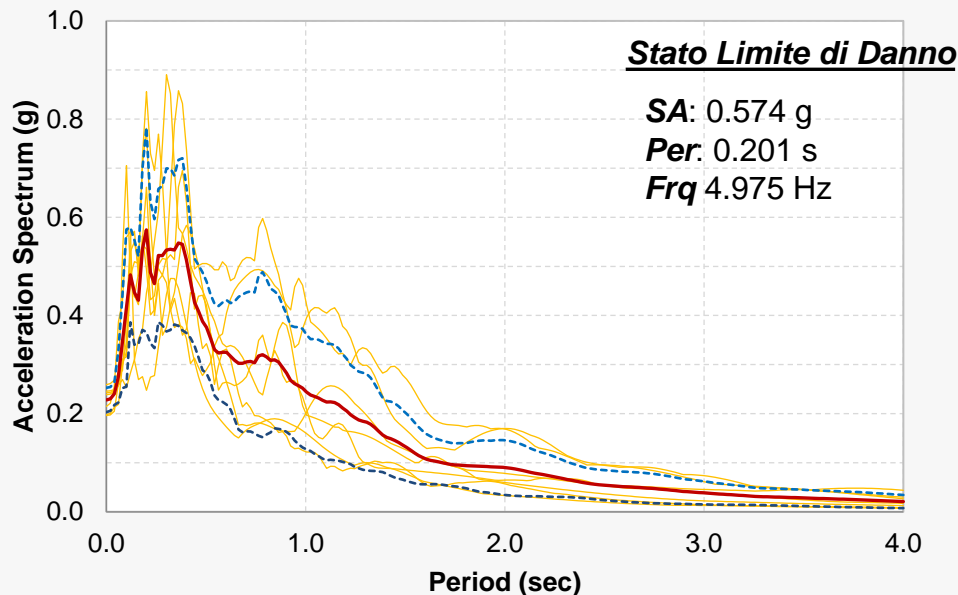
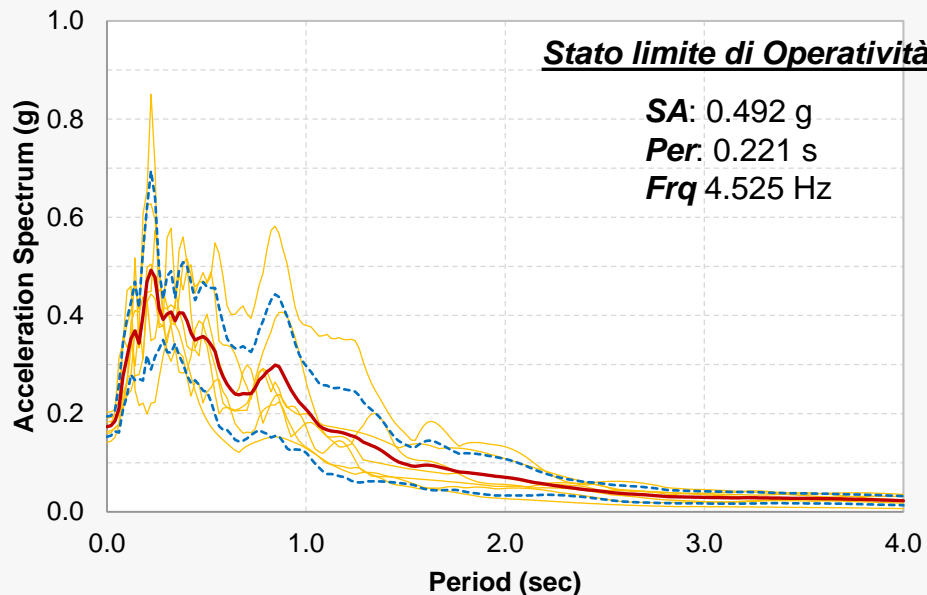


Focalizzazioni

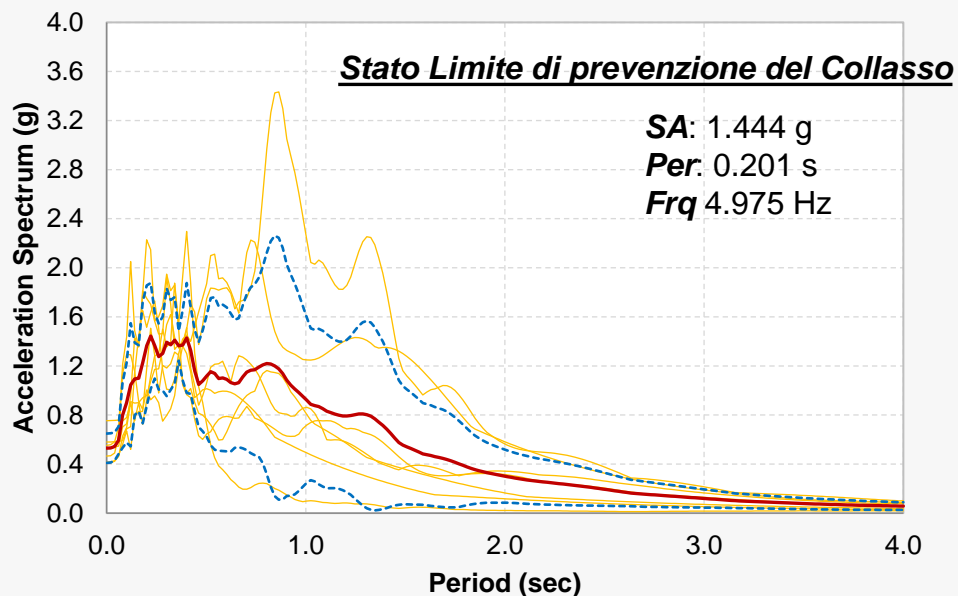
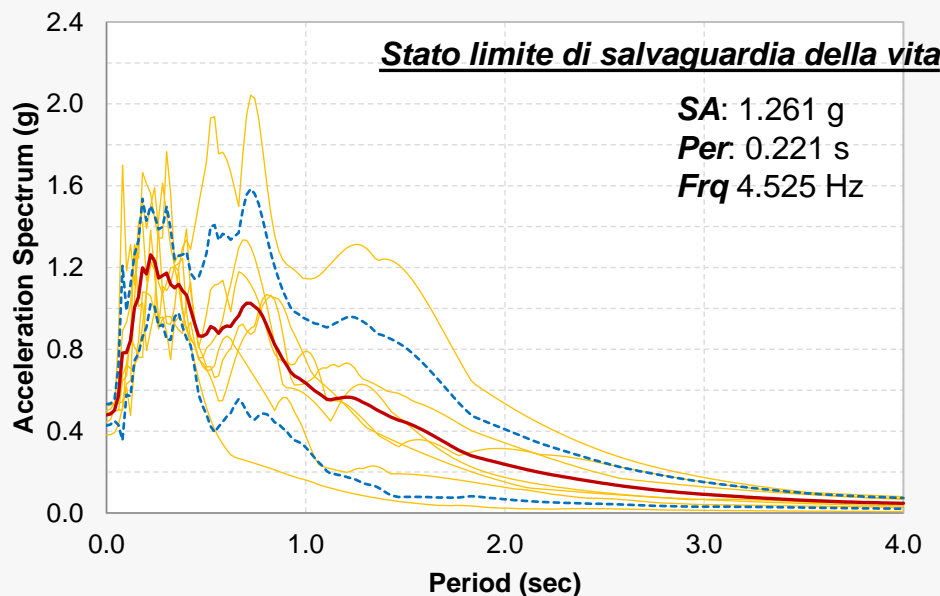


Max X-Acceleration (g)



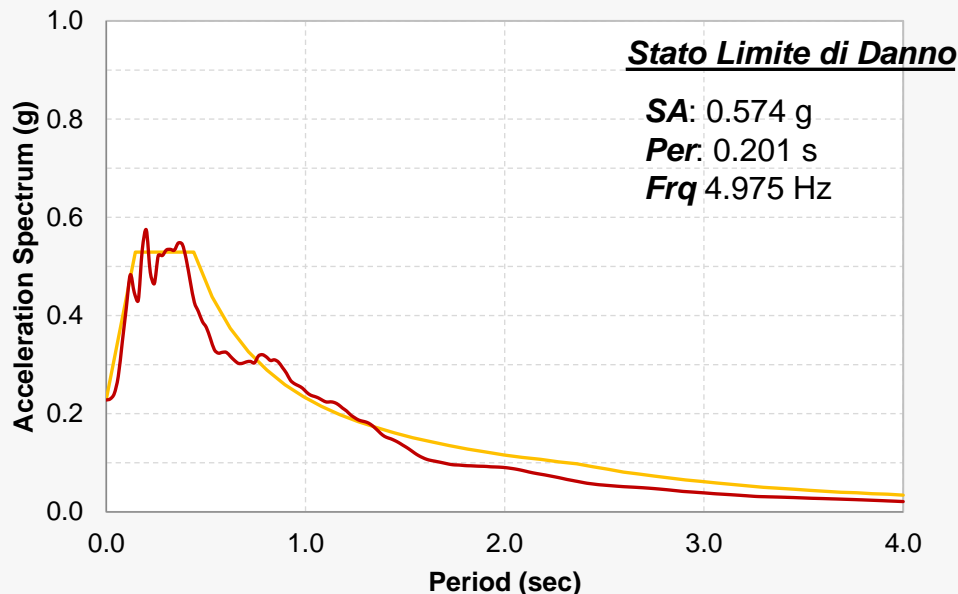
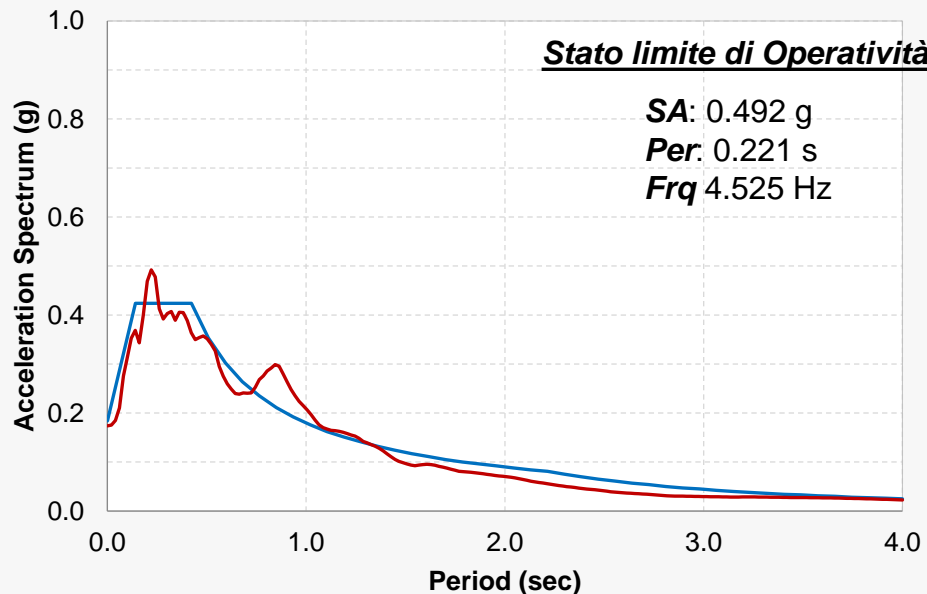


— Realizzazioni
— Spettro Medio
- - ± StDev

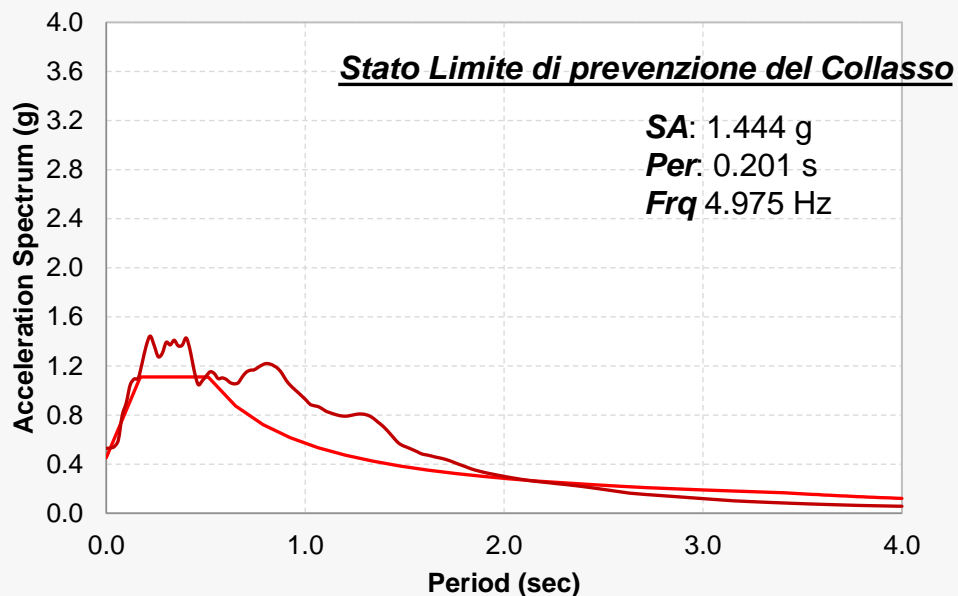
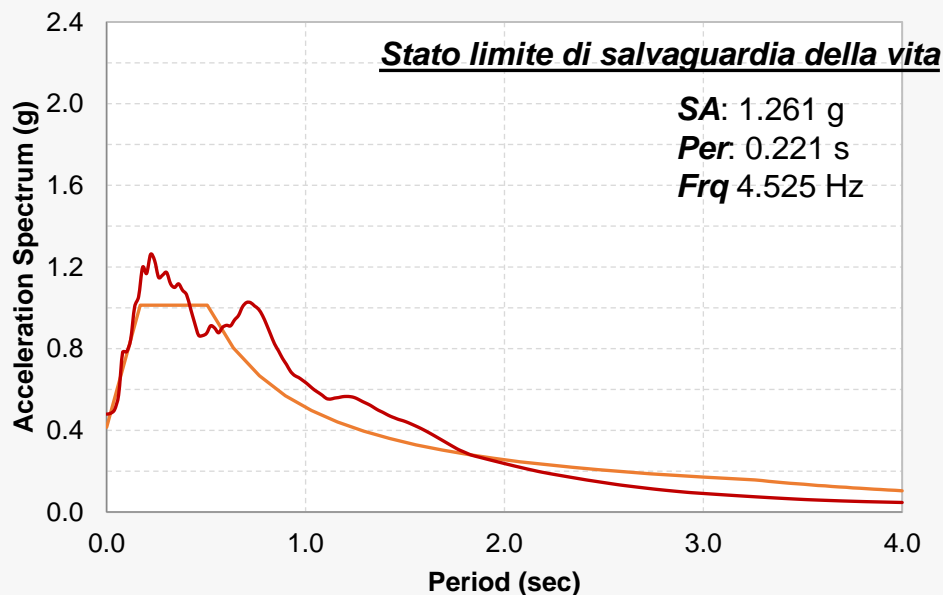


Vita Nominale (Vn)
100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati

Classe d'uso
IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti



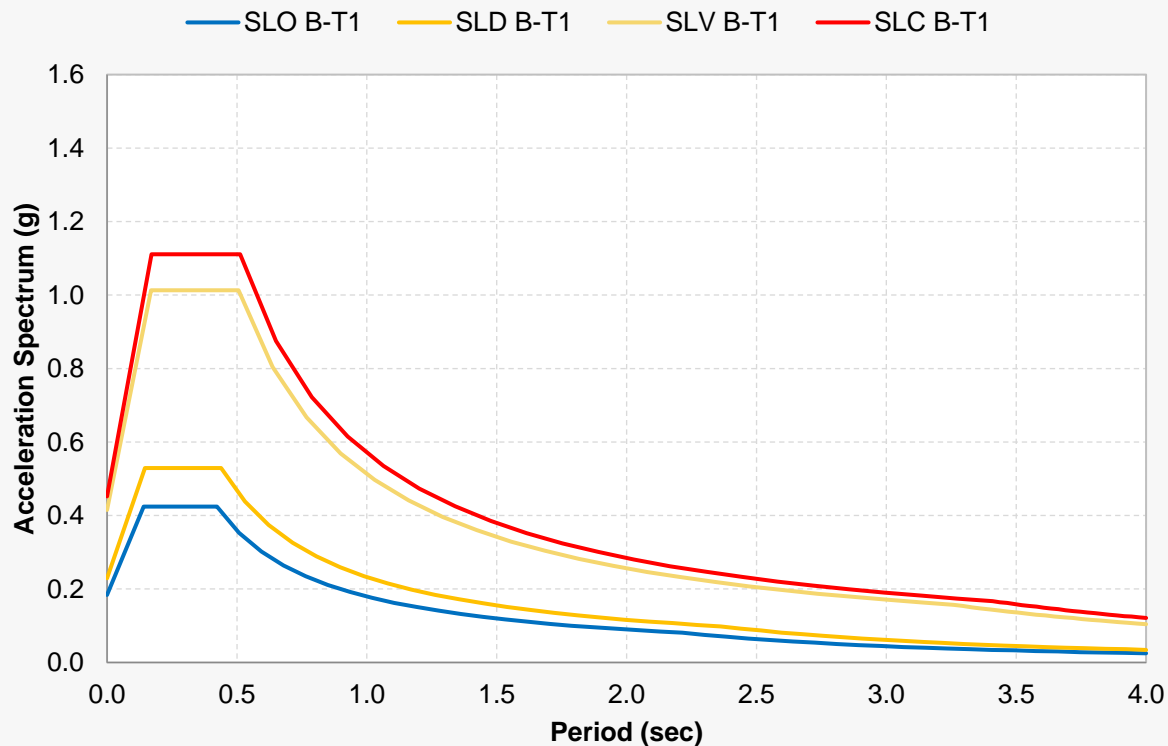
- Spettro Medio
- SLO B-T1
- SLD B-T1
- SLV B-T1
- SLc B-T1



Vita Nominale (Vn)
100 anni: Costruzioni con livelli di prestazioni elevati

Classe d'uso
IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

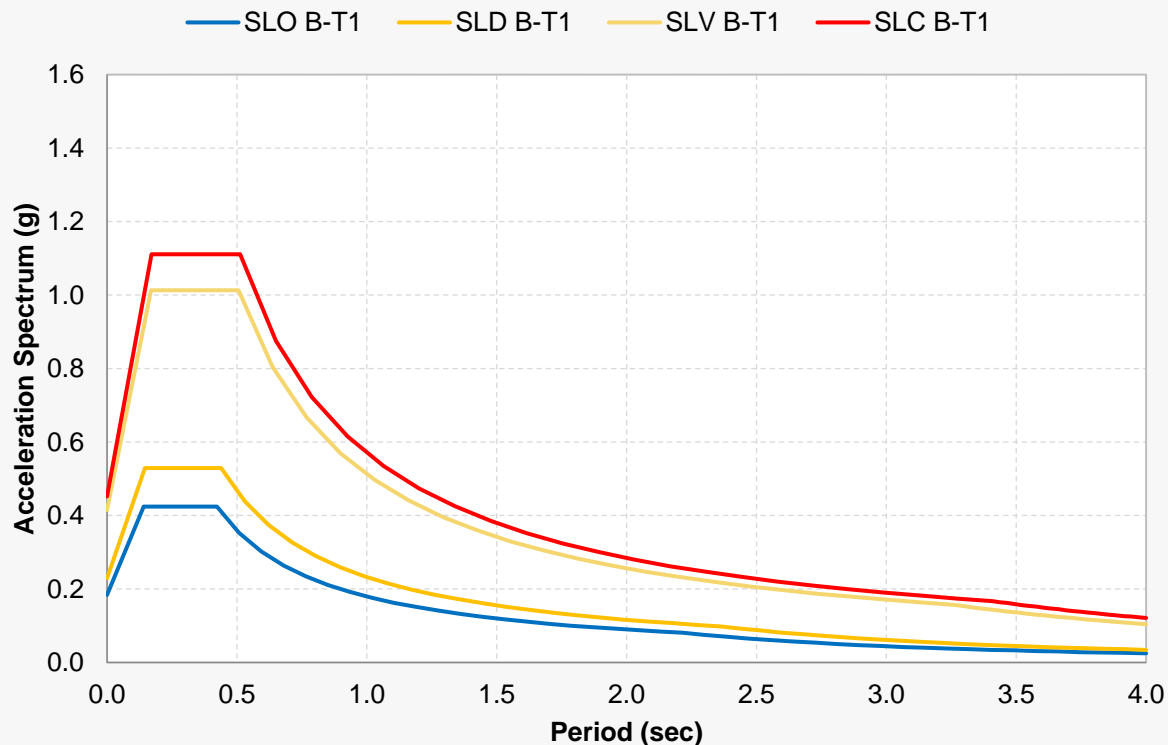


Risposta Sismica Locale 2D

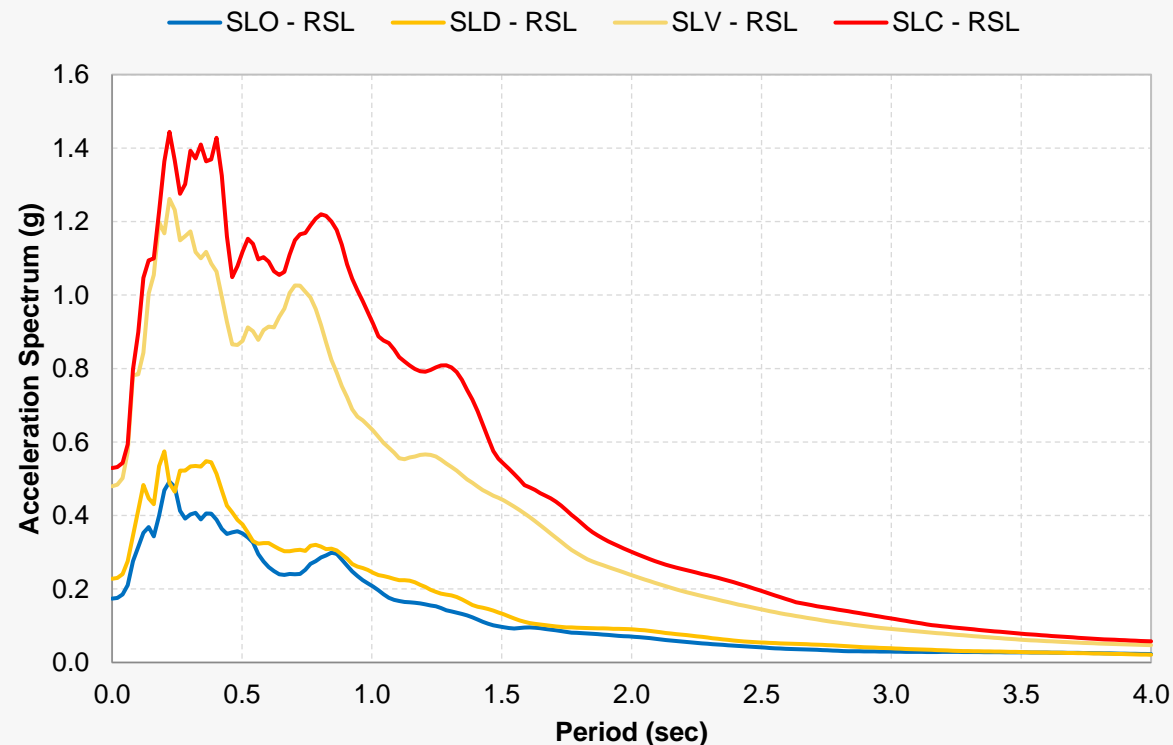


Stato Limite	S_E (g) NTC	S_E (g) RSL	Incremento
SLO - Operatività	0.424	0.492	16.0%
SLD - Danno	0.529	0.574	8.5%
SLV - Salvaguardia vita	1.013	1.262	24.6%
SLC - Prevenzione collasso	1.111	1.444	30.0%

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018



Risposta Sismica Locale 2D



sono calcolati i fattori di amplificazione FH_A come rapporto di intensità spettrale in termini di pseudo-accelerazione SA

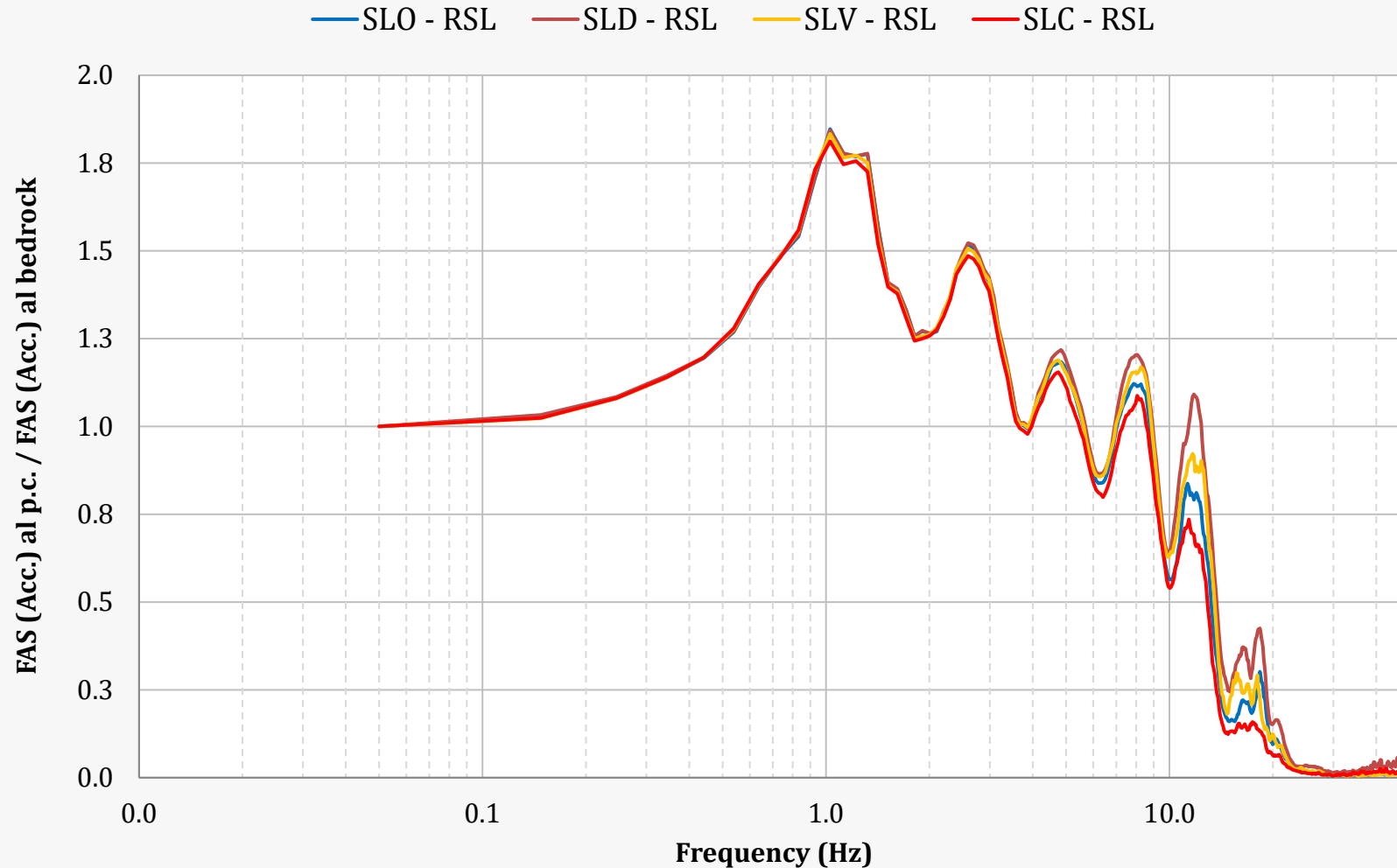
$$FH_A = \frac{ASI}{ASI_0}$$

Stato Limite	FH_A (0.10-0.50)	FH_A (0.40-0.80)	FH_A (0.70-1.10)
SLO - Operatività	1.237	1.467	1.775
SLD - Danno	1.264	1.441	1.639
SLV - Salvaguardia vita	1.256	1.466	1.660
SLC - Prevenzione collasso	1.260	1.504	1.689

ASI è l'Intensità di Amplificazione Spettrale (Von Thun et al., 1988)

$$ASI = \int_{T_1}^{T_2} SA(T, 5\%) dt$$

Risposta Sismica Locale 2D



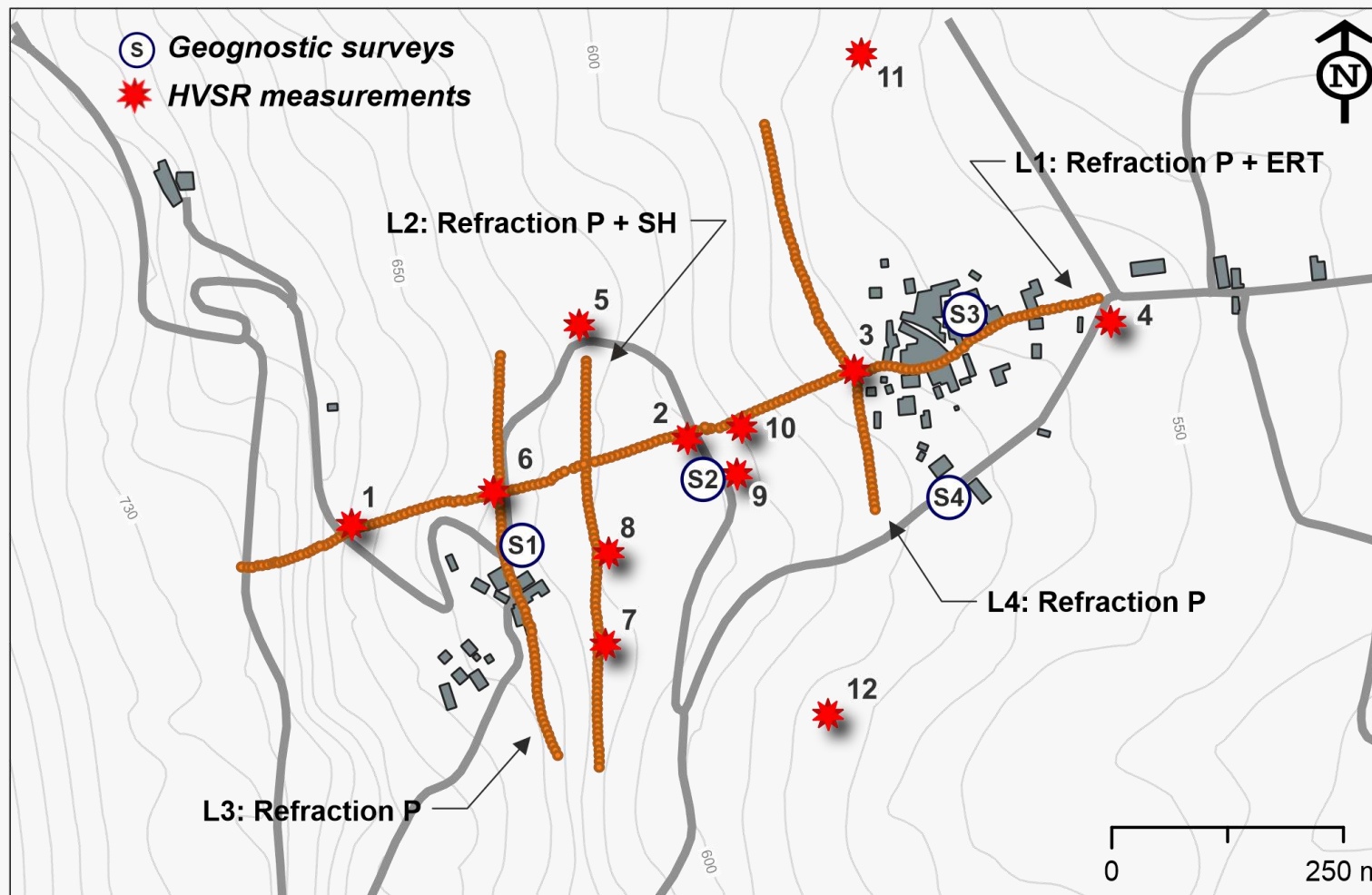
FAS: Fourier Amplitude Spectrum

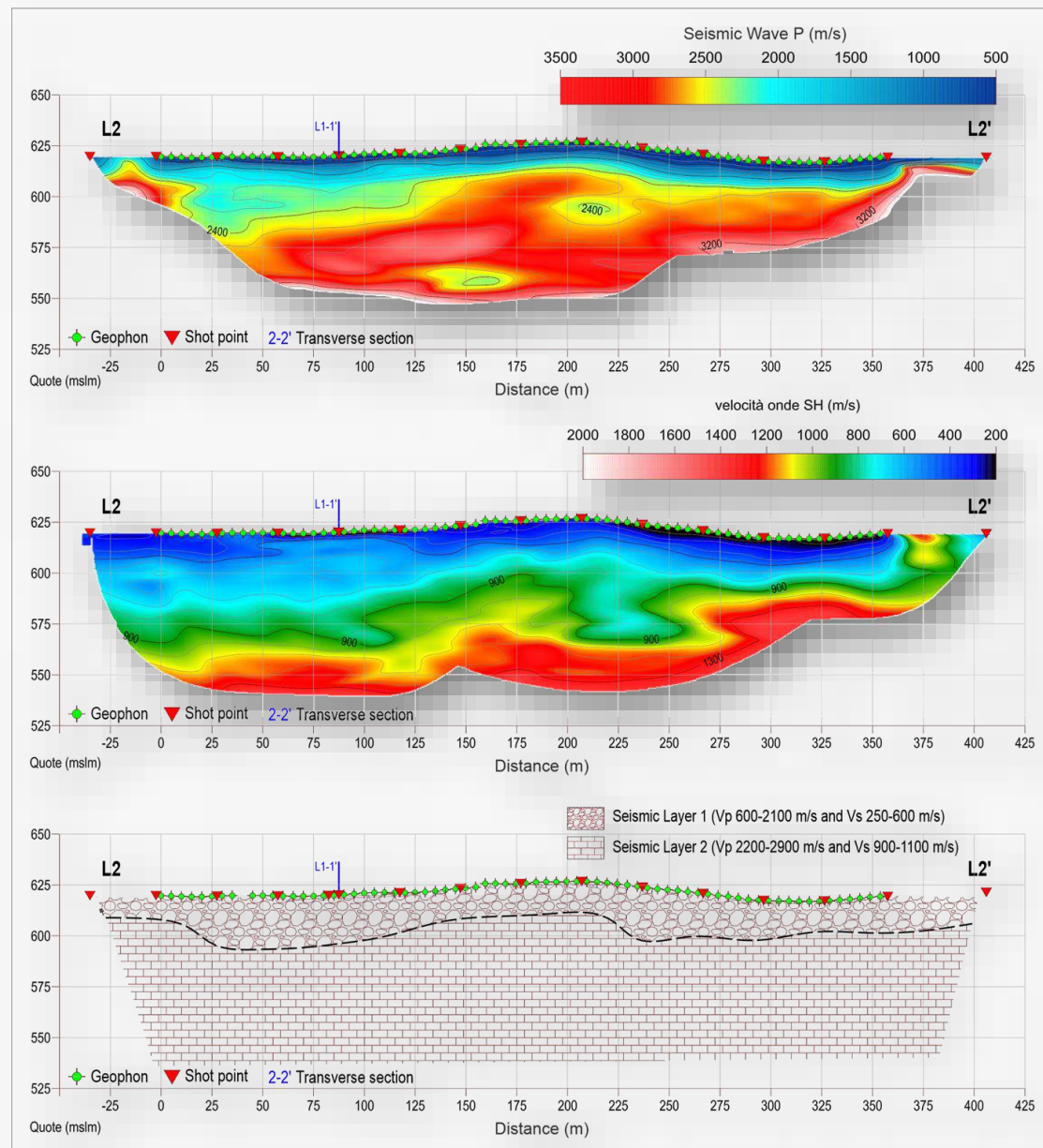
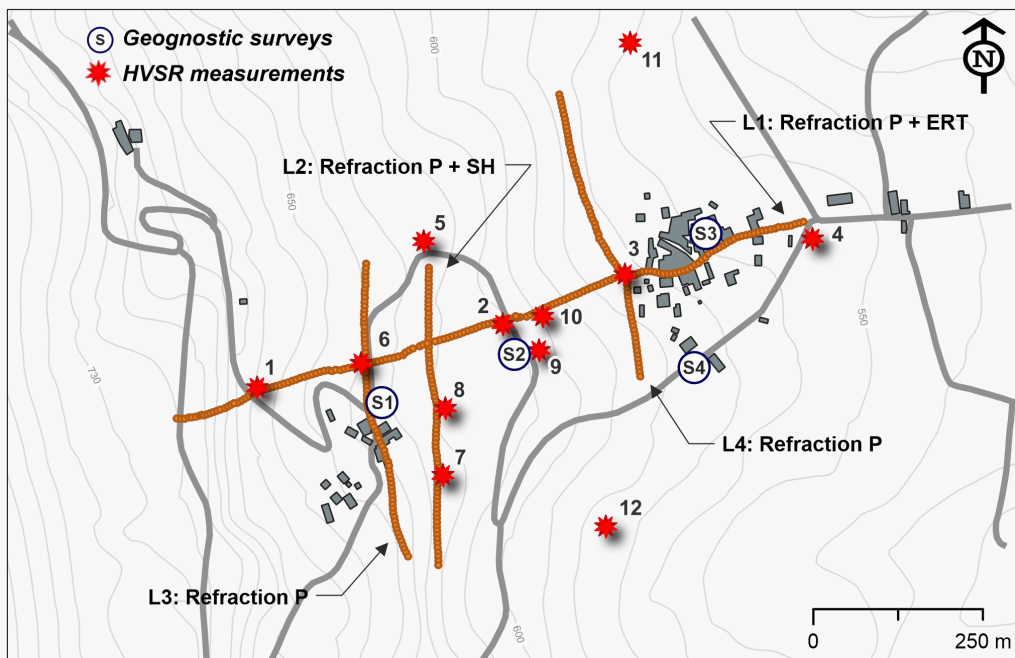
1. Il segnale sismico subisce variazioni in frequenza e ampiezza nel passaggio dal bedrock alla superficie.
2. Le curve indicano quali componenti del moto sismico sono maggiormente sollecitate per effetto dell'attraversamento dei depositi di sedime.
3. La funzione di trasferimento è caratteristica del deposito ed è indipendente dall'input sismico prescelto.

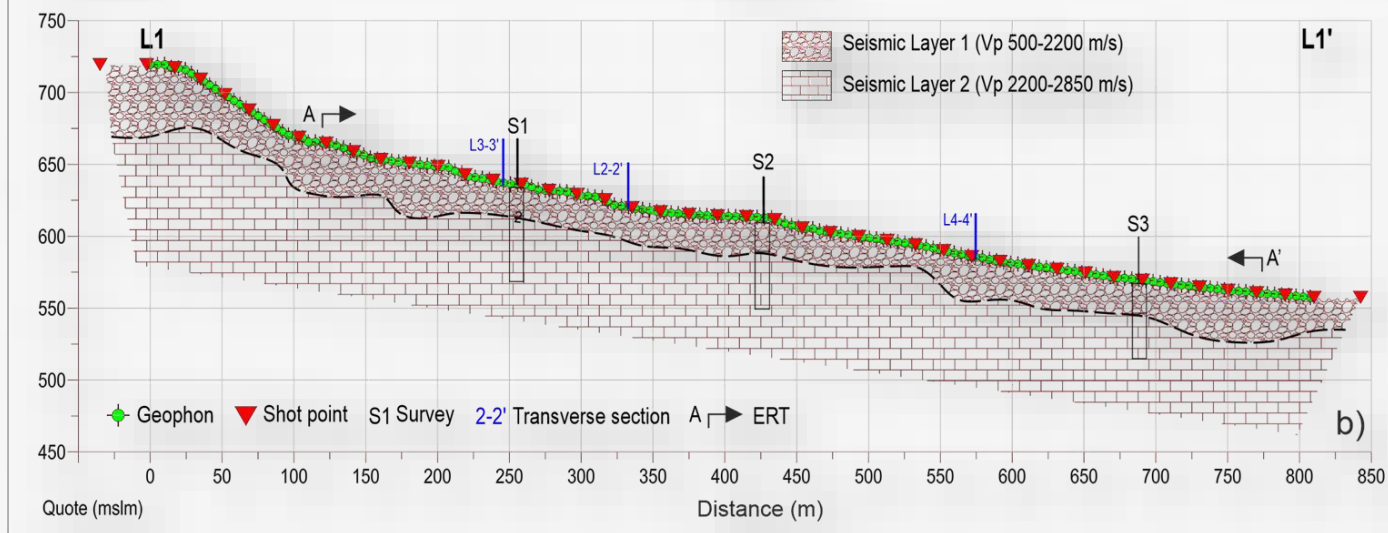
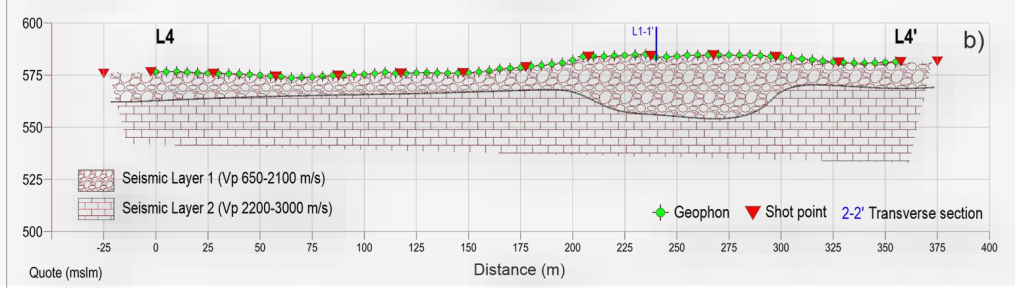
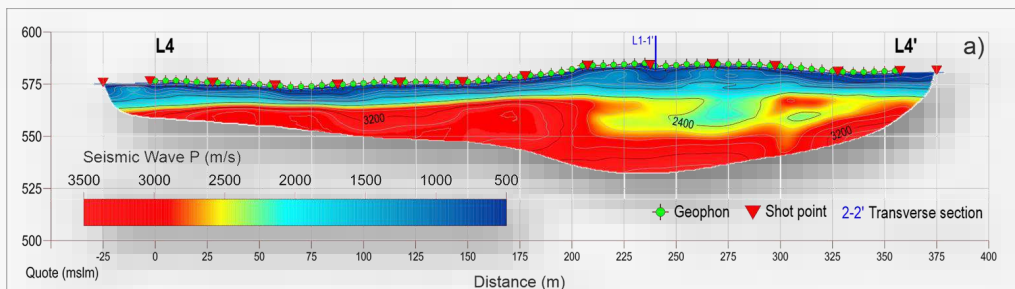
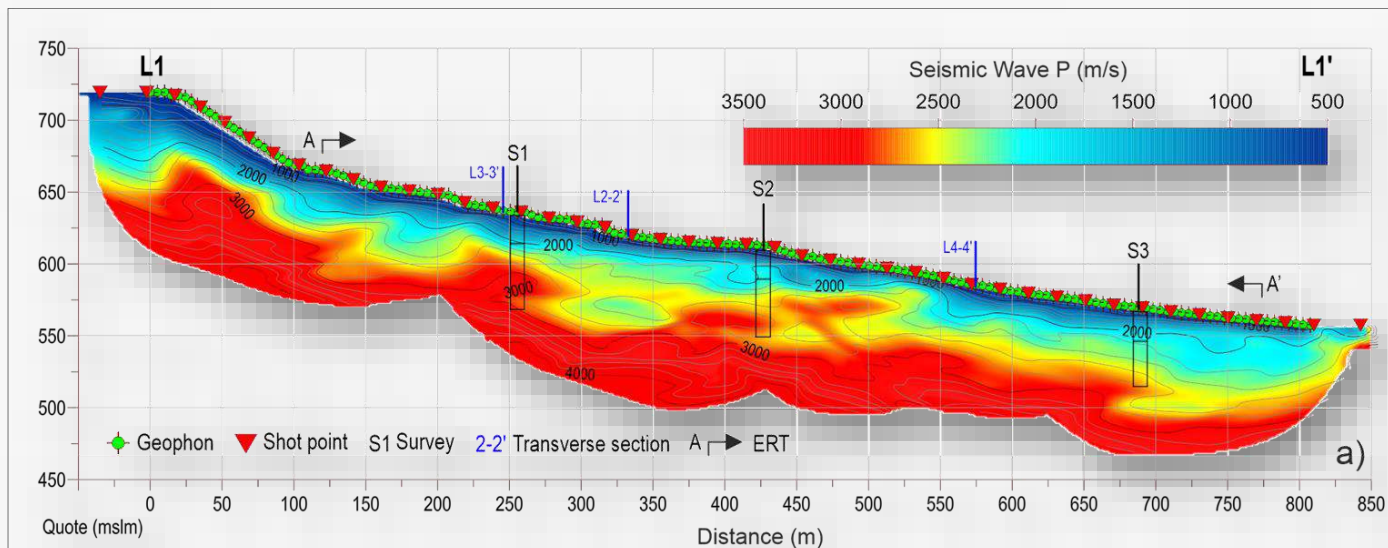
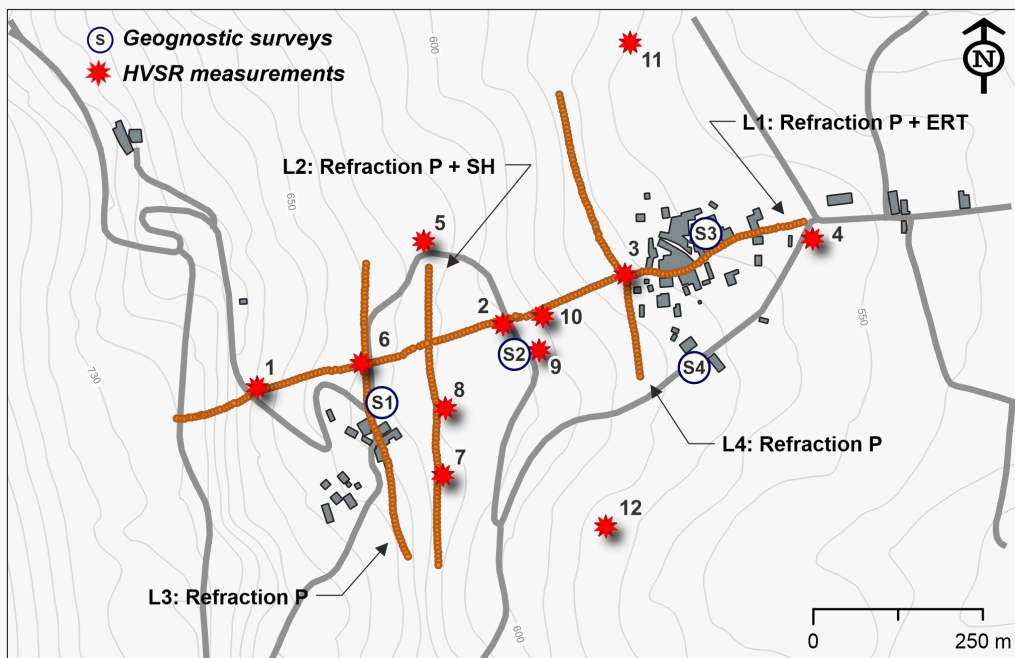
ANALISI NUMERICA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

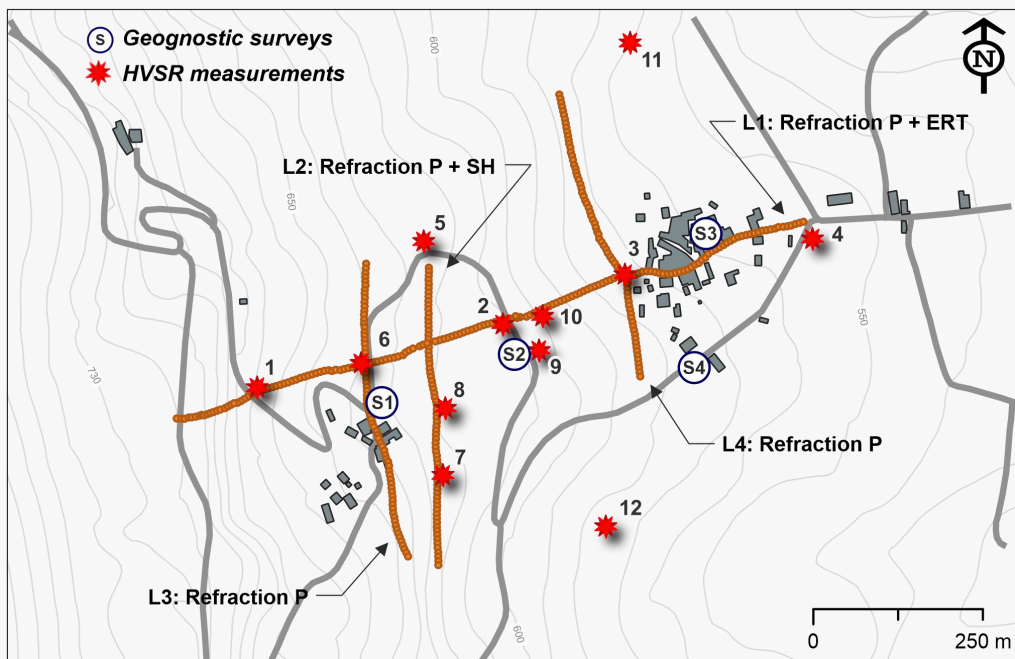


Sondaggio S1

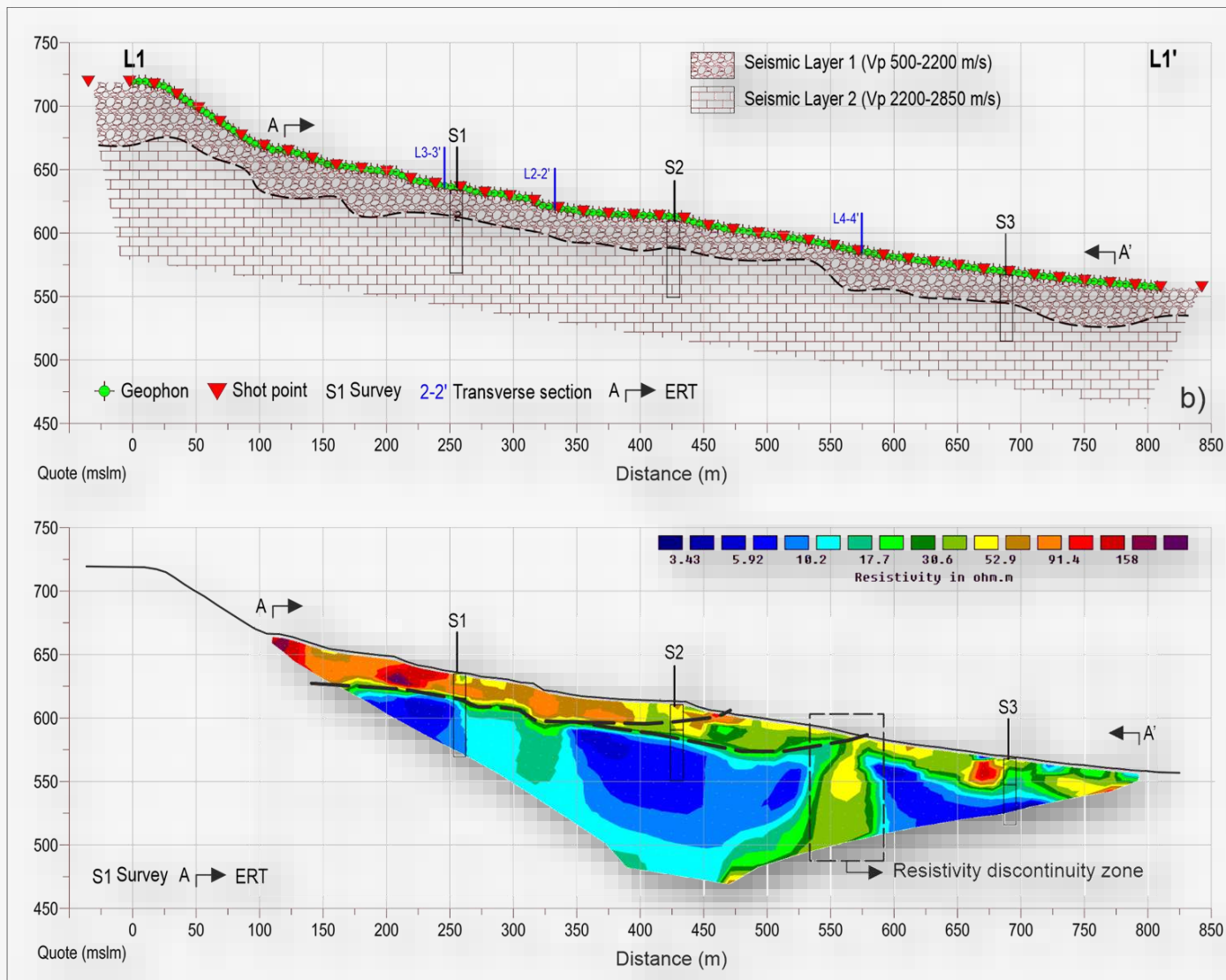




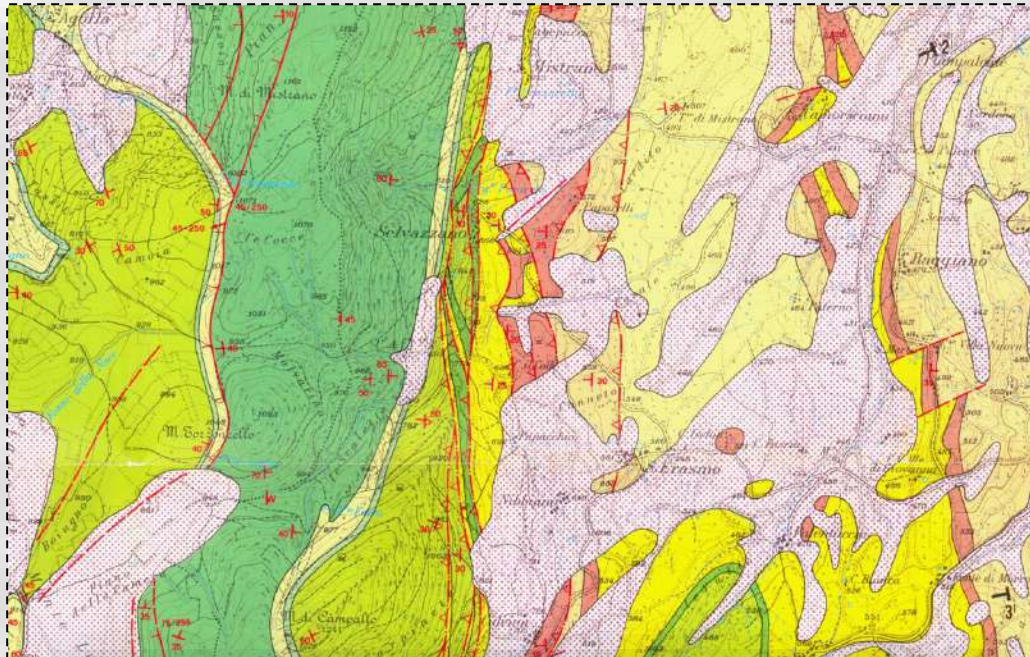




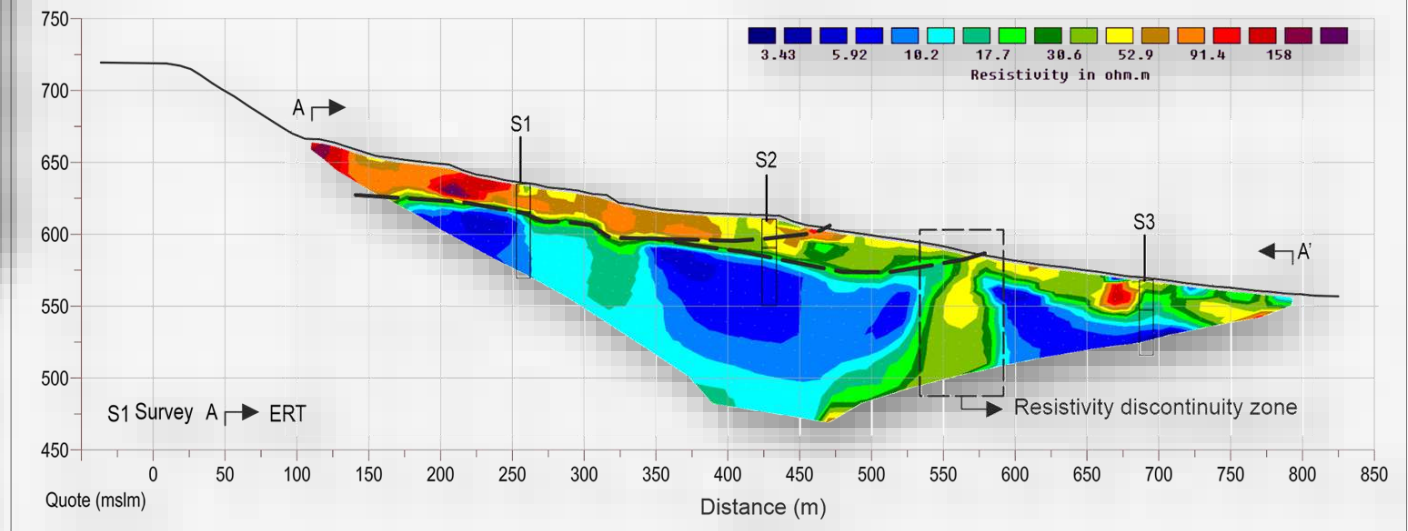
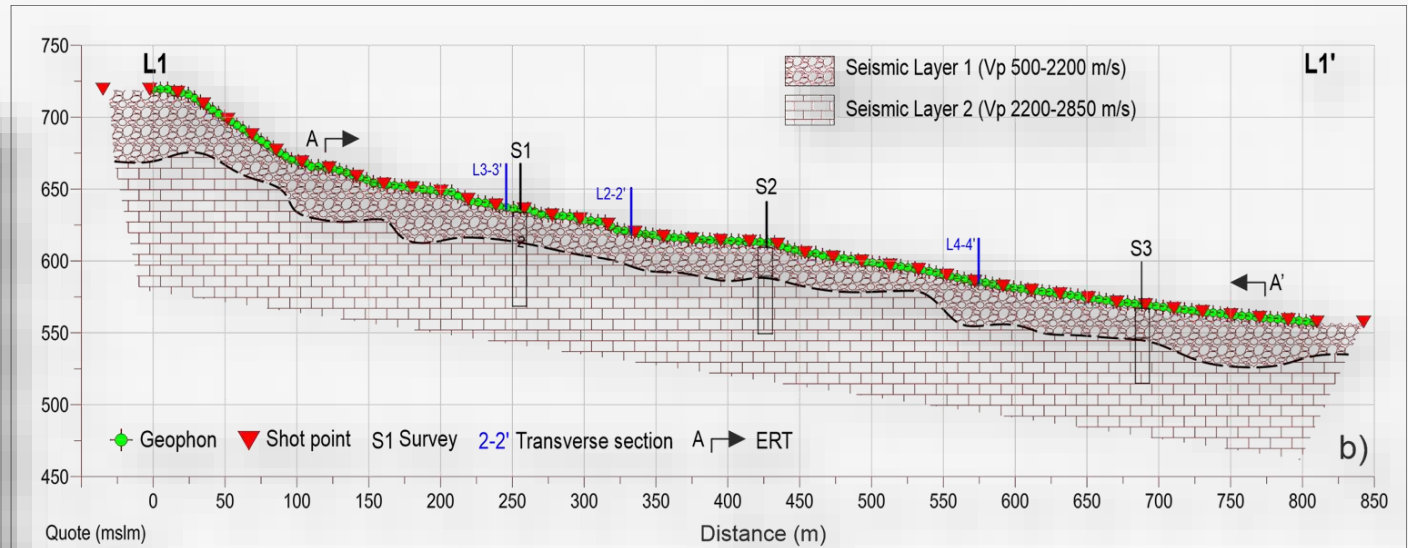
Parametri :Line 1
 Lunghezza stendimento (m) :720
 Tipo di Array: :Wenner-Schlumberger
 Distanza Interelettrodica (m) :10
 Numero di elettrodi :72



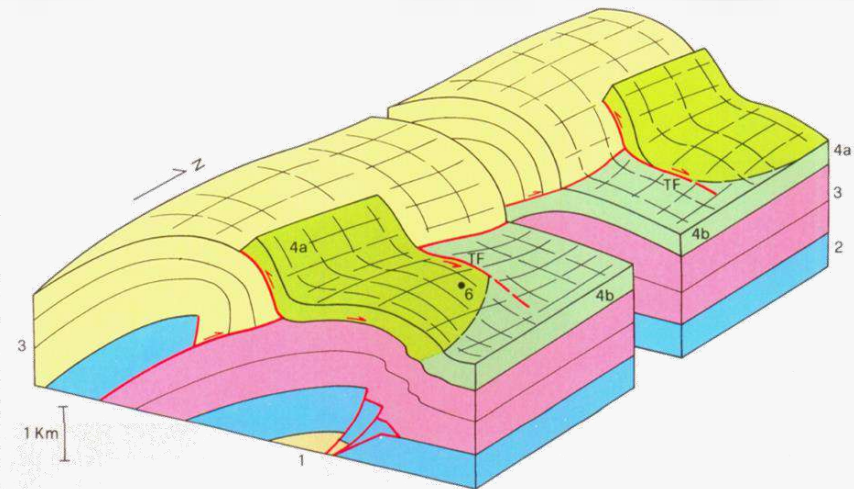
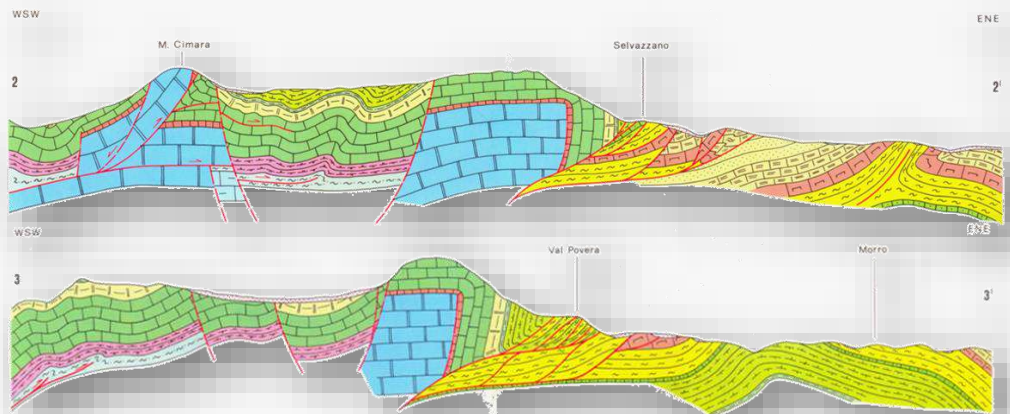
Il Sovrascorrimento di M. Cavallo – M. Primo tra il F. Chieti e il F. Potenza
 F. Calamita, P.P Pierantoni & M. Zamputi



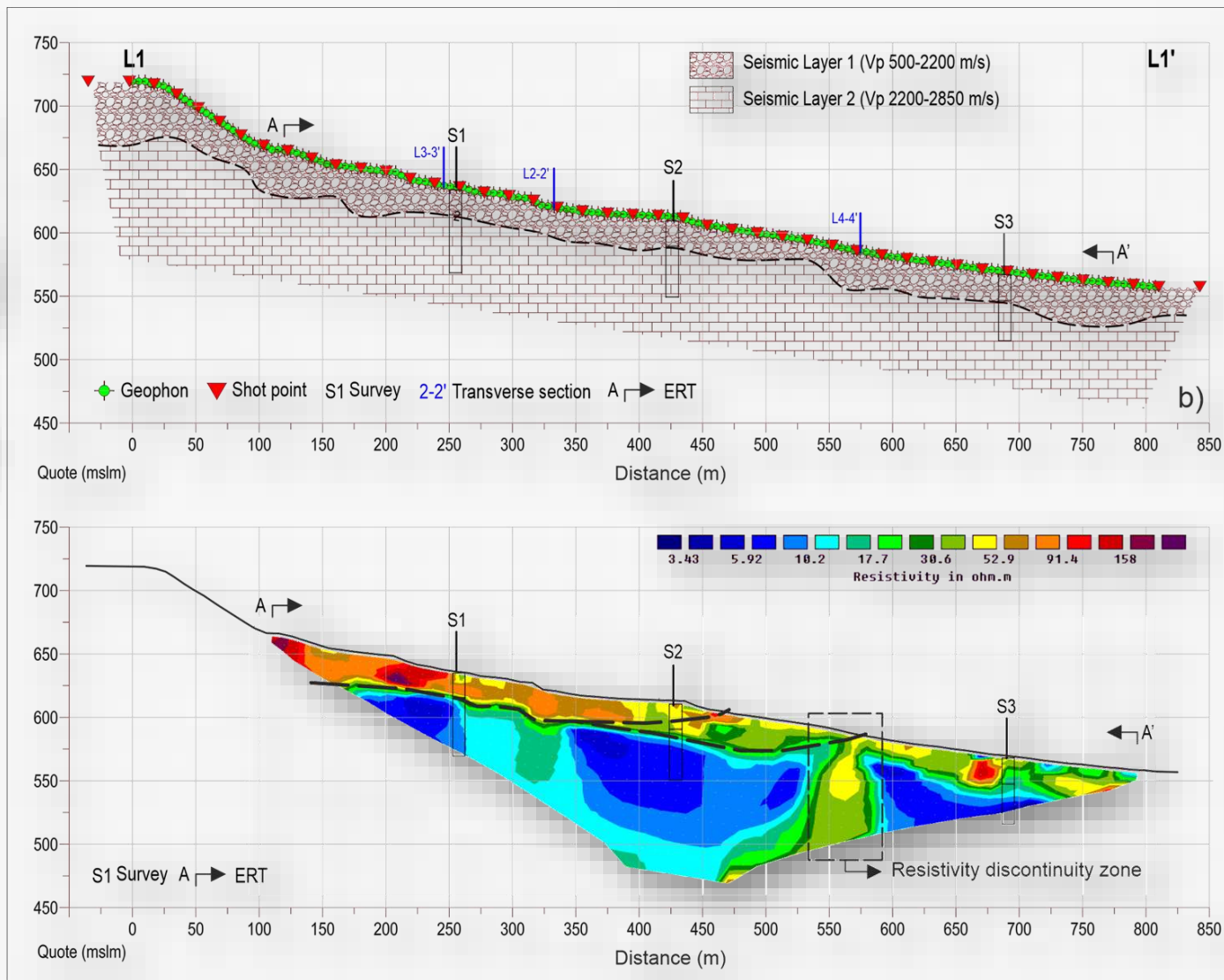
DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI	GRUPPO GIURASSICO-INFRACRETACICO	STRUTTI
GRUPPO MIOCENICO	MASSICIA: Calcari micellati bitonati o onici con sabbie scorie in base e noduli. Spessore 100-200 m. Aptino inf. - Tortonio sup.	MOVIMENTO ORIZZONTALI
GRUPPO CRETACICO-PALEOGENICO	SUCCESSIONE COMPLETA	MOVIMENTO SUGGERITO DA ZONE DI TAGLIO (TETTONICI) SUI VALLI SCAGLIA ROSATA, SCAGLIA VARIEGATA E SCAGLIA CIVINIA ED DA CONFORMAZIONI STRATIGRAFICHE
SCAGLIA CIVINIA: Argille, marne, calcare, mattoni grigio-verdastri, laterite rosata. Spessore 150-250 m. Opigno - Eocene sup.	CALCARI DIAPIRICI (EMBRO-MARCHESIANI): Calcari vitrei, calcari micellati o vitrei in associazione variabile, a lunghi calcari drittili, faglia parte superiore, calcari bitonati con sabbie scorie in base, calcari micellati, faglia parte mediana, sabbie scorie in base, calcari micellati e bitonati o litigoli drittili. Spessore 60-150 m. Tortonio inf. - Calabrone	MOVIMENTO CIRCIO
SCAGLIA VARIEGATA: Marna e mattoni calcareo variegati, di colore rosato, con noduli bitonati. Spessore 20-40 m. Opigno sup. - Eocene medio p.p.	CALCARI E MARNE DEL SENTINO E/O FORMAZIONE DEL BOSCO:	RETROSCAMBIMENTO
SCAGLIA ROSATA: Calcari micellati, marna e mattoni calcareo di colore rosato e fanghi micellati, con interstratificazioni micellati e bitonati in base e noduli di sabbie scorie a luoghi calcareo terraneo. Spessore 250-300 m. Eocene medio - Tortonio sup.	CALCARI E MARNE DEL SENTINO: Alterazione litologica in associazione variabile di calcareo argenteo, calcari e calcari micellati grigi-rossi con sabbie scorie in base e noduli, marna e mattoni grigio-verdastri. Spessore variabile da poche metri a 50-80 m. Affine paleogeografico al versante meridionale di M. Giove. Tortonio inf. - Pleistocene p.p.	ZONA DI TAGLIO ASSOCIABILE AL MOVIMENTO CIRCIO
SCAGLIA BIANCA: Calcari e calcari micellati bitonati con sabbie scorie in base, noduli, sabbie scorie (sabbie bitonate) di argilla micellata, laterite rosata, faglia parte superiore, calcari micellati, calcari vitrei, calcari micellati, di colore rosato e di mattoni calcareo e variabile con noduli. Spessore 40-100 m. In connessione con il movimento suggerito nel versante sud. Tortonio inf. - Pleistocene p.p.	FORMAZIONE DEL BOSCO: Nella parte superiore calcari e marna e Pleistocene calcari e calcari micellati di colore rosato e bitonati con sabbie scorie in base e noduli, nella parte inferiore fanghi micellati, alterazione di calcari, calcari micellati, di colore rosato e di mattoni calcareo e variabile con noduli. Spessore 40-100 m. In connessione con il movimento suggerito nel versante sud. Tortonio inf. - Pleistocene p.p.	FACIES BITONATA O TRANSITIVA CARATTERIZZATA 200-250 spessore (da piano di legge); 200-gondola; 1,20-1,25 spessore; 60-100 spessore (da piano di legge); 100-gondola; 1,20-1,25 spessore; 60-100 spessore (da piano di legge); 100-gondola; 1,20-1,25 spessore.
MARNE A FUSILLI: Calcari e calcari micellati con noduli e sabbie scorie ed interstratificazioni micellati e bitonati, nella parte superiore; marna calcareo terraneo con sabbie scorie in base; calcari micellati, calcari bitonati. Spessore 80-100 m. Opigno sup. - Aptino p.p.	SUCCESSIONE COMPOSTA:	FACIES MASCELLESA DA CONFORMAZIONI STRATIGRAFICHE E DA EVIDENZE CLASTICHE
	CALCARI DIAPIRICI (EMBRO-MARCHESIANI): Bitonati, parzialmente micellati calcari grigio-verdastri con sabbie scorie in base e noduli, con noduli e marna da Calcareo diurno della Successione completa. Spessore 20-40 m. Tortonio inf. - Calabrone	FACIES GRASSAIA
	CALCARI MIOCLARI: Calcari micellati, calcari micellati micellati rosati in base, bitonati e micellati. Spessore variabile da poche metri a 20 m. Tortonio inf. - Pleistocene	STRATI 20-pendice.
	SUCCESSIONE CONDENSATA	STRATI MOVIMENTATI 40-pendice.
	CALCARI NUCLEARI: Calcari micellati micellati rosati in base e noduli (Bacchioli e Ammorini). Spessore variabile da poche metri a 40 m. Tortonio inf. - Pleistocene	STRATI SUBORIZZONTALI
		STRATI VERTICALI
		STRATI MENOBIATI



Il Sovrascorrimento di M. Cavallo – M. Primo tra il F. Chieti e il F. Potenza
F. Calamita, P.P Pierantoni & M. Zamputi



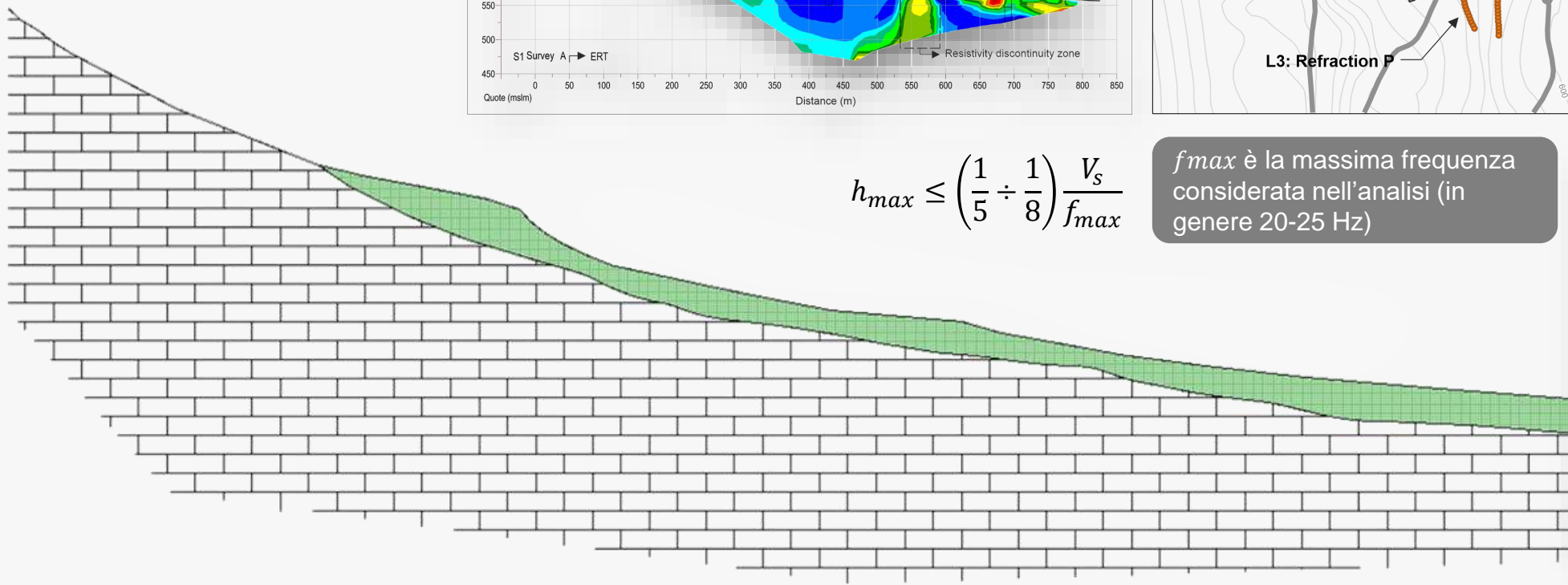
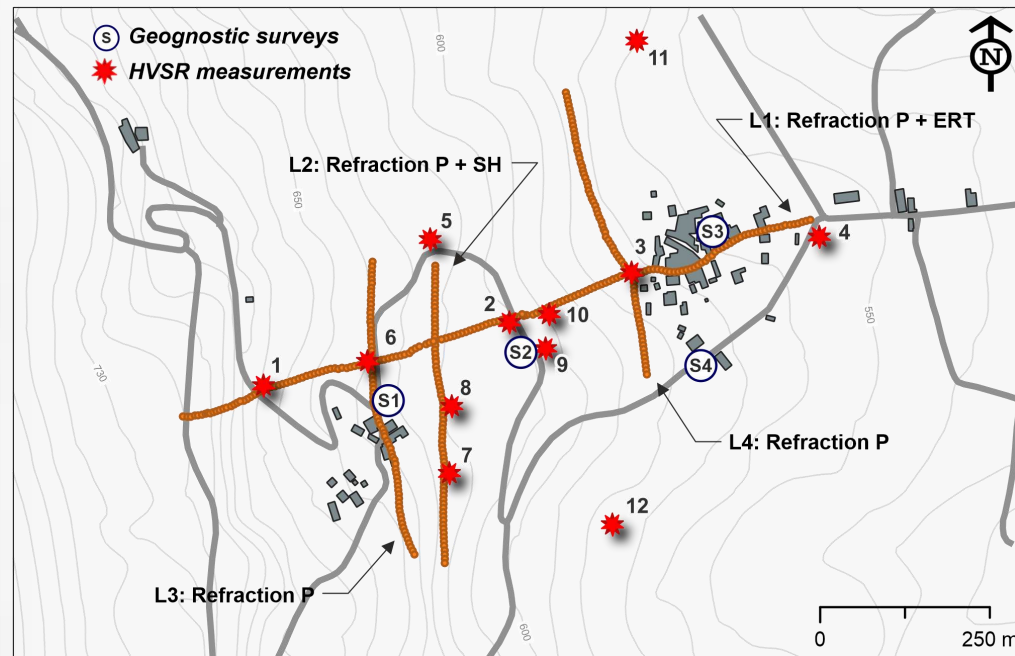
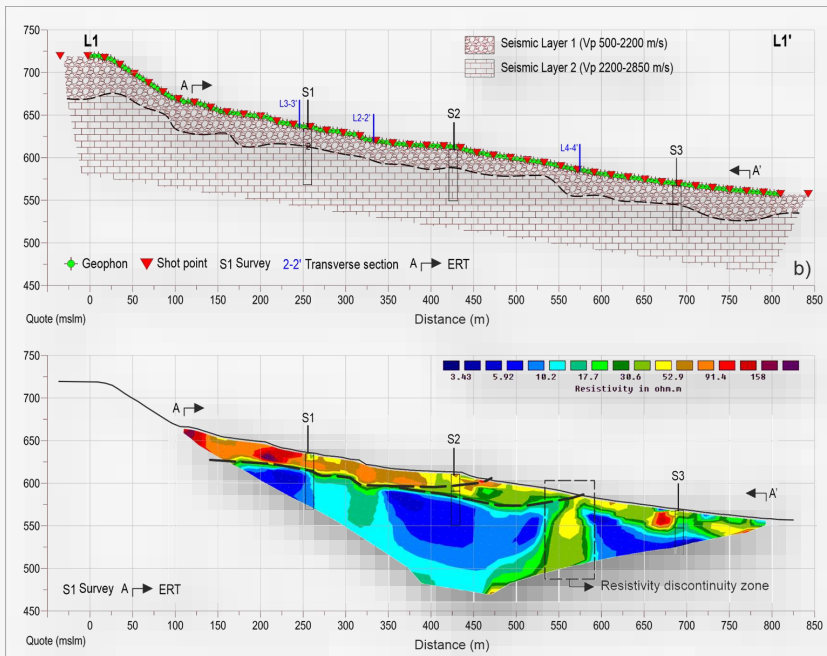
1) Evaporiti triassiche (Anidriti di Burano); 2) Calcare massiccio; 3) successione pelagica ed emipelagica (dalla Corniola allo Schlier nell'*hangingwall* del sovrascorrimento; dalla Corniola alla Scaglia cinerea p.p. nel *footwall*); 4) successione emipelagica e torbida silicoclastica (Scaglia cinerea p.p. - Arenarie di Camerino): 4a) delaminata ed erosa; 4b) non delaminata; 5) TF - faglie di strappo (*tear faults*); 6) Morro.



	Peso di Volume	
COPERTURE	19.5 kN/m³	
SUBSTRATO	22.2 kN/m³	

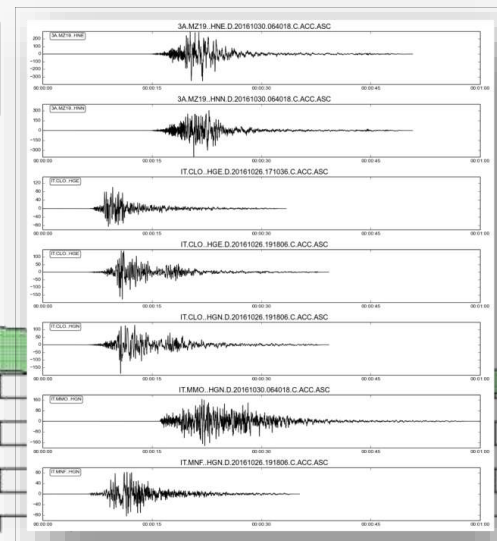
	m/s²	MIN	MAX	MEDIA
COPERTURE	VP	600	2100	1350
	VS	250	600	425
SUBSTRATO	VP	2200	2900	2550
	VS	900	1100	1000

	G/Gmax e Damping	
COPERTURE	ROLLINS ET AL. (1998)	
SUBSTRATO	ELASTIC	



$$h_{max} \leq \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{8} \right) \frac{V_s}{f_{max}}$$

f_{max} è la massima frequenza considerata nell'analisi (in genere 20-25 Hz)



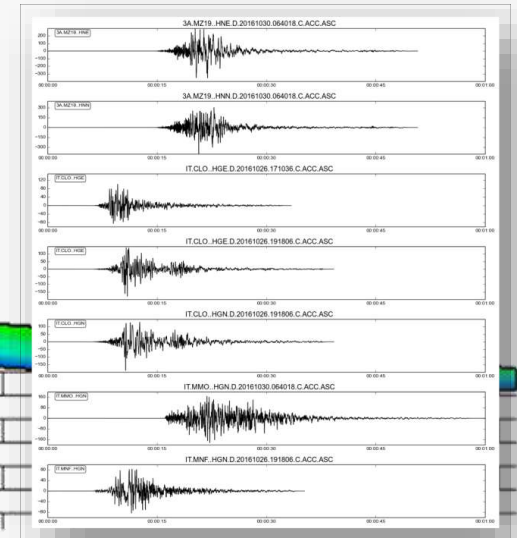
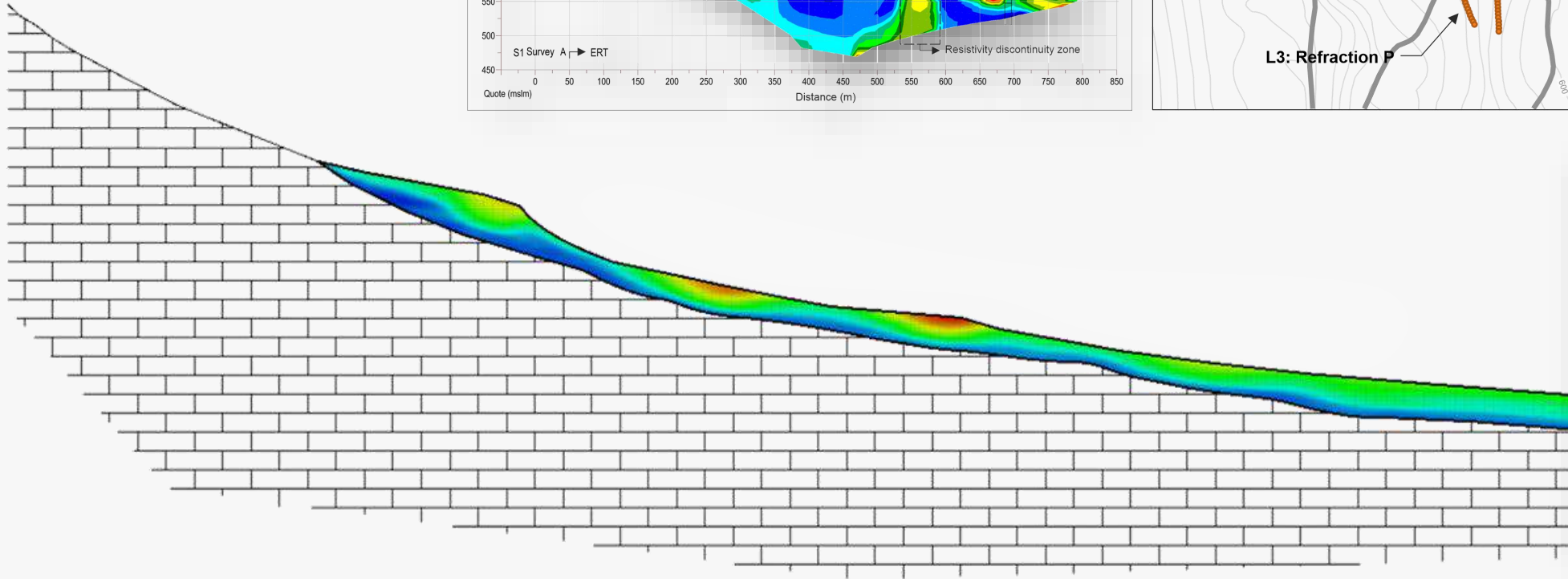
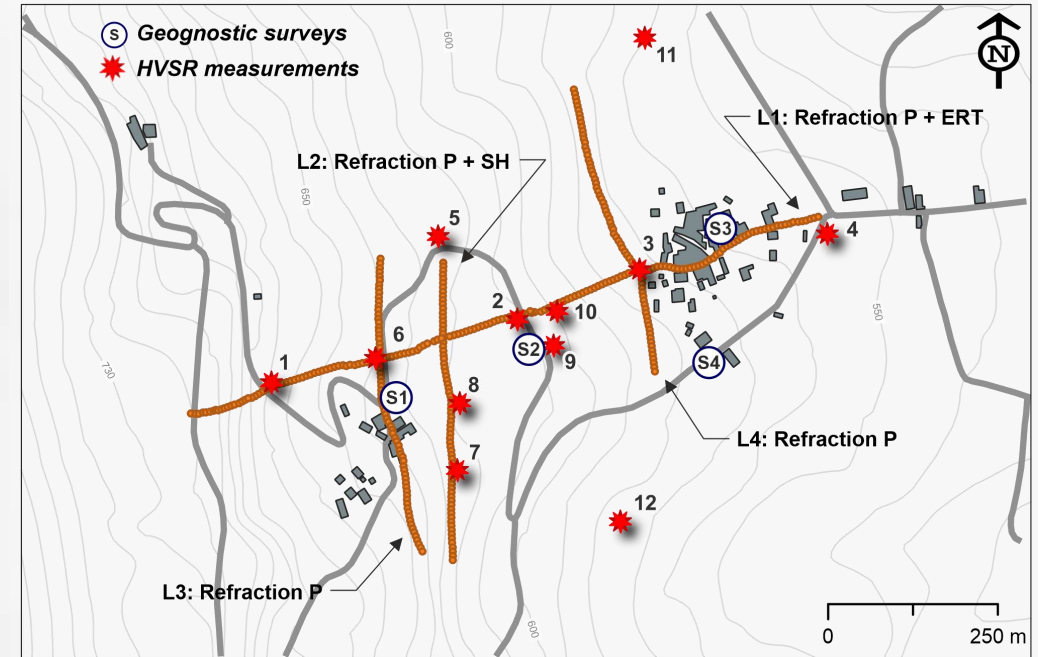
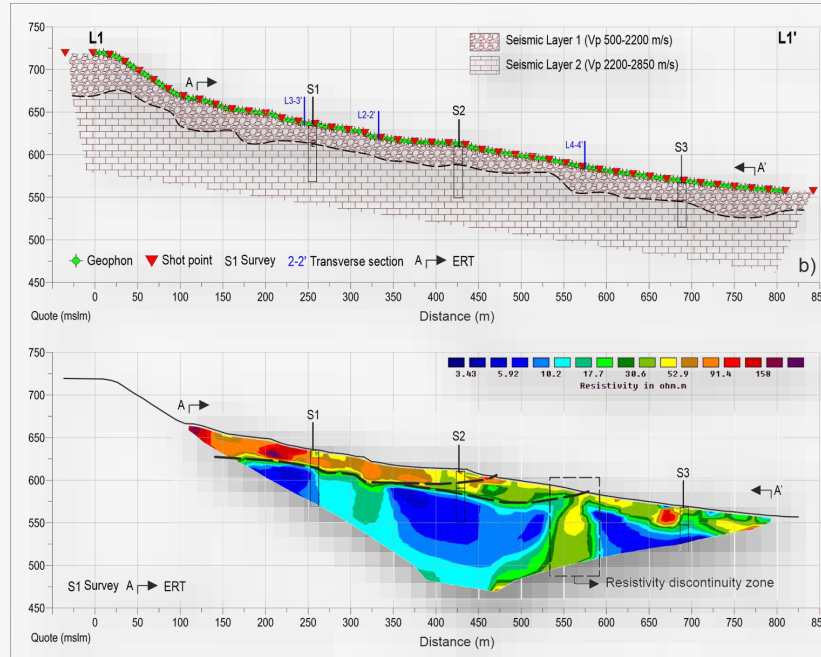
Visual Q4M Ver. 2.0 Peak Acceleration
 Max X-Acceleration (g)

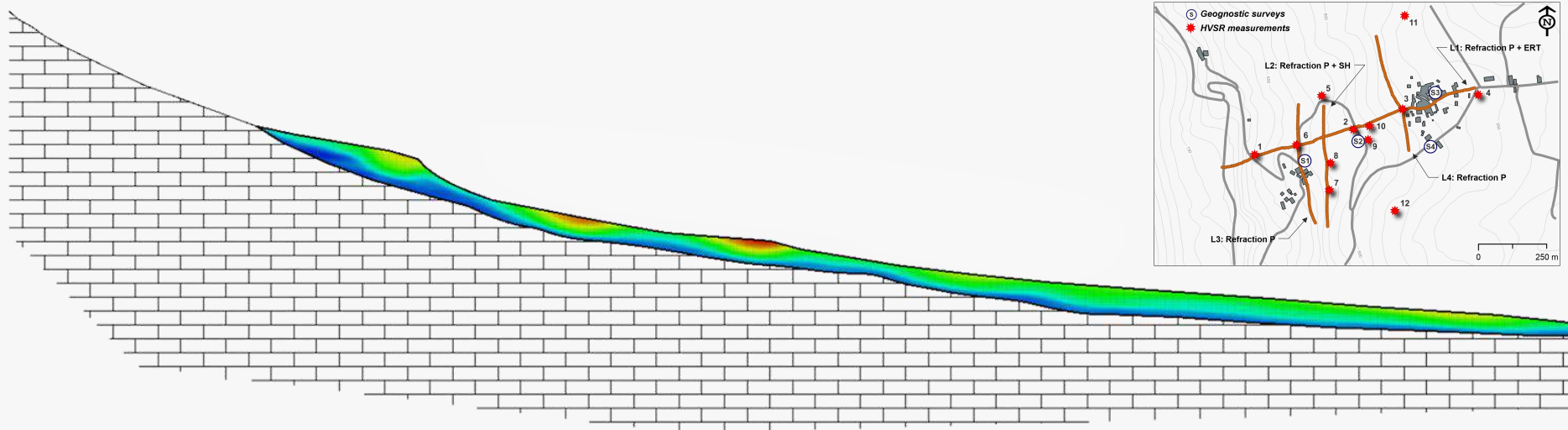
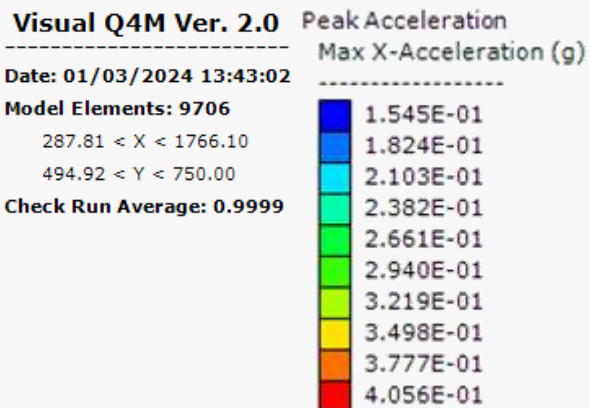
Date: 01/03/2024 13:43:02

Model Elements: 9706
 287.81 < X < 1766.10
 494.92 < Y < 750.00

Check Run Average: 0.9999

1.545E-01
1.824E-01
2.103E-01
2.382E-01
2.661E-01
2.940E-01
3.219E-01
3.498E-01
3.777E-01
4.056E-01





Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

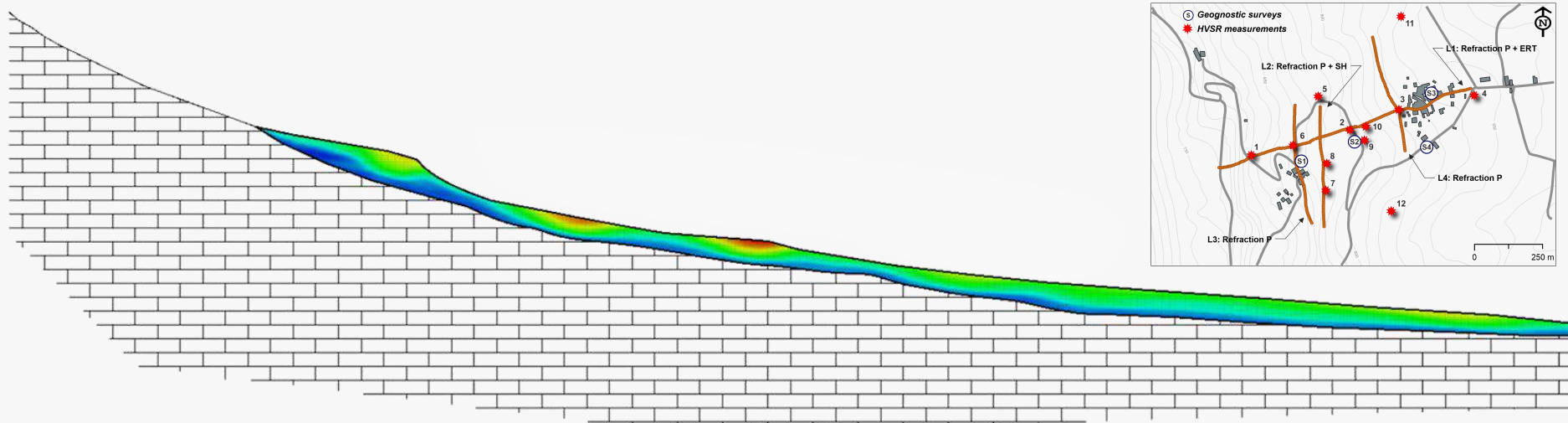
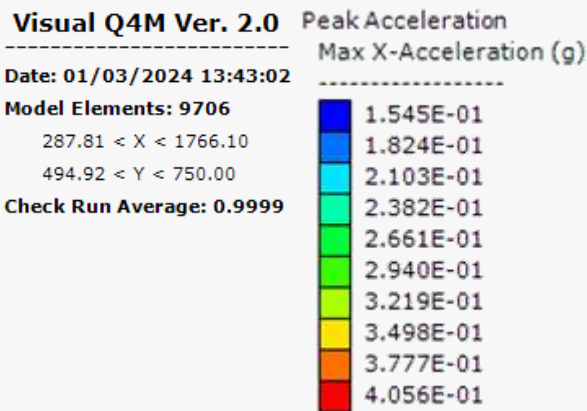
7.11.3.5.2 Metodi di analisi

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nelle analisi, si deve tenere conto dei comportamenti di tipo fragile, che si manifestano nei terreni a grana fina sovraconsolidati e nei terreni a grana grossa addensati con una riduzione della resistenza al taglio al crescere delle deformazioni. Inoltre, si deve tener conto dei possibili incrementi di pressione interstiziale indotti in condizioni sismiche nei terreni saturi. **Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.** Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. **Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale**

$$K_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$



Norme Tecniche per le Costruzioni 2018

$$K_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

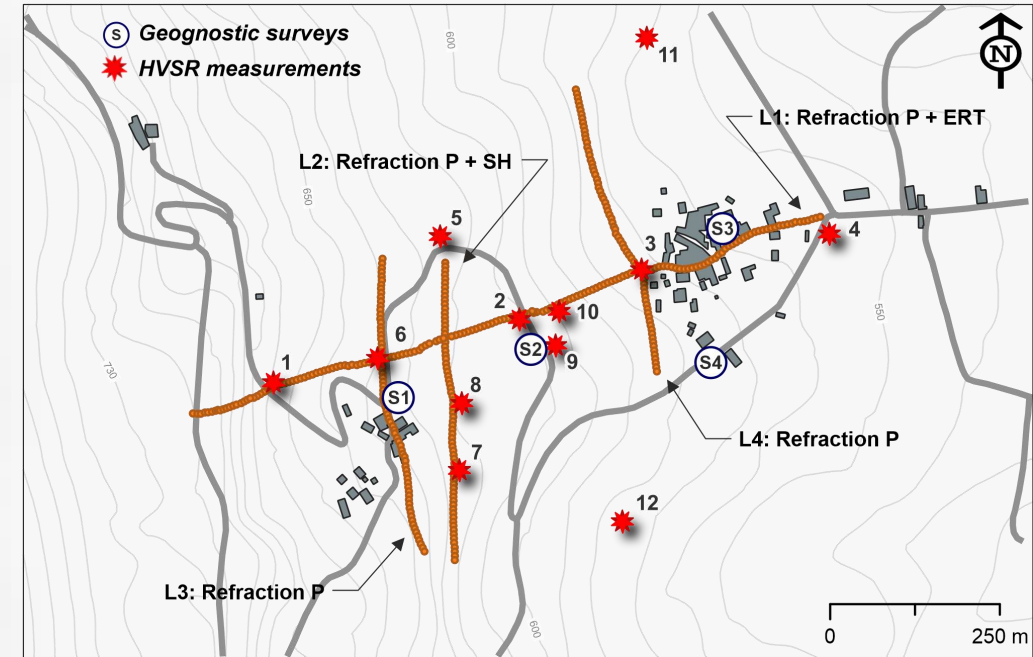
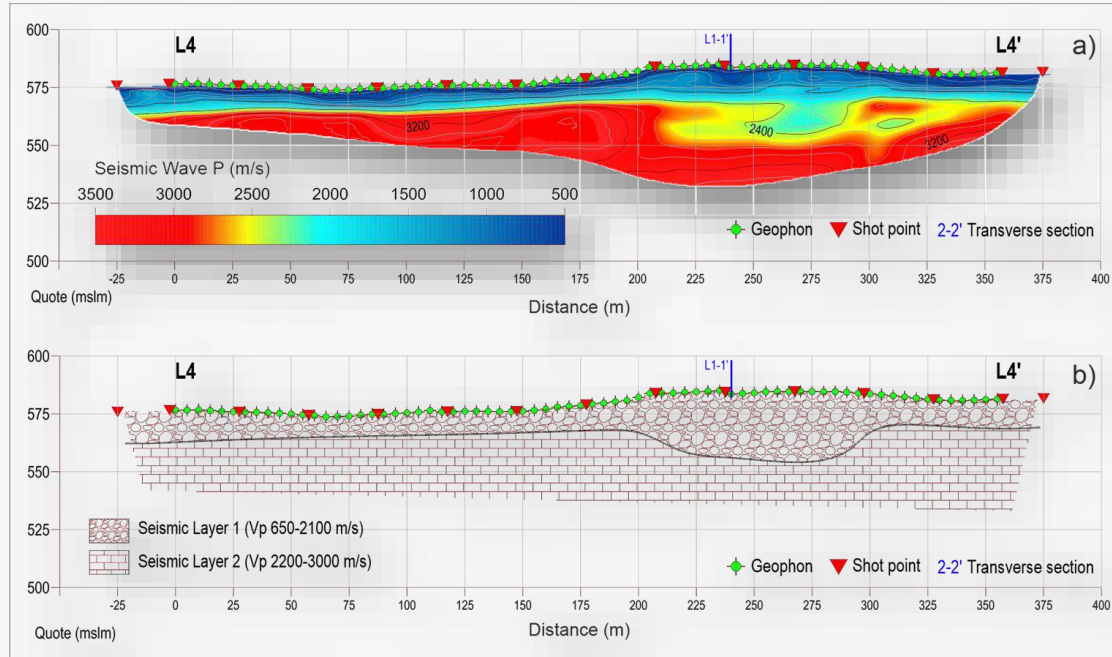
$$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$$

Risposta Sismica Locale

$$K_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0.112$$

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.020	0.025	0.083	0.101
kv	0.010	0.012	0.041	0.050
Amax [m/s ²]	0.966	1.216	2.907	3.527
Beta	0.200	0.200	0.280	0.280

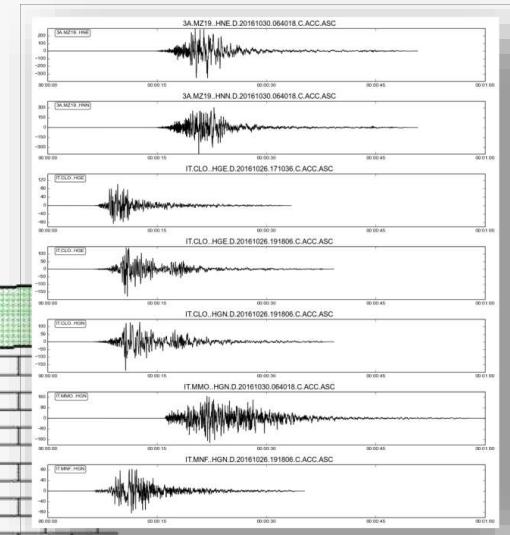
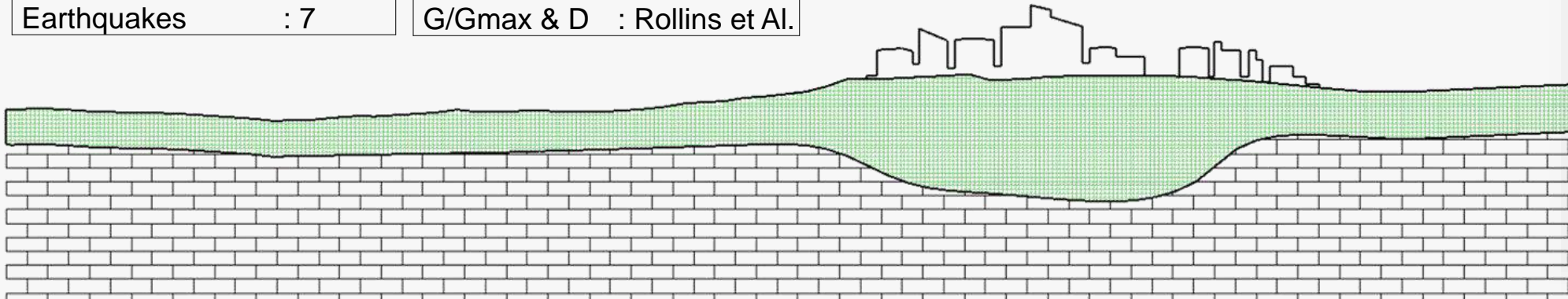
	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	
	A	B - C - D - E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

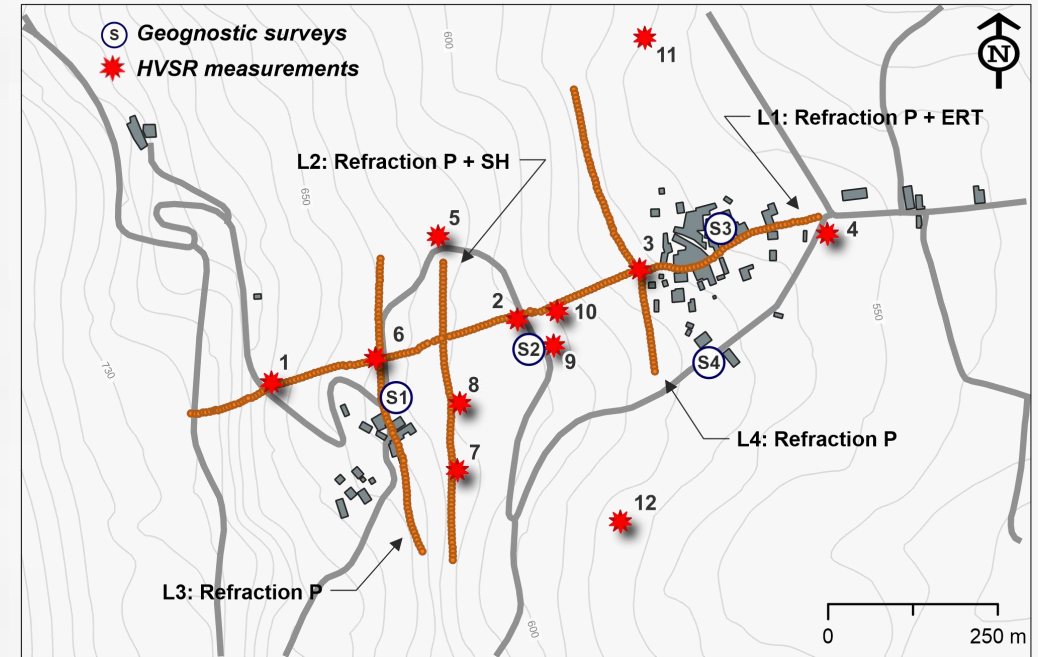
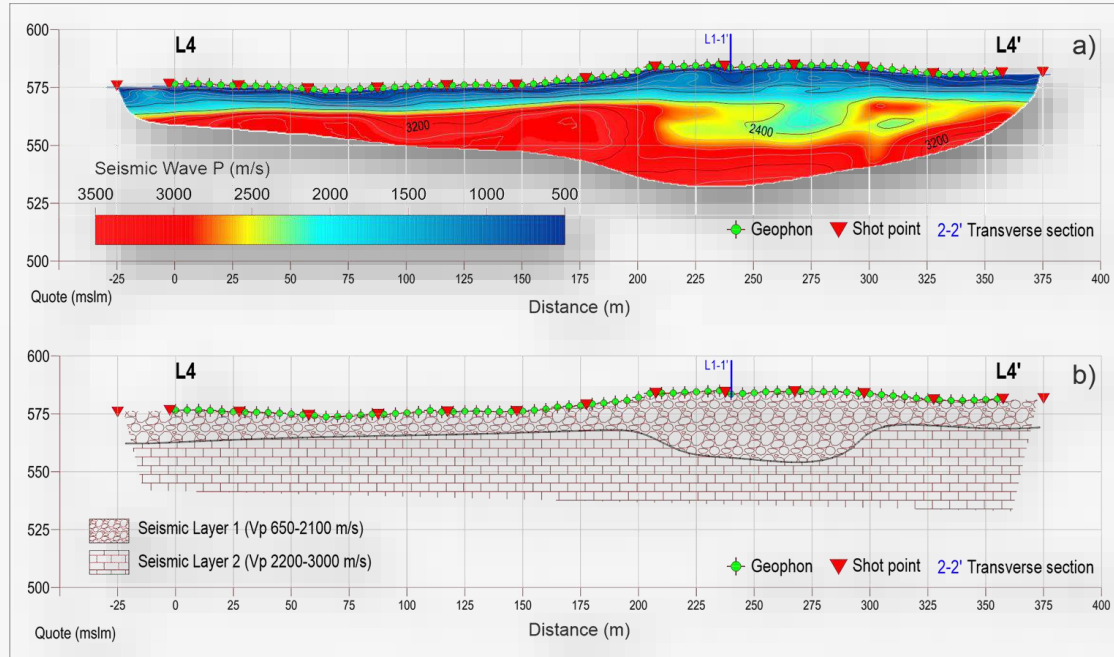


Elements mesh : 5821
 Nodes mesh : 6263
 Material Properties : 1
 Constrain : 461
 Earthquakes : 7

Soil ■
 Density : 19.5 kN/m³
 Poisson : 0.4
 Vs : 425 m/s
 G/Gmax & D : Rollins et Al.

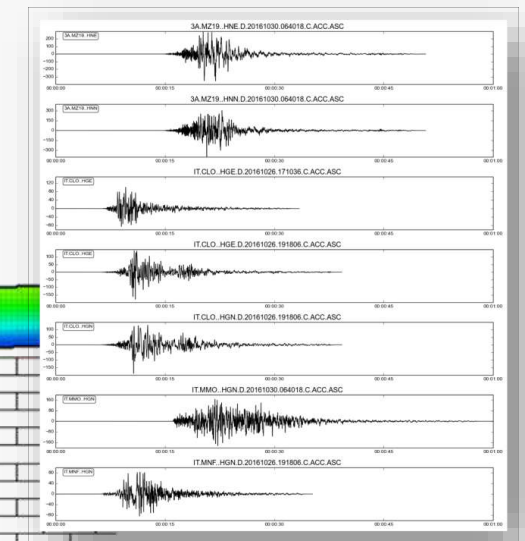
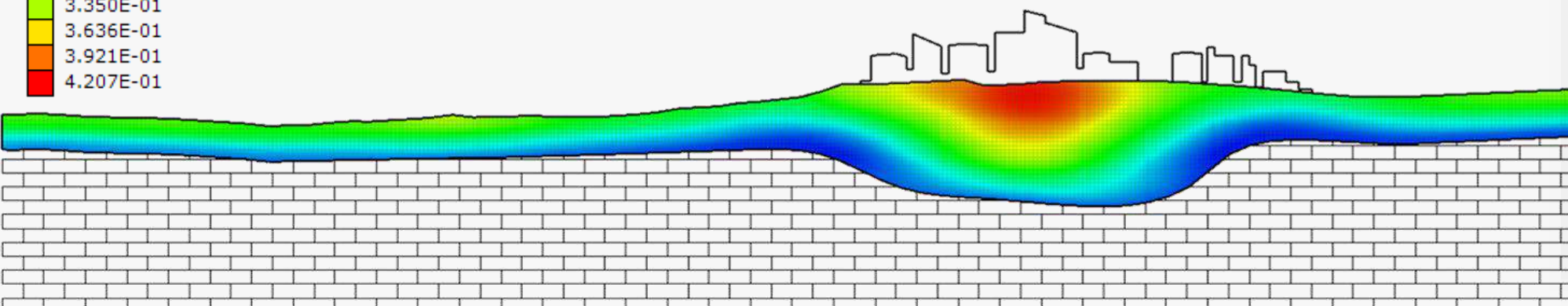
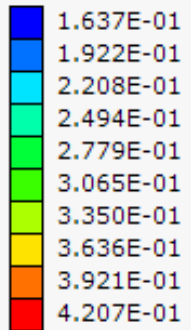
Bedrock —
 Density : 22.0 kN/m³
 Vp : 2550 m/s
 Vs : 1000 m/s



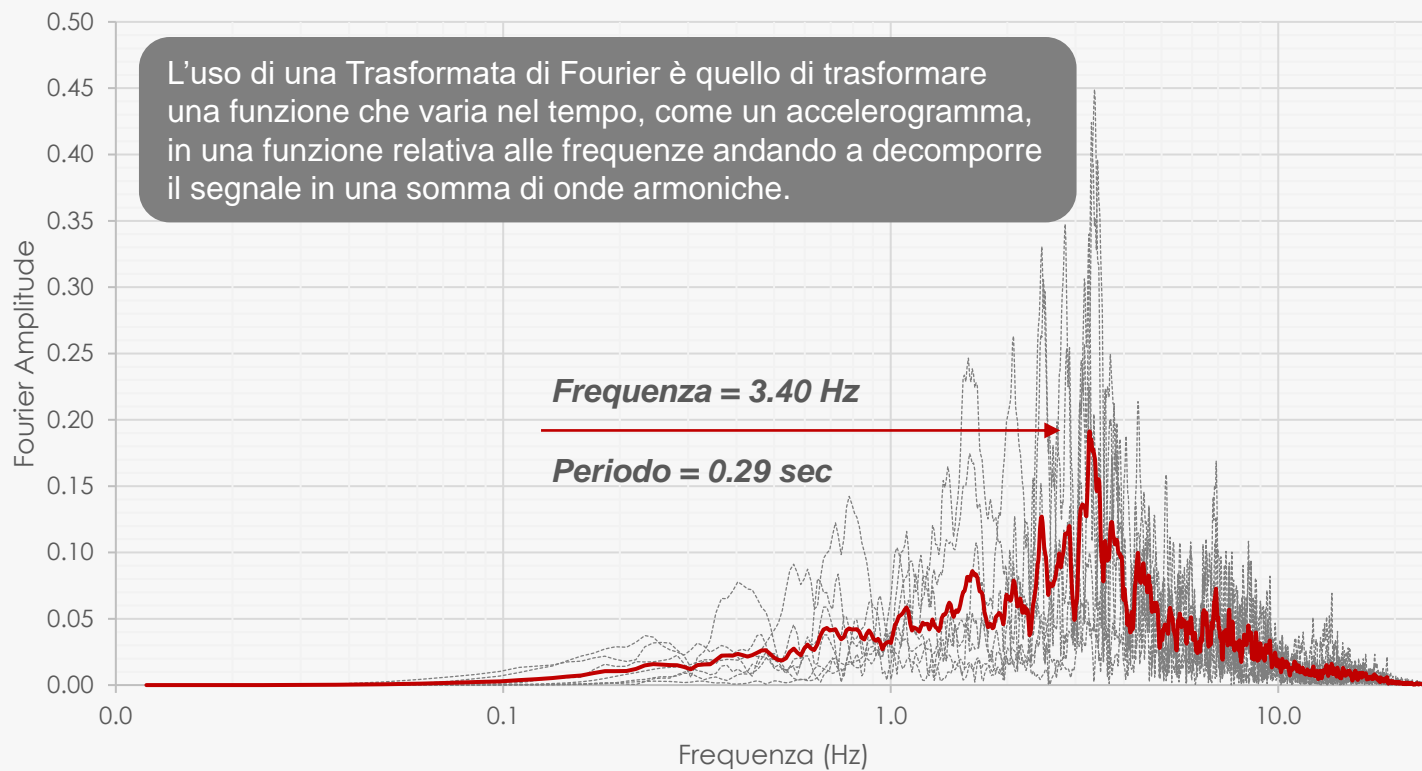


Visual Q4M Ver. 2.0

Peak Acceleration
Max X-Acceleration (g)



----- Realizzazioni ——— Output medio

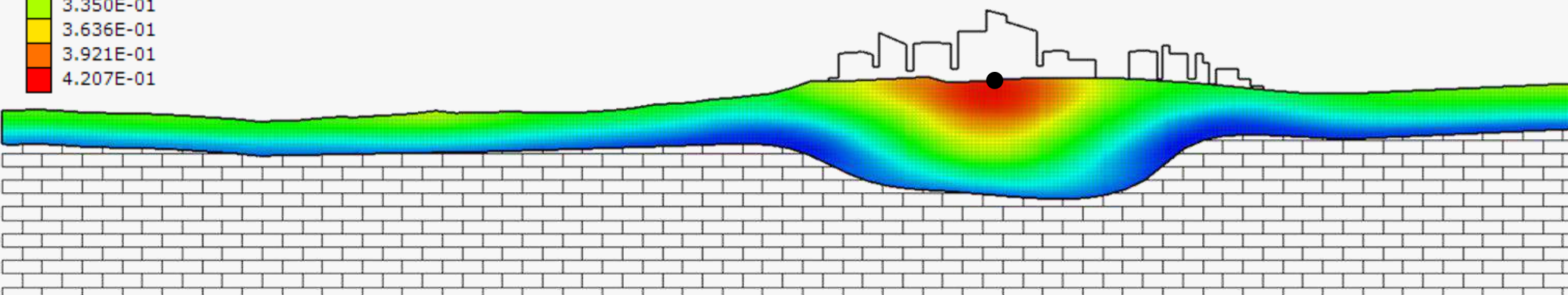
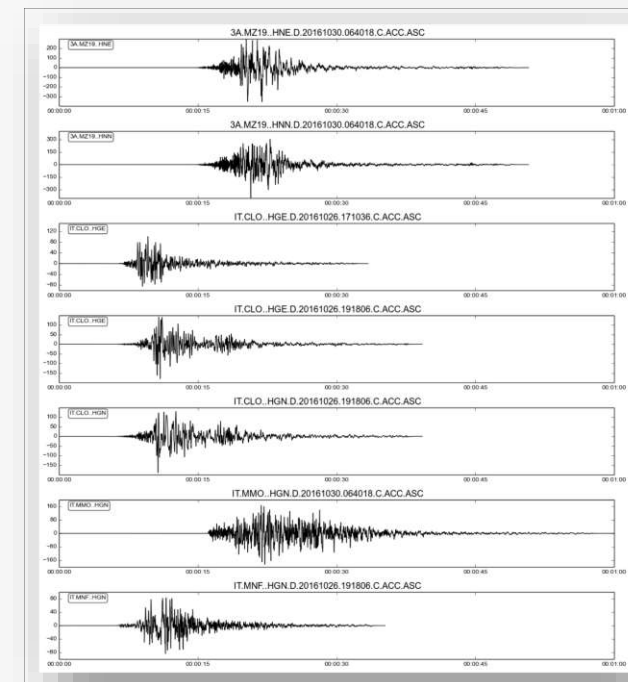


L'uso di una Trasformata di Fourier è quello di trasformare una funzione che varia nel tempo, come un accelerogramma, in una funzione relativa alle frequenze andando a decomporre il segnale in una somma di onde armoniche.

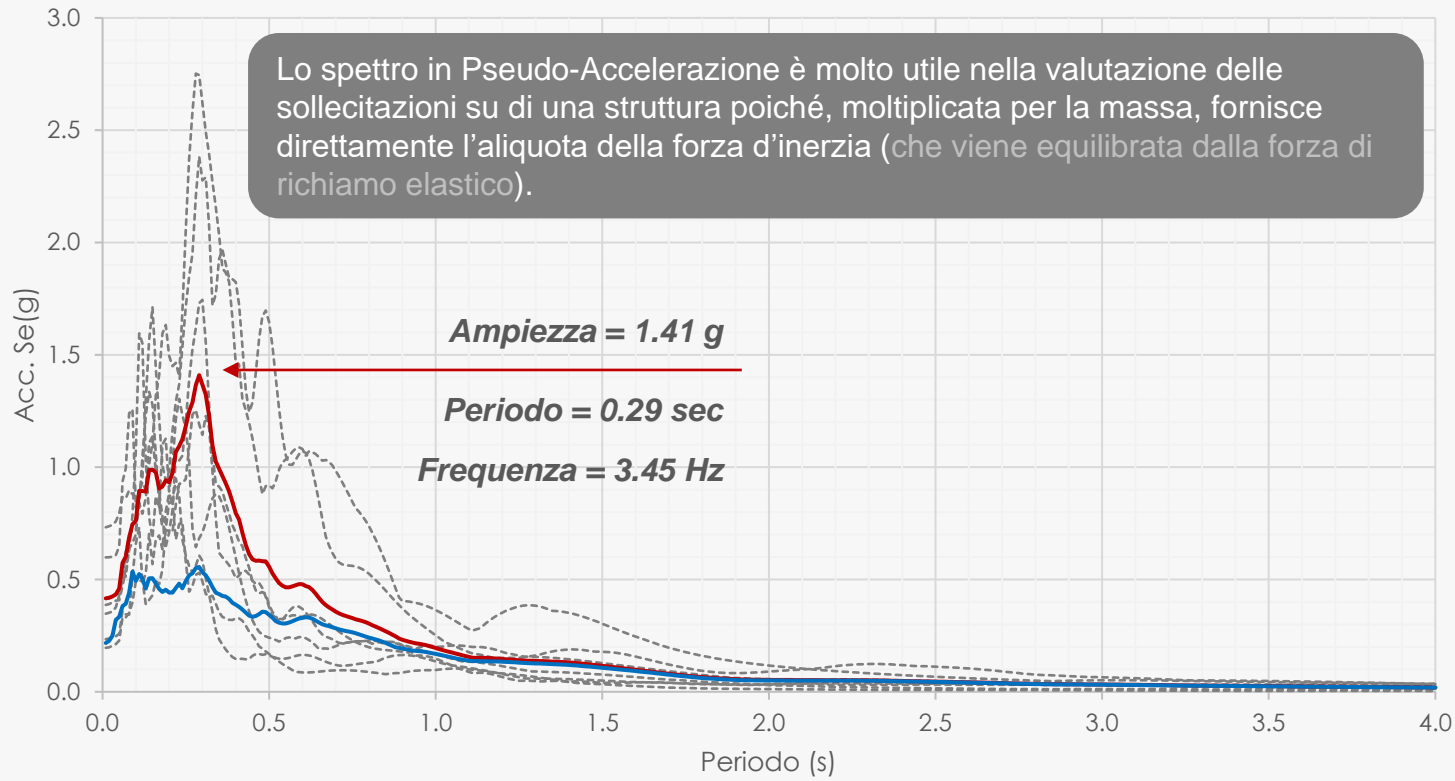
Visual Q4M Ver. 2.0

Peak Acceleration
Max X-Acceleration (g)

- 1.637E-01
- 1.922E-01
- 2.208E-01
- 2.494E-01
- 2.779E-01
- 3.065E-01
- 3.350E-01
- 3.636E-01
- 3.921E-01
- 4.207E-01



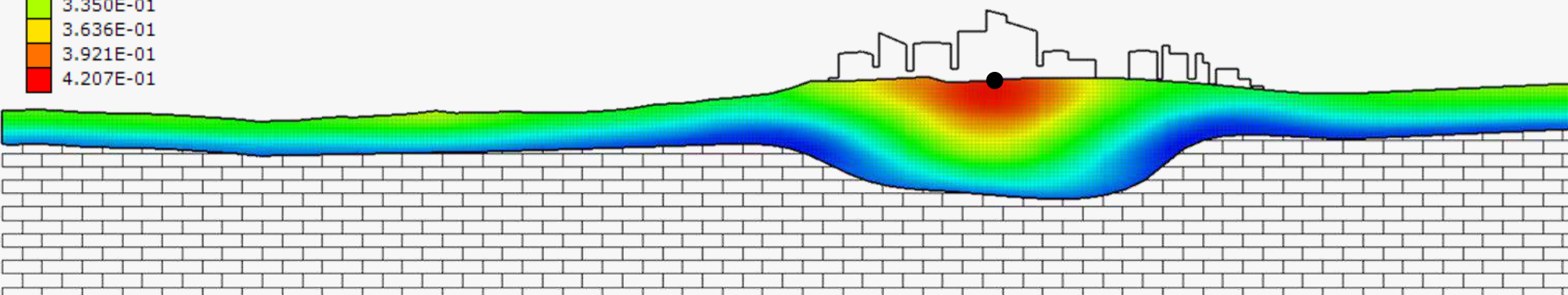
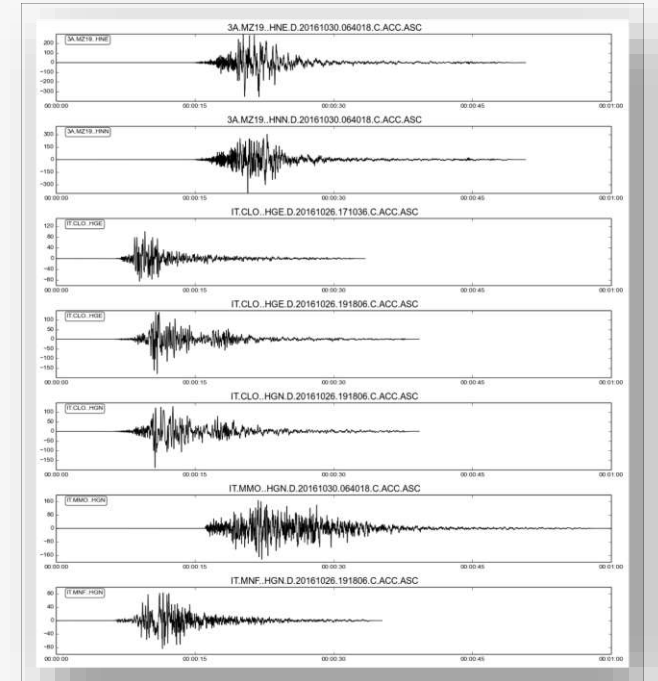
----- Realizzazioni ——— Output medio ——— Input medio

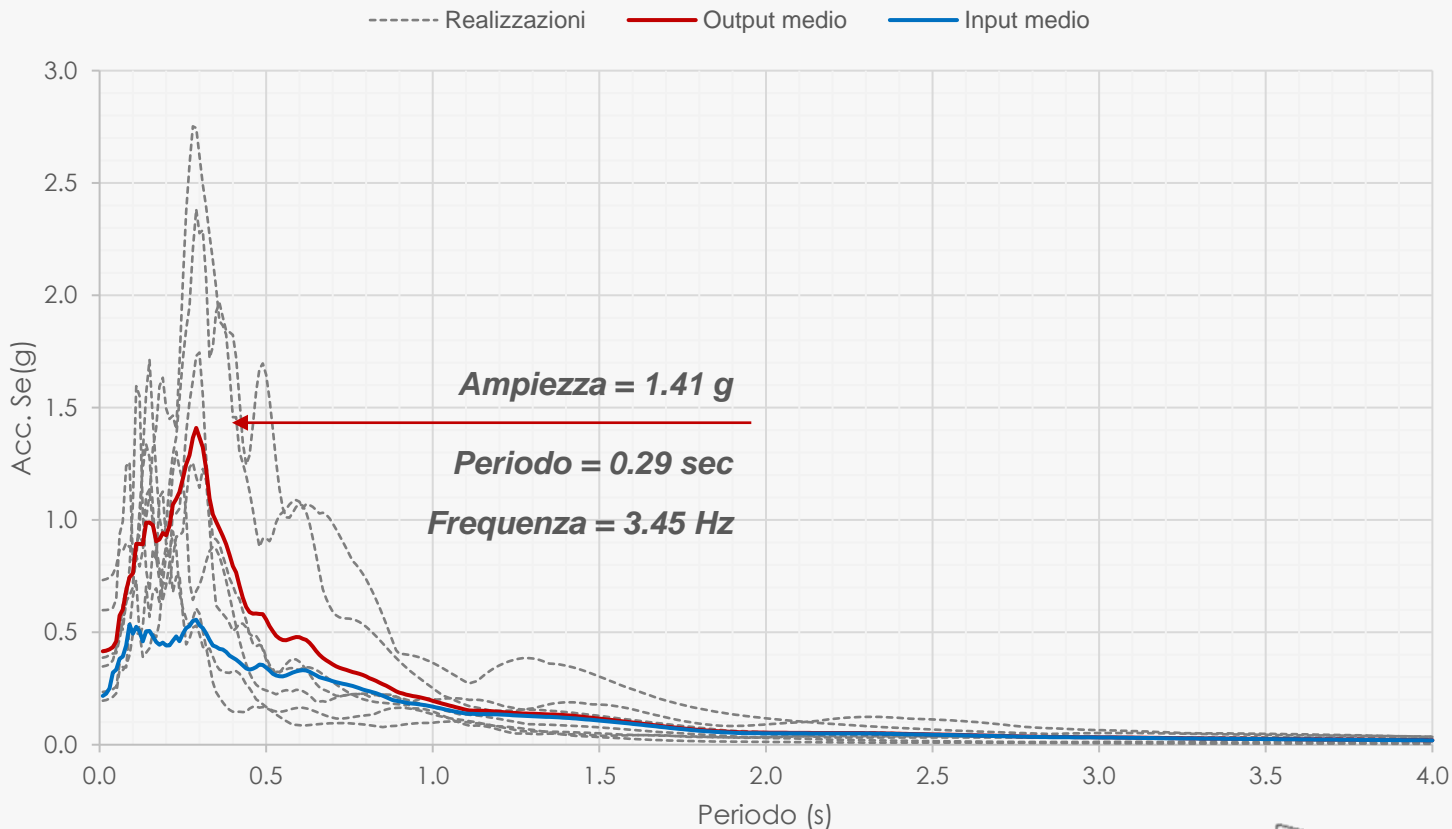


Visual Q4M Ver. 2.0

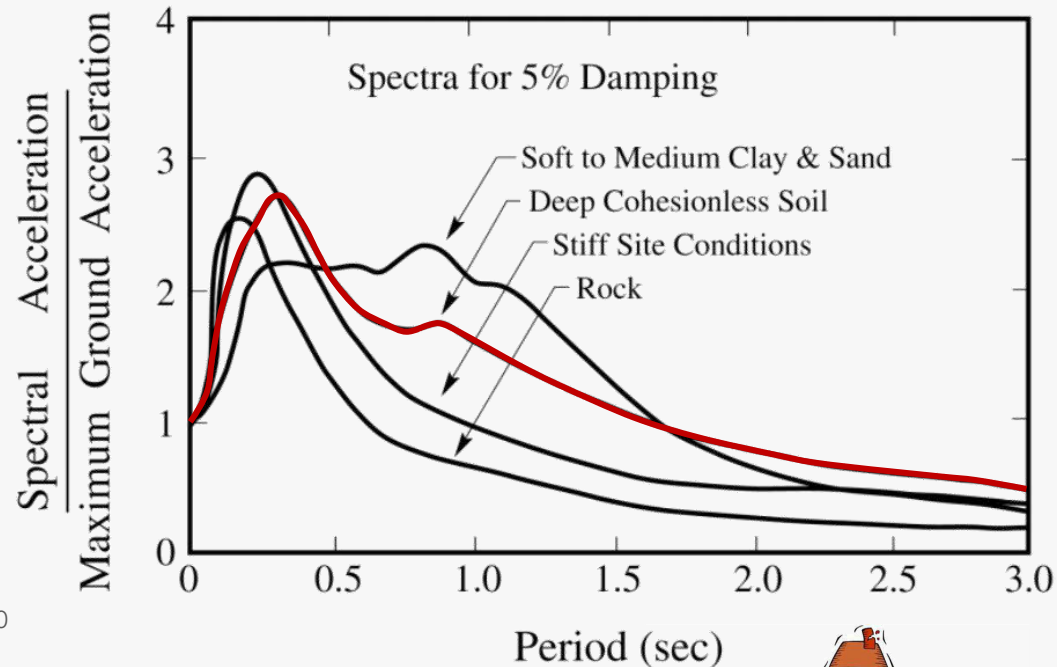
Peak Acceleration
Max X-Acceleration (g)

- 1.637E-01
- 1.922E-01
- 2.208E-01
- 2.494E-01
- 2.779E-01
- 3.065E-01
- 3.350E-01
- 3.636E-01
- 3.921E-01
- 4.207E-01

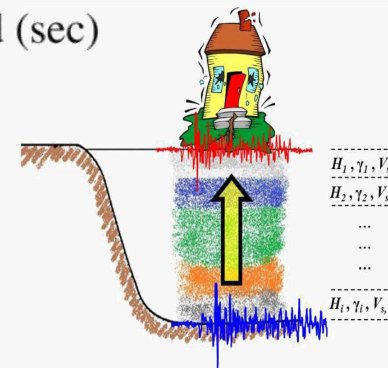
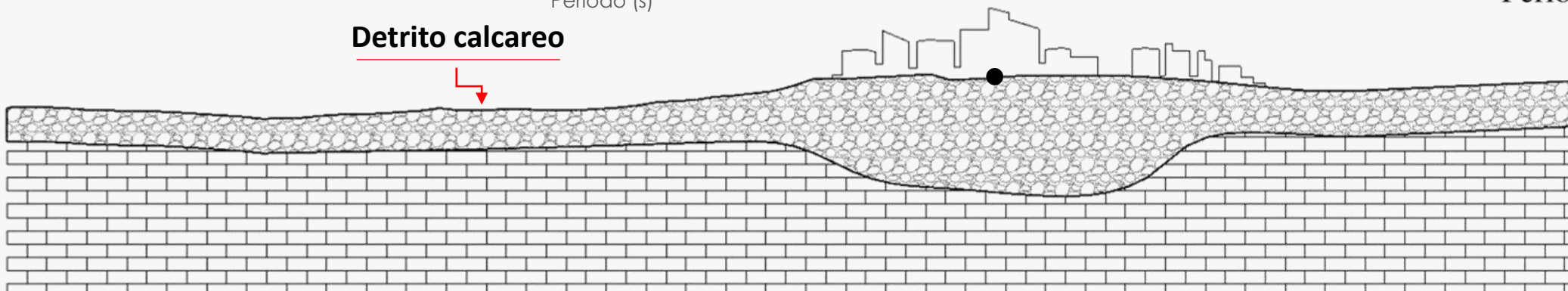


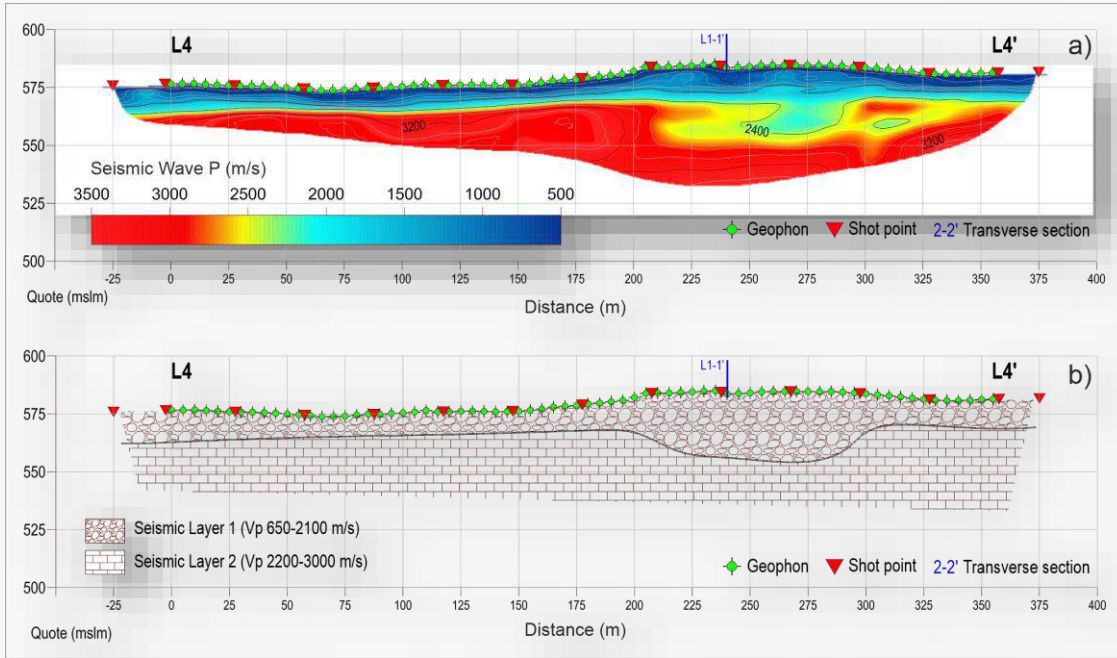


Seed, H.B., Ugas, C. and Lysmer, J. (1976),
Site-dependent Spectra for Earthquake-resistant Design.
 Bulletin of the Seismological Society of America. 66(1),
 221-243.



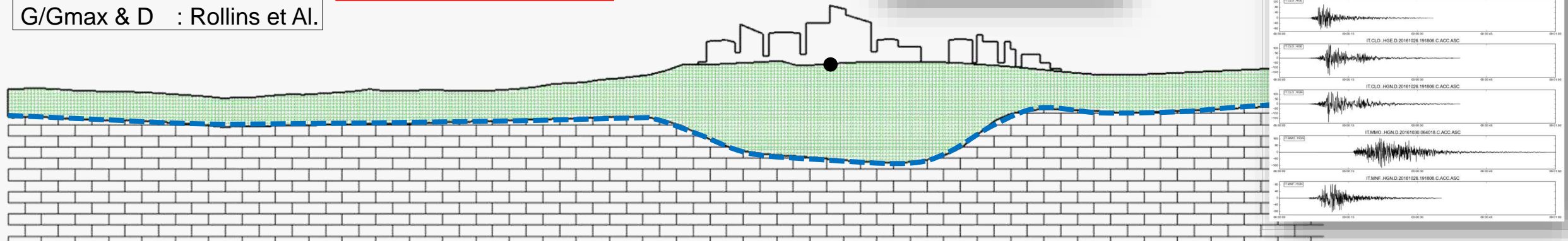
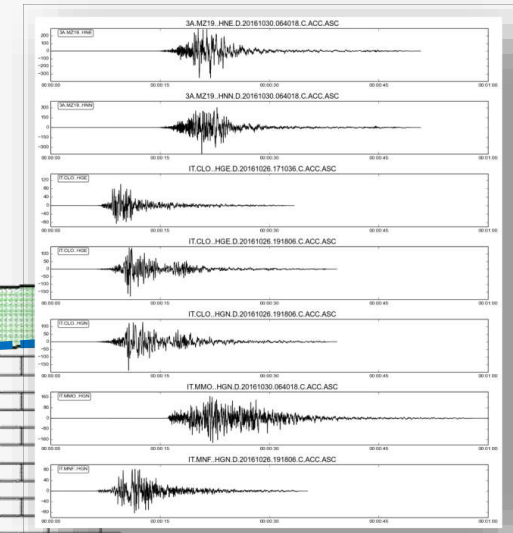
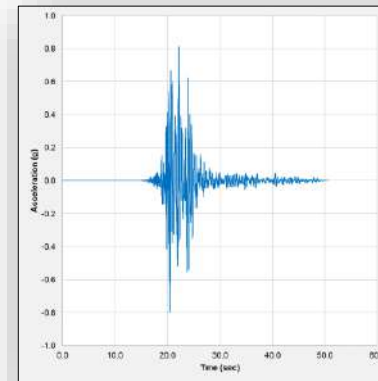
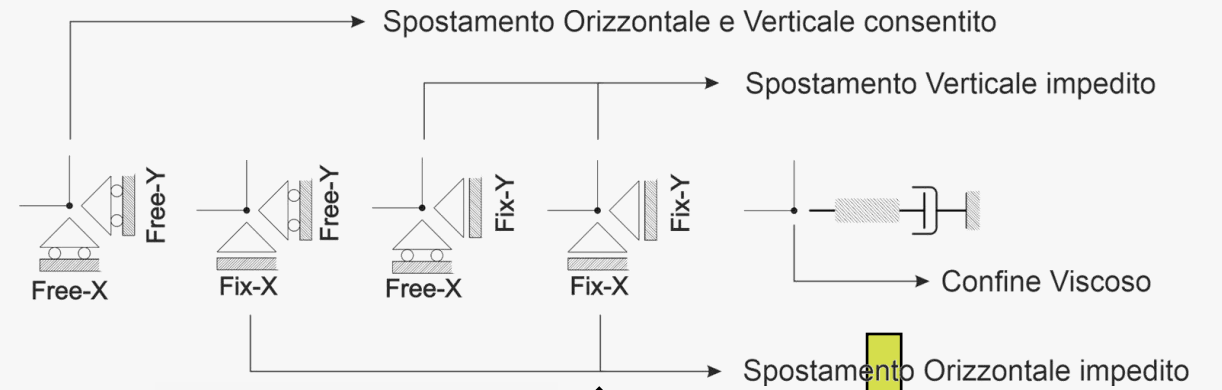
Detrito calcareo

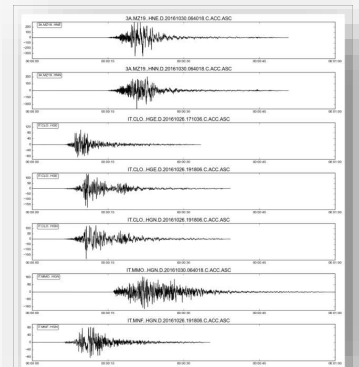
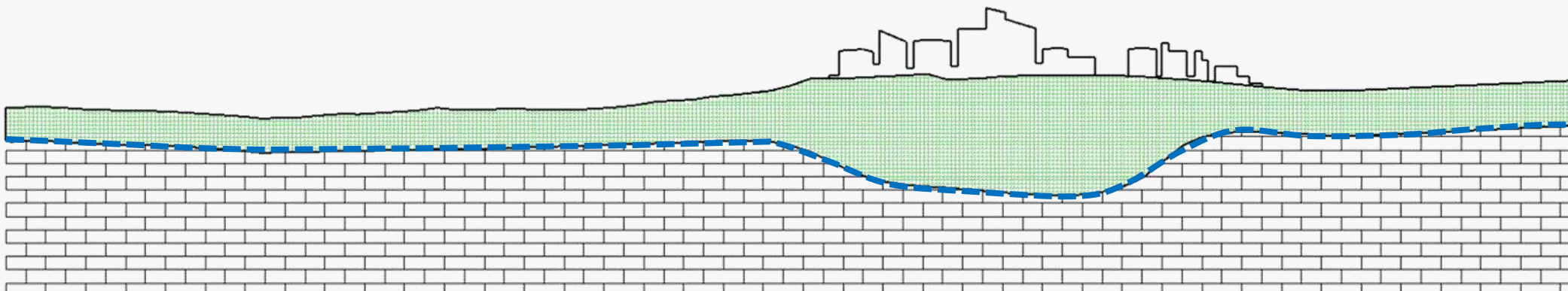
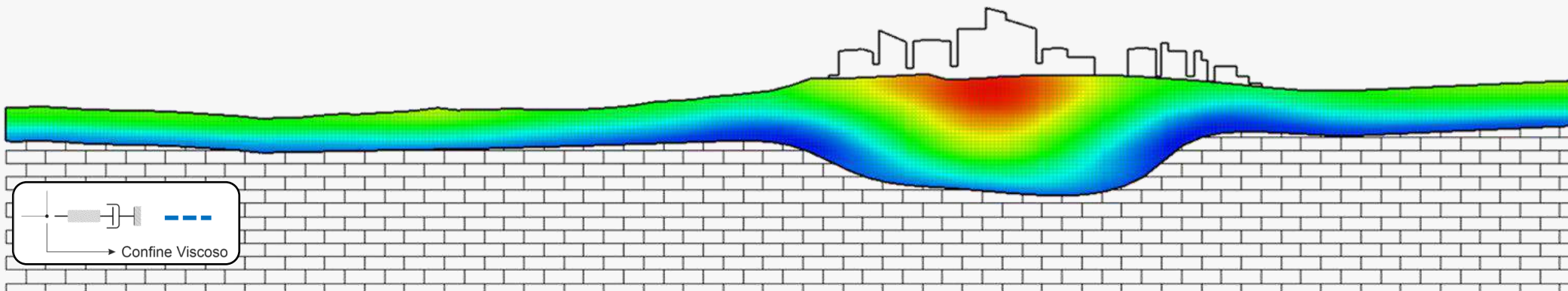
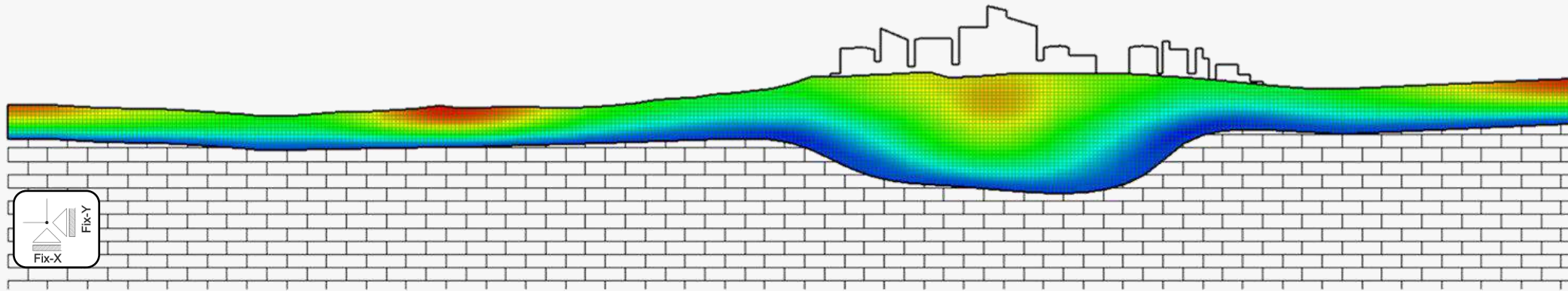


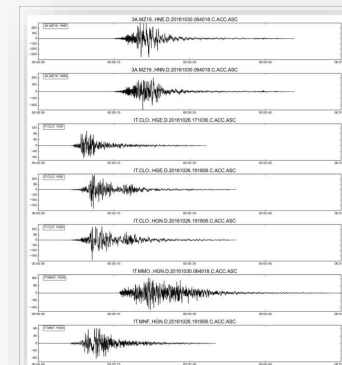
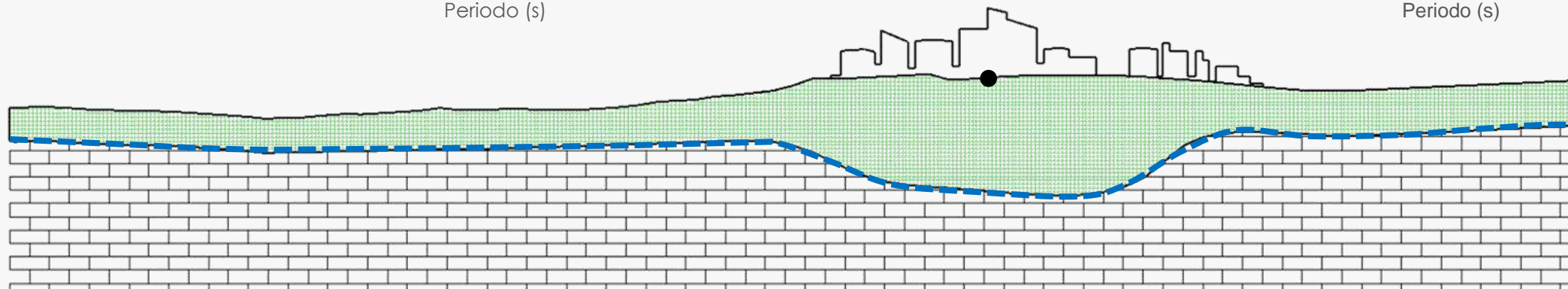
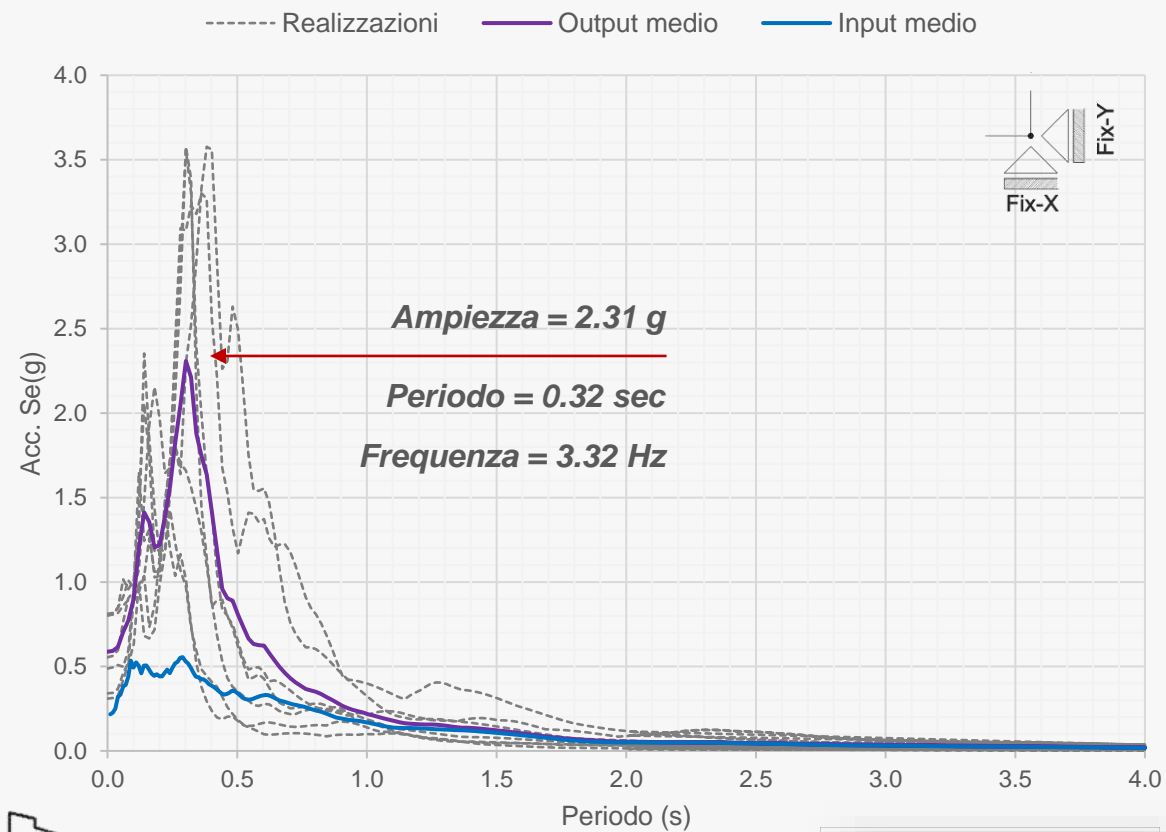
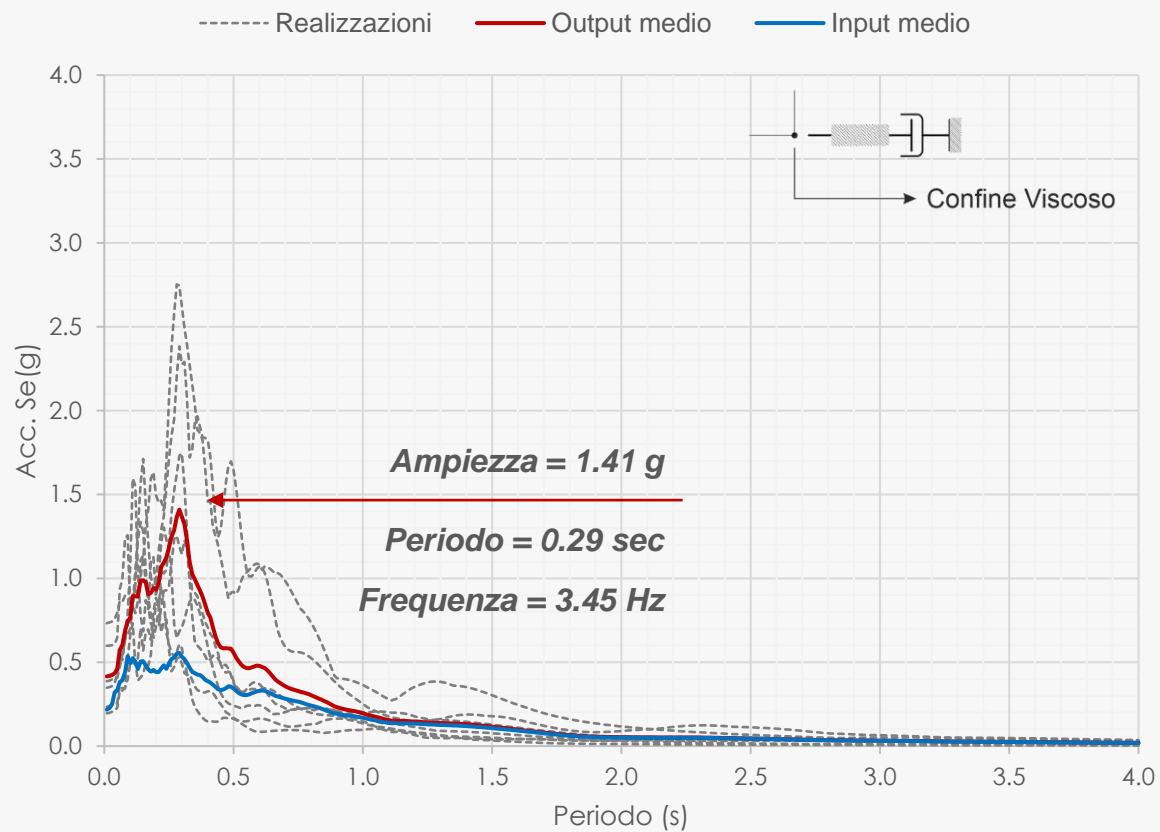


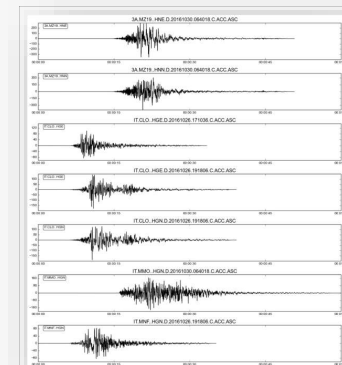
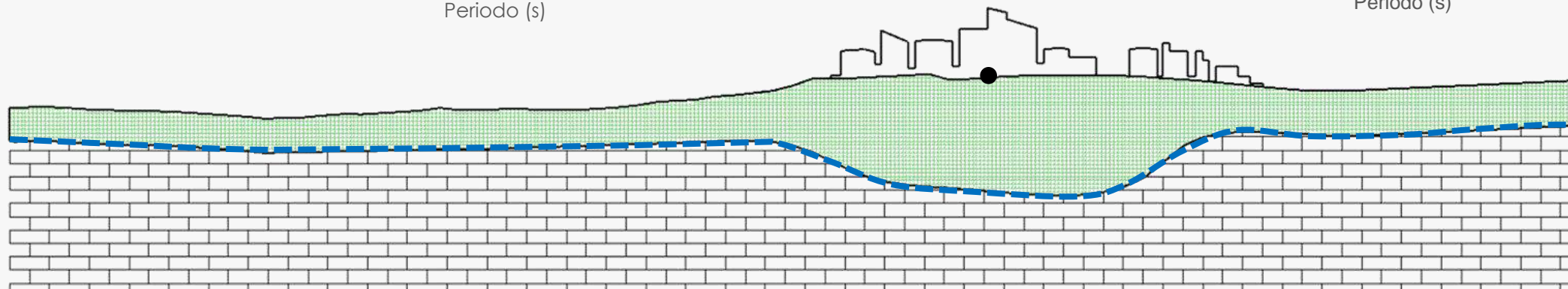
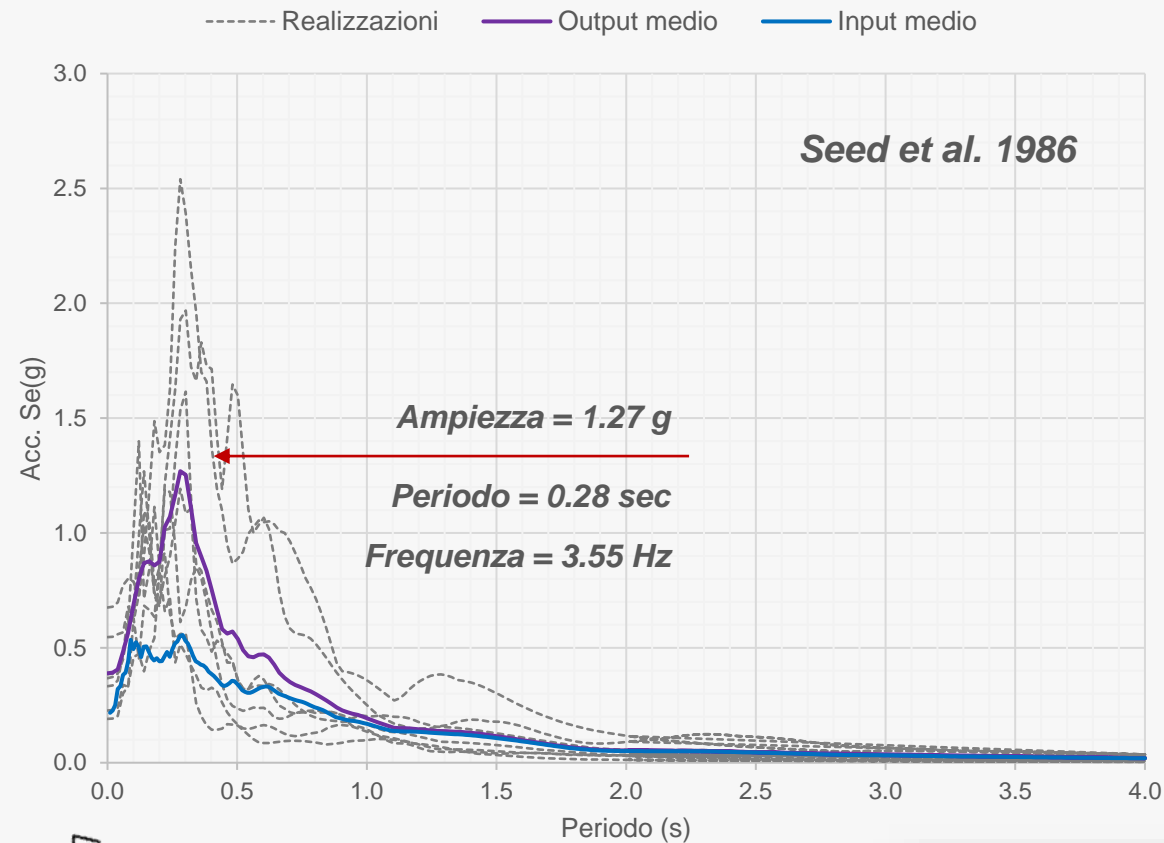
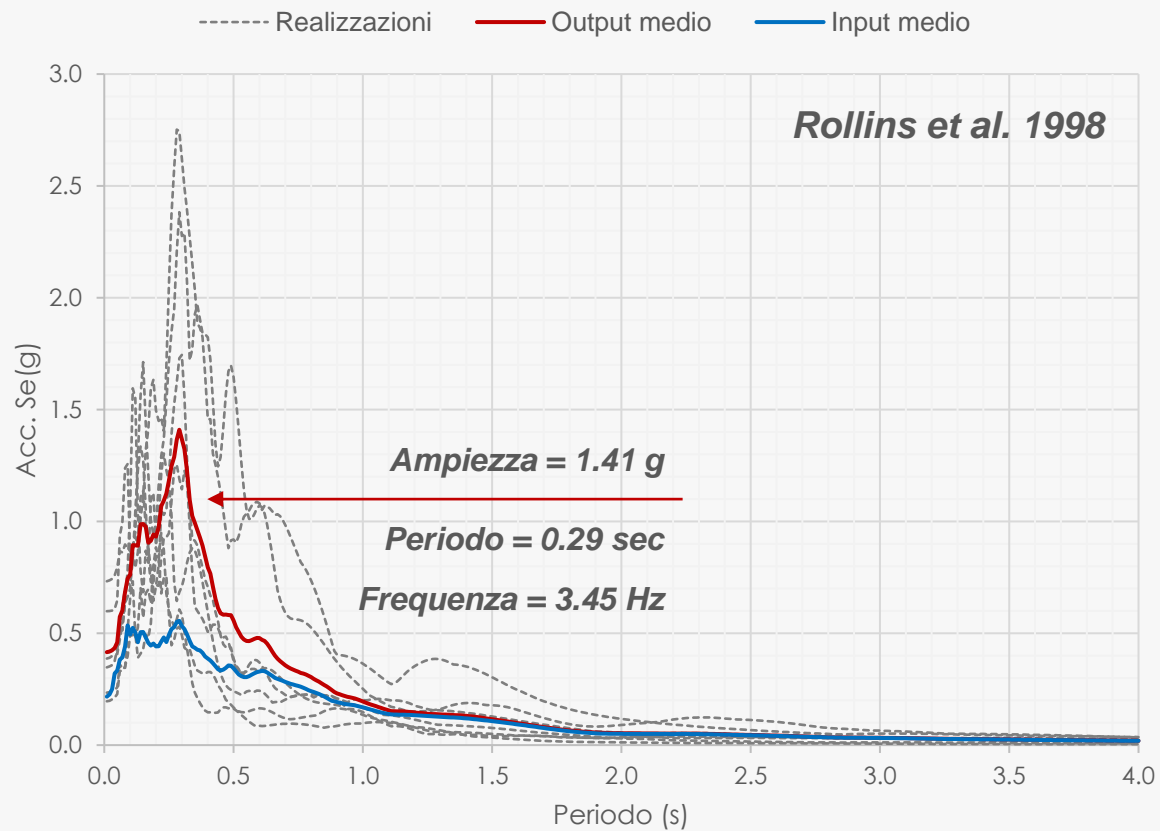
Soil	
Density	: 19.5 kN/m ³
Poisson	: 0.4
Vs	: 425 m/s
G/Gmax & D	: Rollins et Al.

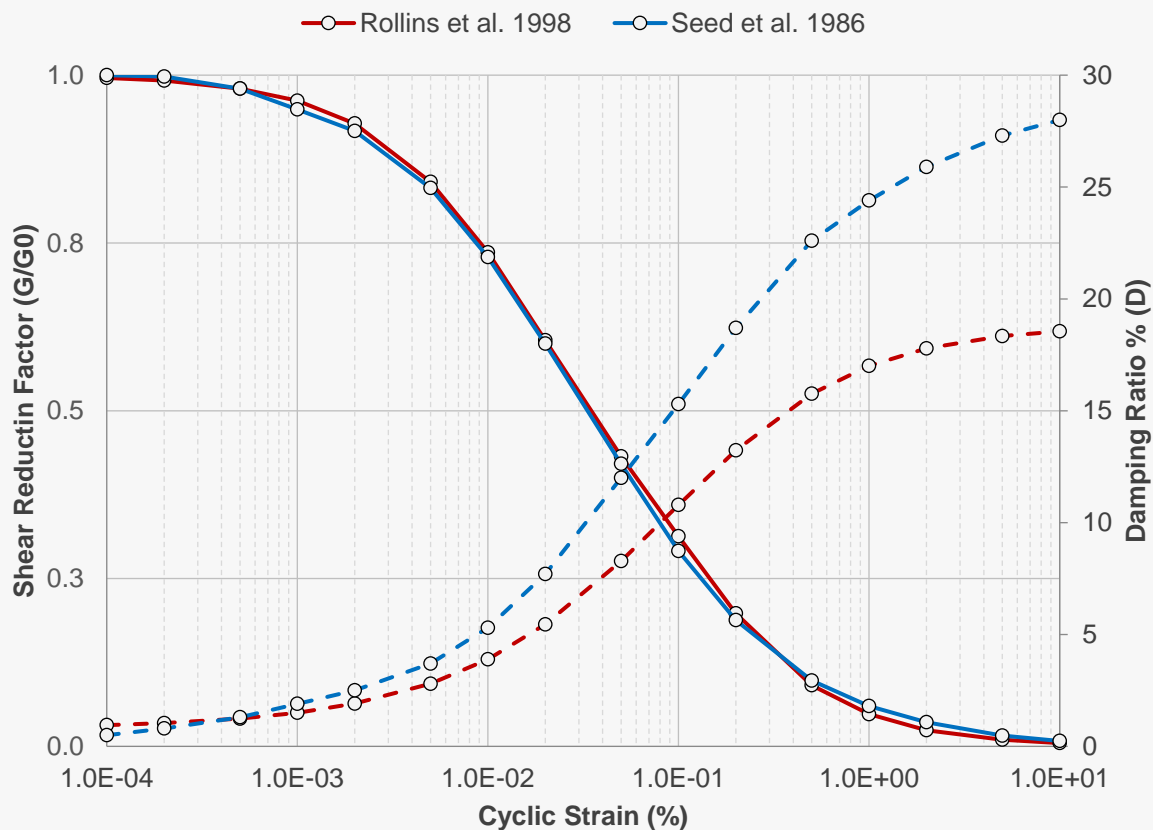
Bedrock	
Density	: 22.0 kN/m ³
Vp	: 2550 m/s
Vs	: 1000 m/s











Rollins et al. 1998

FA = **2.123**
Intervallo: 0.1 ÷ 0.5 (s)

FA = **1.477**
Intervallo: 0.4 ÷ 0.8 (s)

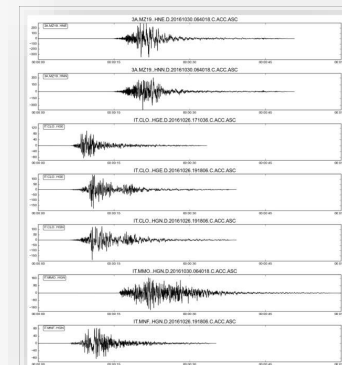
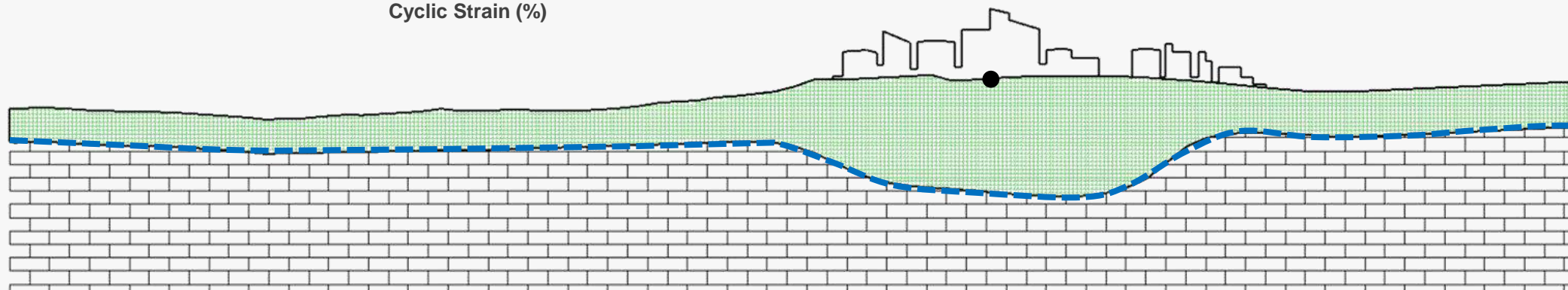
FA = **1.203**
Intervallo: 0.7 ÷ 1.1 (s)

Seed et al. 1986


FA = **1.970** Δ = **7.8 %**
Intervallo: 0.1 ÷ 0.5 (s)


FA = **1.459** Δ = **1.2 %**
Intervallo: 0.4 ÷ 0.8 (s)

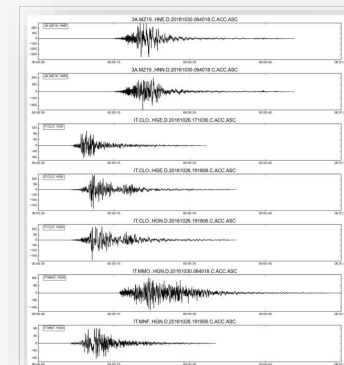
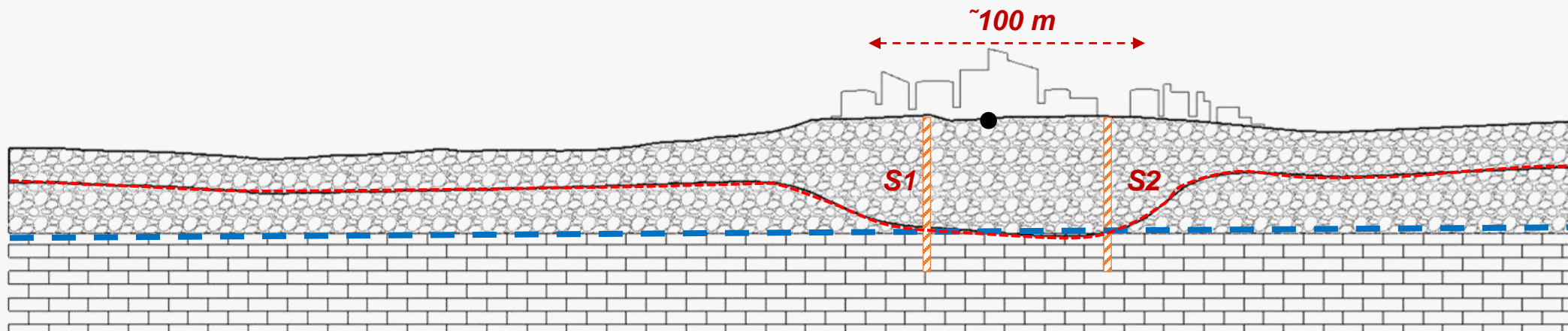
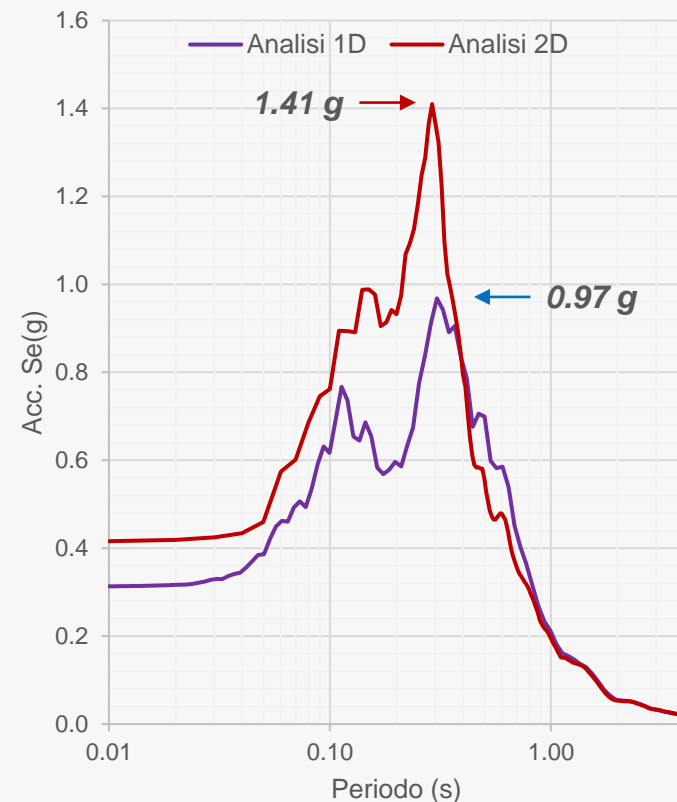
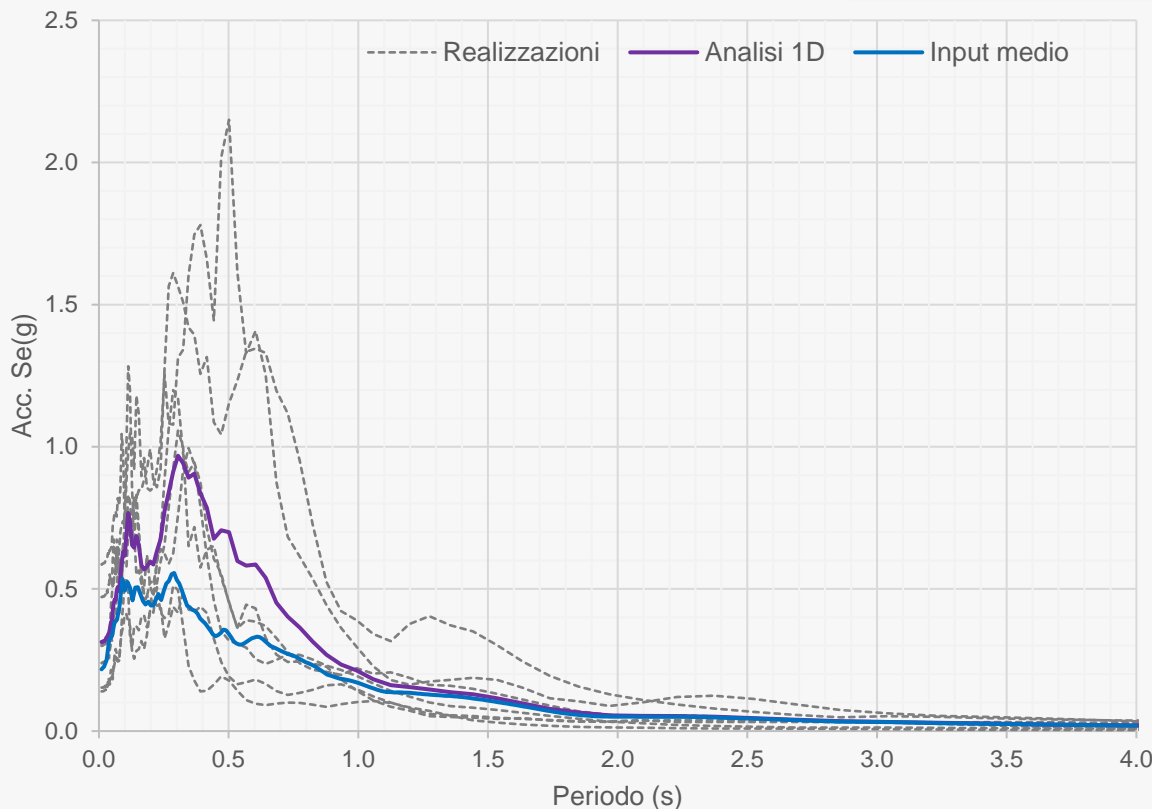
FA = **1.196** Δ = **0.6 %**
Intervallo: 0.7 ÷ 1.1 (s)



Colonna monodimensionale

Soil 
 Density : 19.5 kN/m³
 Poisson : 0.4
 Vs : 425 m/s
 G/Gmax & D : Rollins et Al.

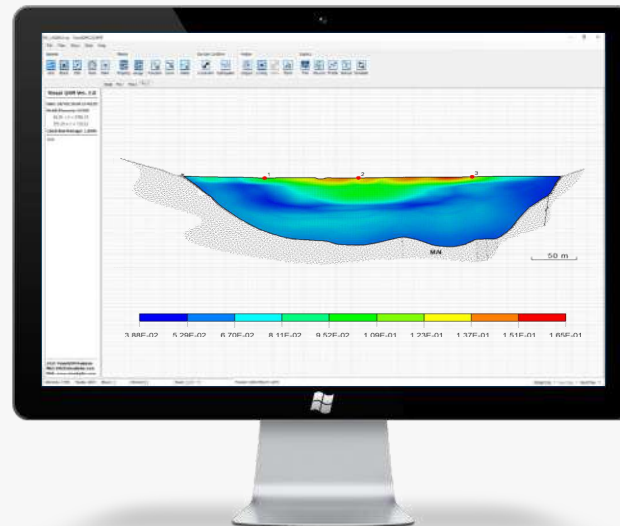
Bedrock 
 Density : 22.0 kN/m³
 Vp : 2550 m/s
 Vs : 1000 m/s





Qual è il grado di errore che accettate in una simulazione???

**In qualsiasi processo di calcolo è necessario fare sempre delle assunzioni
(Topografia, Stratigrafia, Parametri, Confini...)**



L'interdisciplinarietà delle analisi di RSL: approcci e metodi

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI VITERBO

ORDINE DEI GEOLOGI DEL LAZIO

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Massimo Mangifesta Ph.D

✉ *mmangifesta@gmail.com – mmangifesta@unich.it*

🌐 *www.massimomangifesta.it*

🌐 *www.visualq4m.com*