

STUDI DI APPROFONDIMENTO DEI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA IN FASE DI PROGETTAZIONE EDILIZIA IN REGIONE LOMBARDIA

Massimo Compagnoni
Politecnico di Milano
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale



Giornata di studio

Pericolosità di base, microzonazione sismica e risposta sismica locale
Università di Brescia – 14 settembre 2022



Procedura Regione Lombardia

- **1° livello: fase pianificatoria**

obbligatoria per tutti i comuni della Lombardia ed estesa alle aree interferenti con l'urbanizzato e l'urbanizzabile (PSL)

- **2° livello: fase pianificatoria**

zone sismiche 2 e 3: obbligatoria nelle aree interferenti con l'urbanizzato e l'urbanizzabile

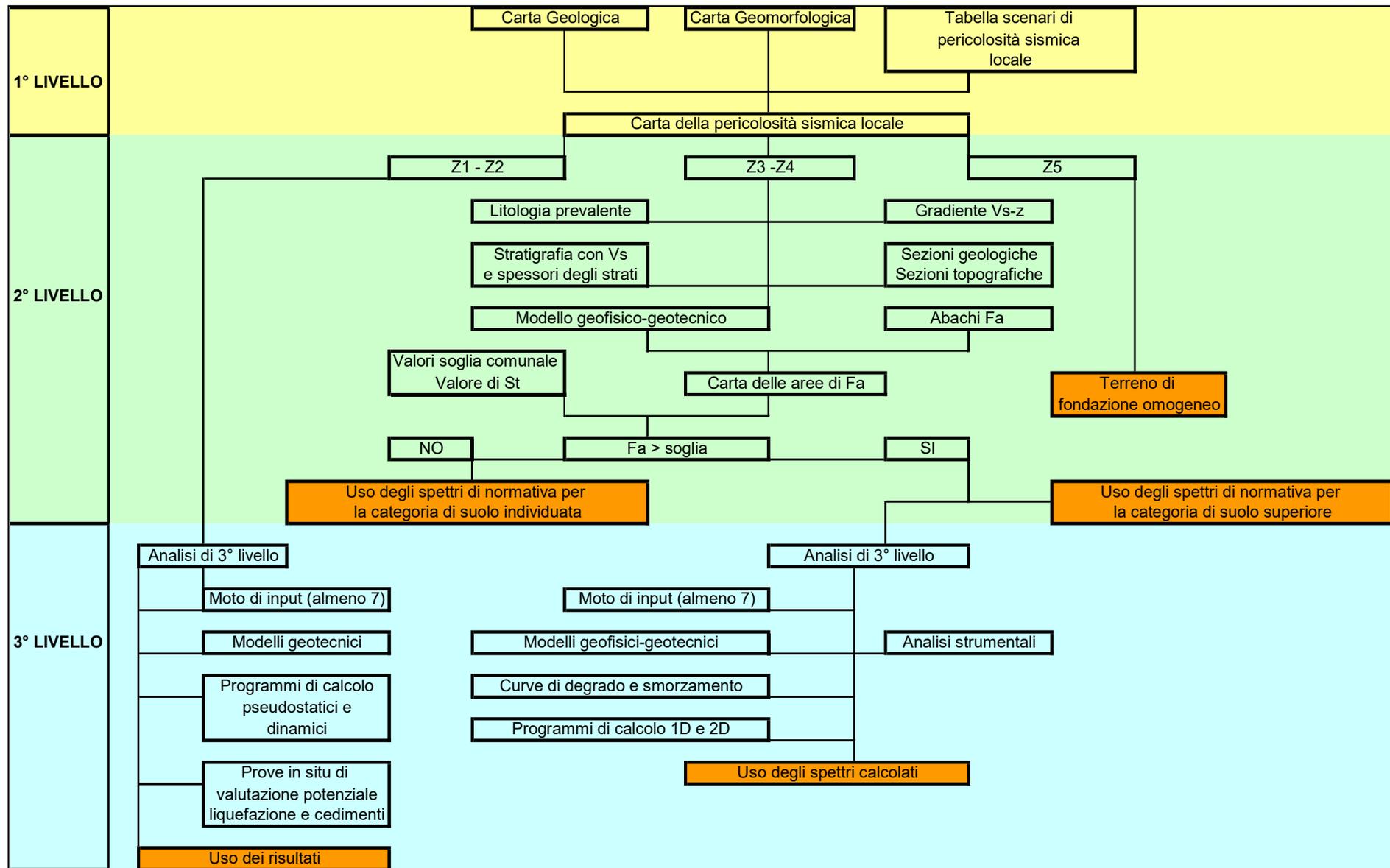
zona sismica 4: obbligatoria nelle aree con previsione di edifici strategici e rilevanti

- **3° livello: fase progettuale**

quando con il 2° livello il valore di F_a calcolato supera il valore di soglia comunale



Procedura Regione Lombardia



CRITERI REGIONALI – D.G.R. IX/2616 del 30-11-2011

Estratto Parte 1 Cap. 1 p.to 1.4.3 Allegato B D.G.R. IX/2616 del 30-11-2011

Le aree a pericolosità sismica locale individuate devono essere riportate nella carta di fattibilità con appositi retini “trasparenti”, distinguendo quelle con F_a maggiore al valore soglia comunale da quelle con F_a minore.

Tale sovrapposizione non comporta quindi un automatico cambio di classe di fattibilità ma fornisce indicazioni su dove poter utilizzare, in fase di progettazione, lo spettro di risposta elastico previsto dal d.m. 14 gennaio 2008, oppure dove sia necessario realizzare preventivamente gli studi di 3^a livello, fermo restando la possibilità di utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la categoria di suolo superiore.

Estratto Parte 1 Cap. 4 Allegato B D.G.R. IX/2616 del 30-11-2011

Per quanto riguarda le aree soggette ad amplificazione sismica, agli approfondimenti e prescrizioni derivanti dalla classe di fattibilità assegnata devono essere associate le norme specifiche previste dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale, o, nel caso tali norme non siano sufficientemente cautelative (F_a calcolato > valore soglia comunale), deve essere indicato l'obbligo di eseguire, in fase progettuale, gli approfondimenti di terzo livello.



SCHEDE ALLEGATE AL MODULO 9 D.G.R. n. 5001/2016

Obiettivo: Fornire un percorso metodologico univoco tale da garantire un livello minimo di approfondimento degli studi, fornendo nel contempo al «funzionario istruttore della pratica» uno strumento guida a cui far riferimento

Struttura: 3 gradi successivi di approfondimento per ciascun dei quali è previsto un livello minimo di conoscenze

Nell'ambito di ciascun approfondimento è prescritto l'approccio di studio da applicare, lasciando piena libertà al professionista nella scelta del metodo di analisi e verifica.



SCHEDE ALLEGATE AL MODULO 9 DGR N. 5001/2016

Dagli studi geologici comunali redatti in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 marzo 2005 n. 12

Il sito ricade negli scenari
PSL Z1a, Z1b, Z1c
INSTABILITA' VERSANTE
SISMOINDOTTE

Il sito ricade negli scenari
PSL Z2b
LIQUEFAZIONI

Il sito ricade negli scenari
PSL Z3 e Z4 ove
FA calcolato > FA soglia*
(*previa tolleranza)



SCHEDA APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE

Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5):

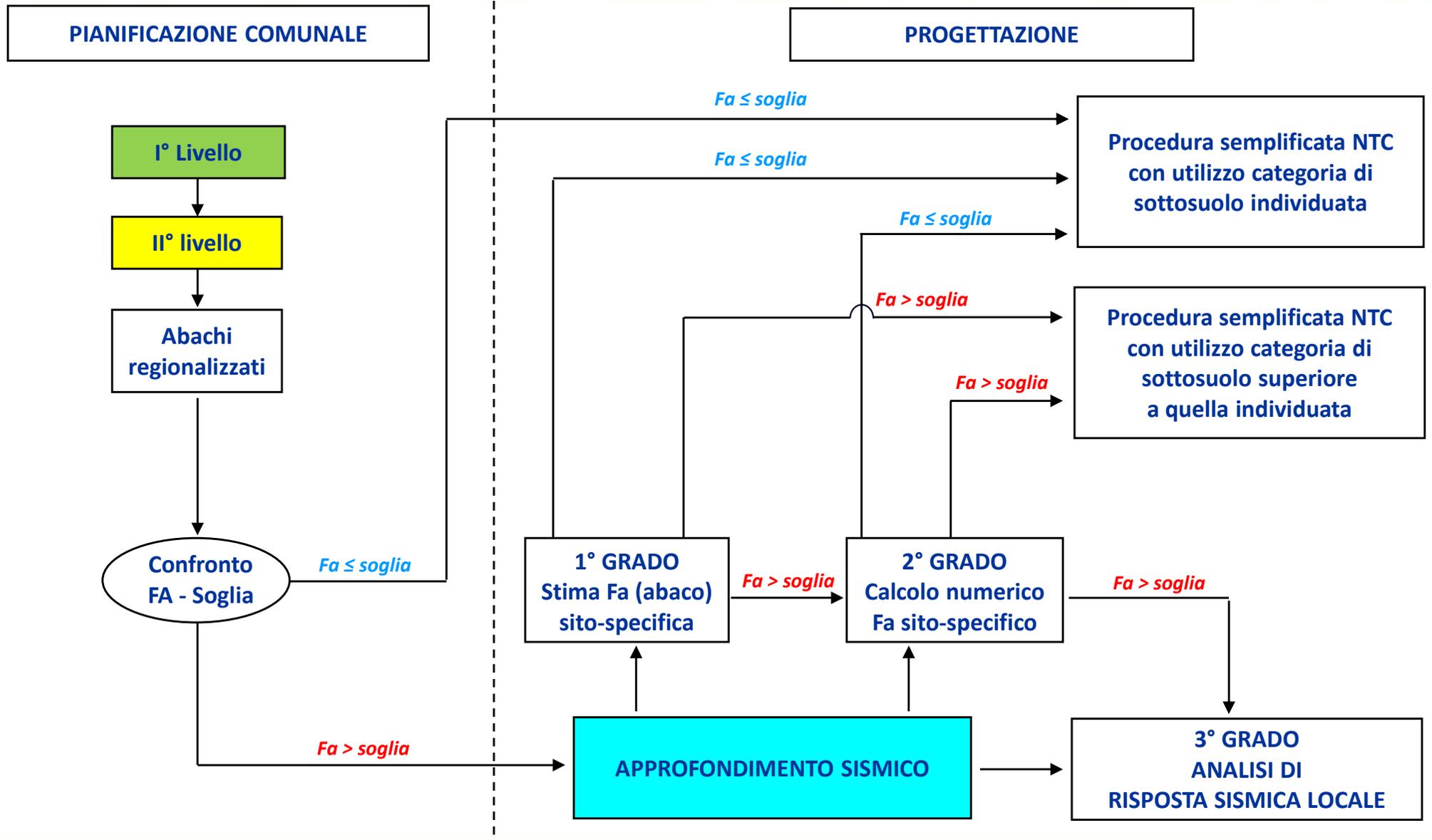
Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), *previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. IX/2616); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di $V_{SH} > 250$ m/s <input type="checkbox"/> FAC ≤ FAS*		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<p>Fine approfondimento</p> Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato	<input type="checkbox"/> FAC > FAS* Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni 2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello Obbligo del 3° grado di approfondimento Oppure nel caso <input type="checkbox"/> FAC > FAS* e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento

Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> FAC ≤ FAS* Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato <input type="checkbox"/> FAC > FAS* Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> FAC > FAS* e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione Fine approfondimento



SCHEDA APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE



APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI

FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE

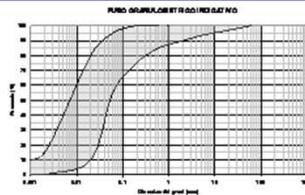
1° GRADO DI APPROFONDIMENTO	
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: <ol style="list-style-type: none"> 1. Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2. Assenza di inversioni di velocità significative 3. Contrasti di impedenza sismica < 3 4. Valori di $V_{SH} > 200-250$ m/s
Risultati al 1° grado di approfondimento	<div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> FA Calcolato \leq FA Soglia* Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato </div> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> FA Calcolato \leq FA Soglia* Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato </div>



APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE

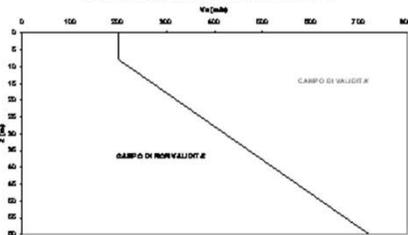
GRANULOMETRIA:
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con $D_{m3} < 2-3$ cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

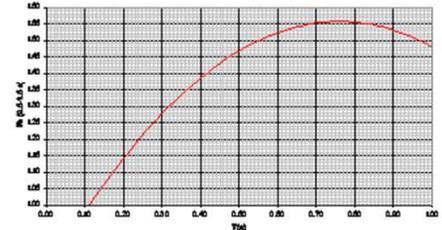


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	18.6-19.3
Peso specifico saturo	26.6-27.9
Contenuto di acqua naturale	26-30
Limite di liquidità	25-35
Limite di plasticità	8-12
Indice di plasticità	6-8
Indice dei vuoti	0.85-0.9
Indice di compressione	0.4-0.5
Costante di rigidezza	0.4-0.8
Indice di compressione	0.45-0.50
Costante di compressione	0.005-0.008
Numero di colpi per 25 cm	25-30

ANDAMENTO DEI VALORI DI $V_{s0.5}$ LA PROFONDITA'



Correlazione T - $V_{s0.5}$ - Fe 0.5-1.5 m



$$F_{a0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $F_{a0.1-0.5} = -13.97T^2 + 10.47T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $F_{a0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $F_{a0.1-0.5} = -12.87T^2 + 9.27T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $F_{a0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $F_{a0.1-0.5} = -10.67T^2 + 7.67T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $F_{a0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

Scelta della tipologia litologica

Verifica validità della scheda

Caratteristiche strato
superficiale

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



APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI

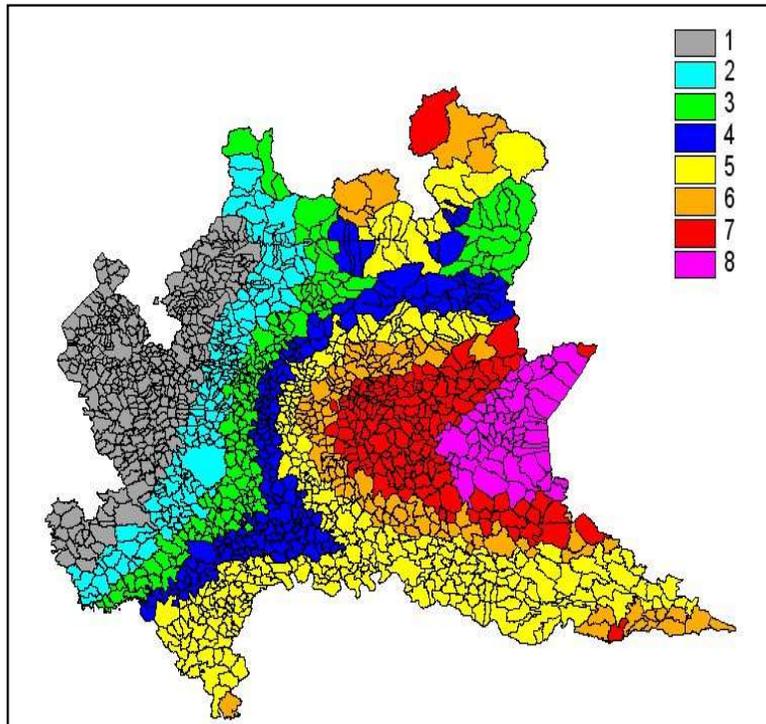
FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE

<p>2° GRADO DI APPROFONDIMENTO</p>	<p>Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni</p>
<p>Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento</p>	<p><input type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH</p>
<p>Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento</p>	<p><input type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo del fattore di Amplificazione</p>
<p>Risultati al 2° grado di approfondimento</p>	<p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> $FA_{Calcolato} \leq FA_{Soglia}^*$</p> <p style="text-align: center;">Fine approfondimento</p> <p>Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al VS30 misurato</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> $FA_{Calcolato} \leq FA_{Soglia}^*$</p> <p style="text-align: center;">Fine approfondimento</p> <p>Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al VS30 misurato</p>

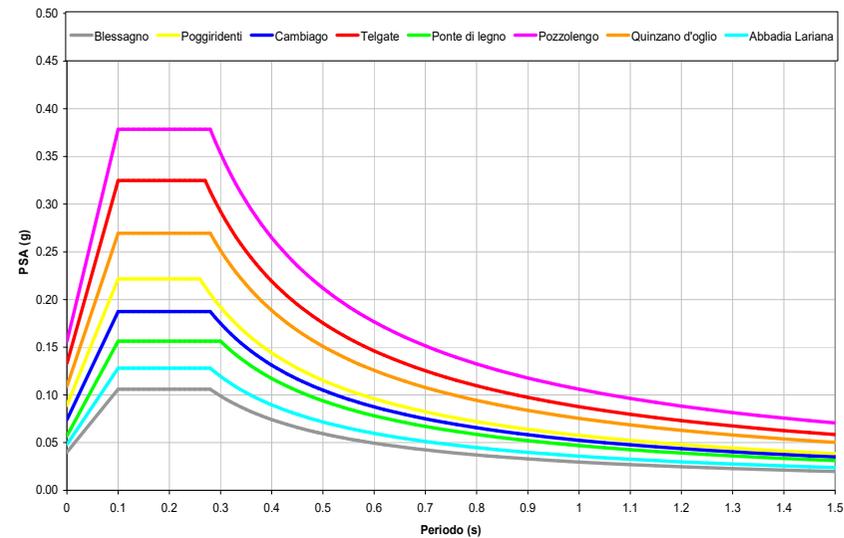


APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE

Calcolo del F_a di amplificazione mediante codice di calcolo numerico 1D tipo shake utilizzando gli accelerogrammi e le curve di decadimento contenute nella banca dati regionale

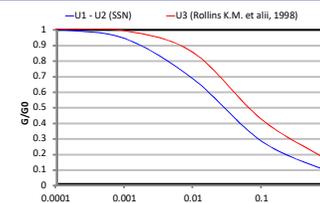
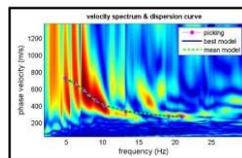
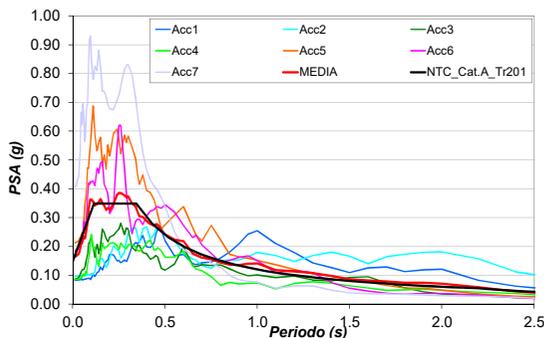
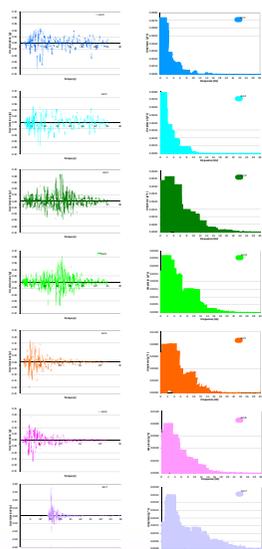


Spettri di risposta di target

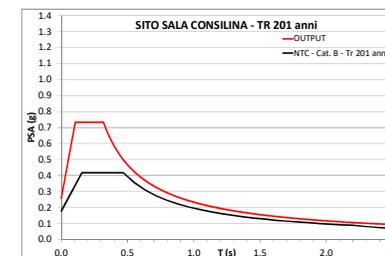
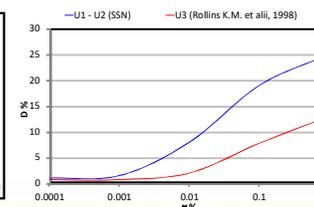
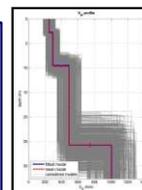
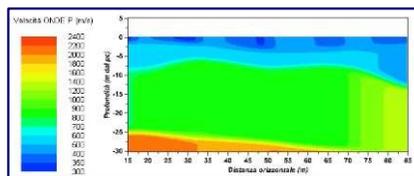
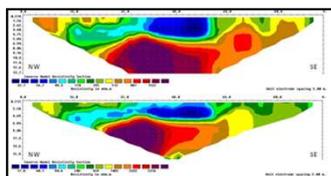
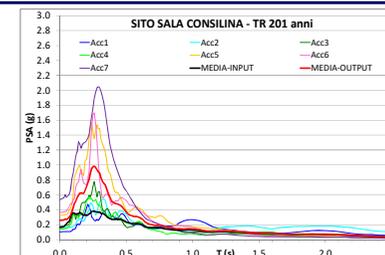


APPROFONDIMENTI RELATIVI AGLI ASPETTI SISMICI FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE

<p>3° GRADO DI APPROFONDIMENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ Non applicabilità dell'analisi di II° livello <p>Oppure nel caso</p> <ul style="list-style-type: none"> □ FA Calcolato \leq FA Soglia* <p>e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al VS30 misurato</p>
<p>Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
<p>Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
<p>Risultati al 3° grado di approfondimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione <p style="text-align: right;">Fine approfondimento</p>



UNITA'	Litologia	S (m)	γ (kN/m ³)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ν	G (MPa)
U1	Deposito colluviale	3	18	450	240	0.30	105
U2	Deposito detritico-colluviale	7	19	550	300	0.29	174
U3	Deposito detritico	16	20	900	500	0.28	509
U4	Substrato roccioso	-	24	2000	1000	0.33	2446



RISPOSTA SISMICA LOCALE: NTC

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, V_S . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S 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.



RISPOSTA SISMICA LOCALE

DATI E STRUMENTI NECESSARI:

1. Moto sismico di riferimento (input sismico)
2. Sismo-stratigrafia del sottosuolo
3. Proprietà meccaniche dei materiali
4. Codici di calcolo
5. Risultati
 - spettri di risposta in accelerazione al 5% dello smorzamento critico



MOTO SISMICO DI RIFERIMENTO

SELEZIONE AUTOMATICA (REXELite Itaca - Rexel – Seism Home Reluis – InSpector DPC)

SELEZIONE MANUALE

Identificazione spettro di target

Selezione da banca dati accelerometrica in base ai criteri:

- Valore di massima accelerazione orizzontale attesa
- Registrazione su roccia o sottosuolo categoria A
- Coppia magnitudo-distanza
- Meccanismo della sorgente
- **Compatibilità della media con lo spettro di risposta di target derivato da NTC 2018 (3.2.3.6)**

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite.



SISMO-STRATIGRAFIA E PROPRIETA' MECCANICHE DEL SOTTOSUOLO

- Modello geologico s.l.
- Costruzione delle colonne 1D o sezioni 2D da modellare
- Reperimento dei parametri geotecnici e geofisici necessari per la modellazione (velocità onde S , velocità onde P , modulo di taglio, coefficiente di Poisson, rapporto di smorzamento, densità, curve di decadimento)



MODELLAZIONE NUMERICA

Scelta dei programmi di calcolo (monodimensionali, bidimensionali, ecc.) in funzione della situazione geologica da analizzare:

- Solo effetti litostratigrafici: modelli 1D
- Anche effetti geometria sepolta: modelli 2D
- Effetti topografici: modelli 2D



TIPO DI DISCRETIZZAZIONE

Modello a strati continui

Modello a masse concentrate

$u(z,t) =$ spostamento orizzontale

$\rho =$ densità

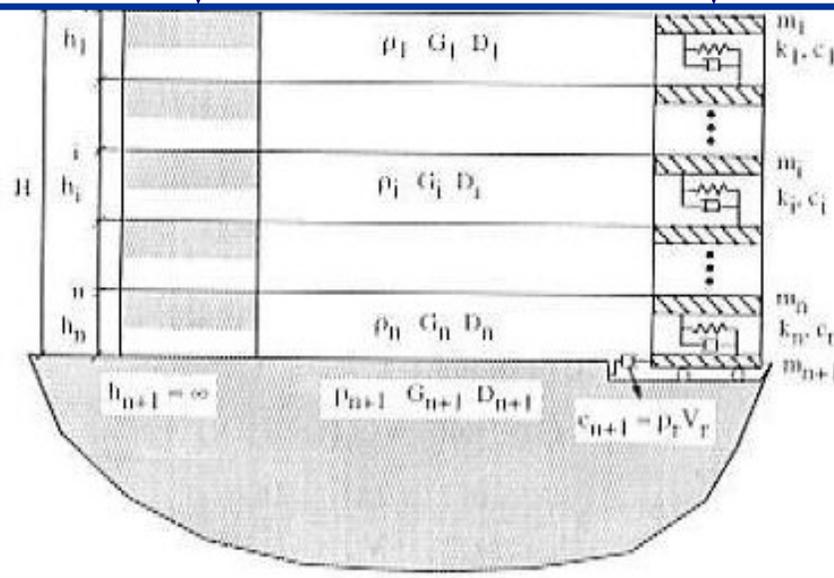
$\eta =$ coefficiente di viscosità

$G =$ modulo di taglio

$z =$ coordinata locale ($0 \leq z \leq h$)

$h =$ spessore

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z}$$



$u(z,t) =$ spostamento orizzontale

Matrici: M, C, K

$\rho =$ densità

$h =$ spessore

$\eta =$ coefficiente di viscosità

$G =$ modulo di taglio

$$[M]\{\ddot{\mathbf{u}}\} + [C]\{\dot{\mathbf{u}}\} + [K]\{\mathbf{u}\} = -[M]\{\mathbf{I}\}\ddot{u}_g$$

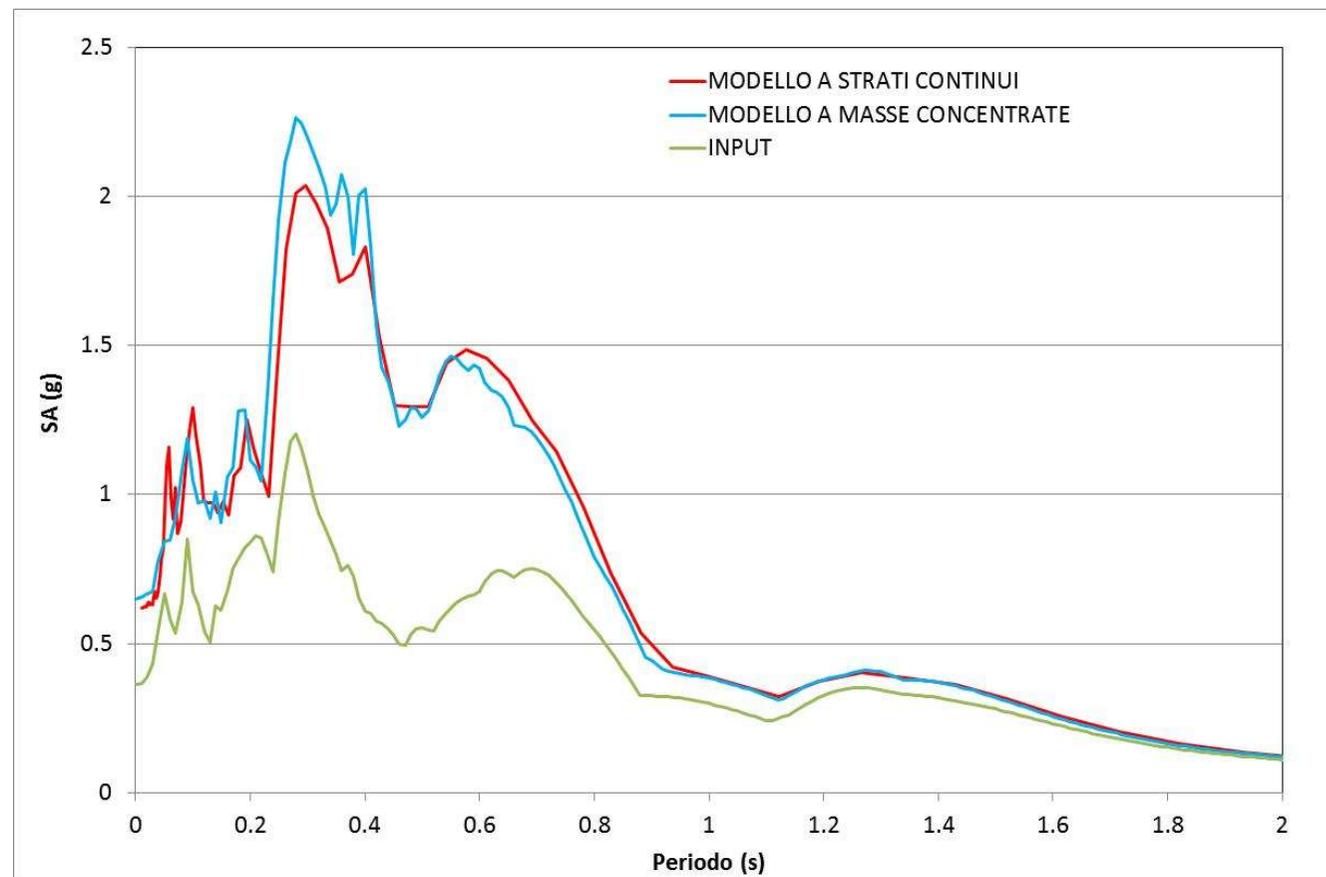
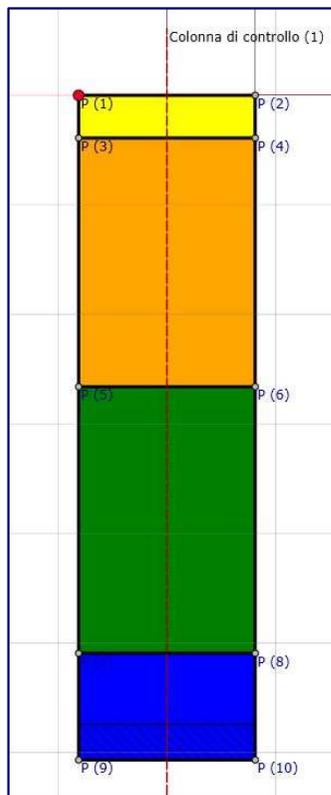
Soluzione nel dominio della frequenza per ciascun strato i dell'equazione differenziale di equilibrio dinamico della propagazione verticale delle onde di taglio

Soluzione nel dominio del tempo per ciascuna massa m_i dell'equazione dinamica del moto; massa concentrata in corrispondenza dei nodi degli elementi



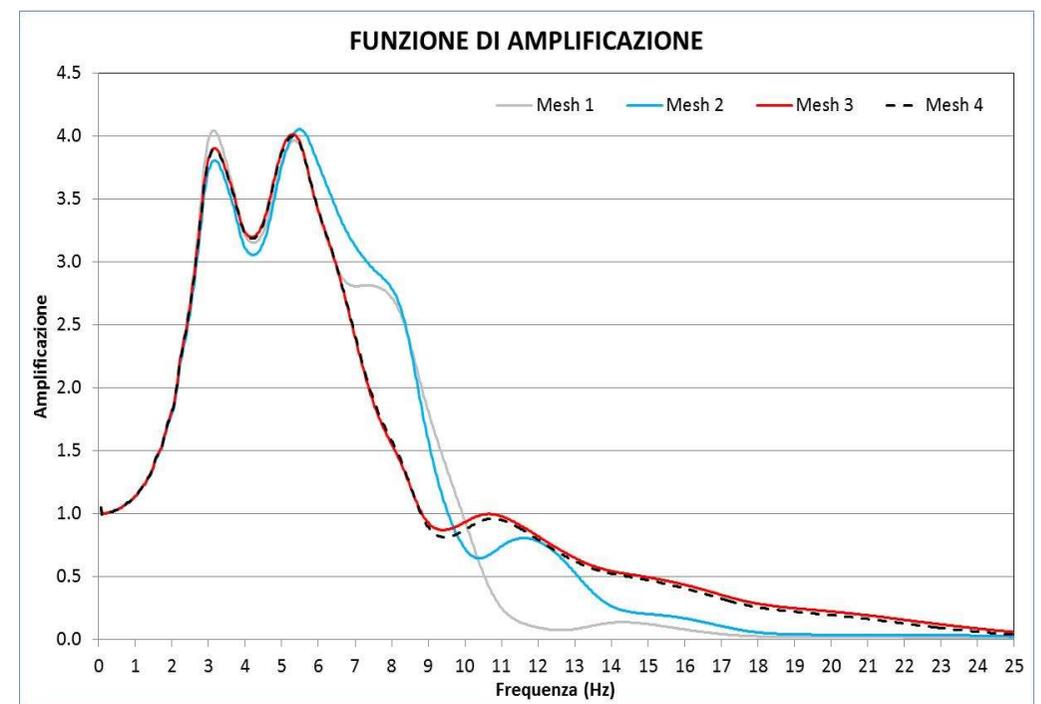
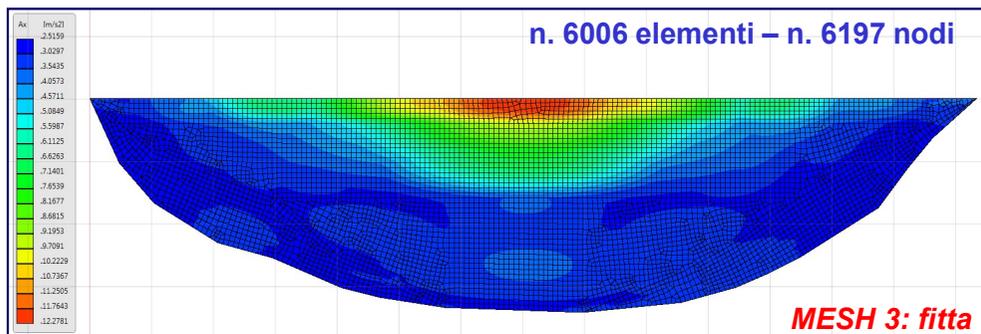
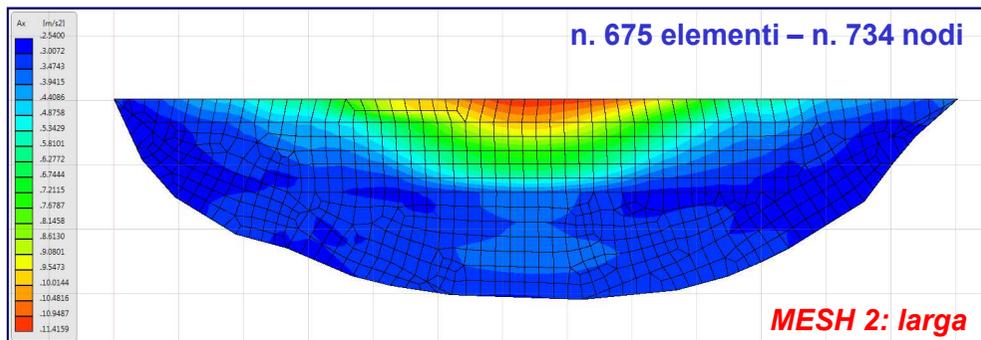
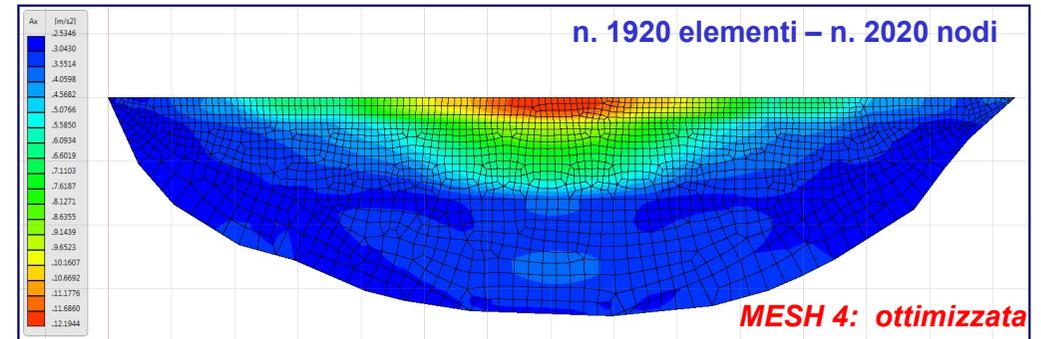
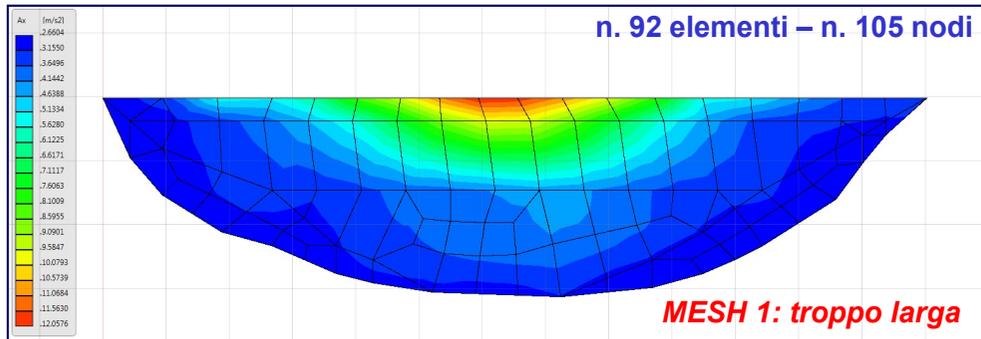
TIPO DI DISCRETIZZAZIONE DEL MEZZO

	Strato	Spessore [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	Ni	Modello geotecnico	Colore
1	SM1	2.40	1530.00	180.00	0.41	Esercizio-Voceto	
2	SM2	14.00	1630.00	320.00	0.41	Esercizio-Voceto	
3	SM3	15.00	1940.00	600.00	0.36	Esercizio-Voceto	
4	SFALS1	6.00	2040.00	700.00	0.37	Esercizio-Voceto	

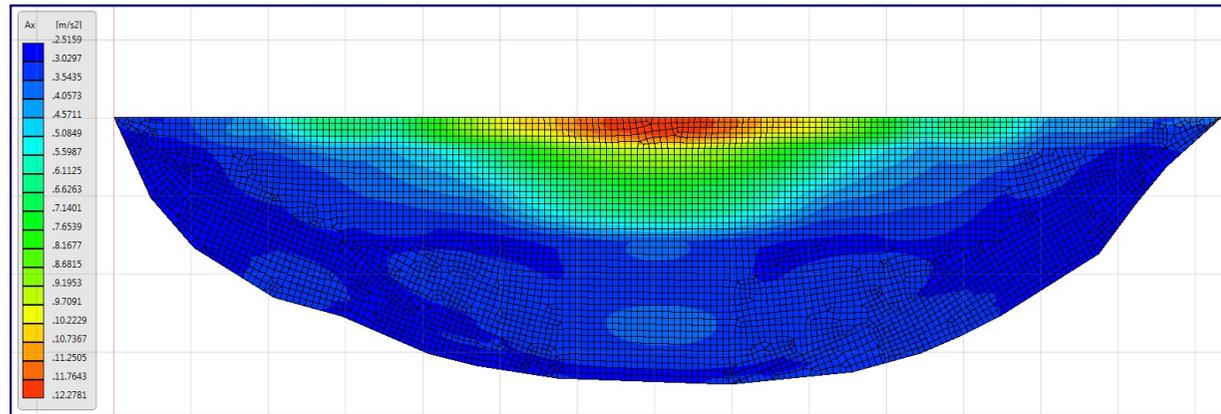


DIMENSIONE DEGLI ELEMENTI

INFLUENZA MESH DI DISCRETIZZAZIONE

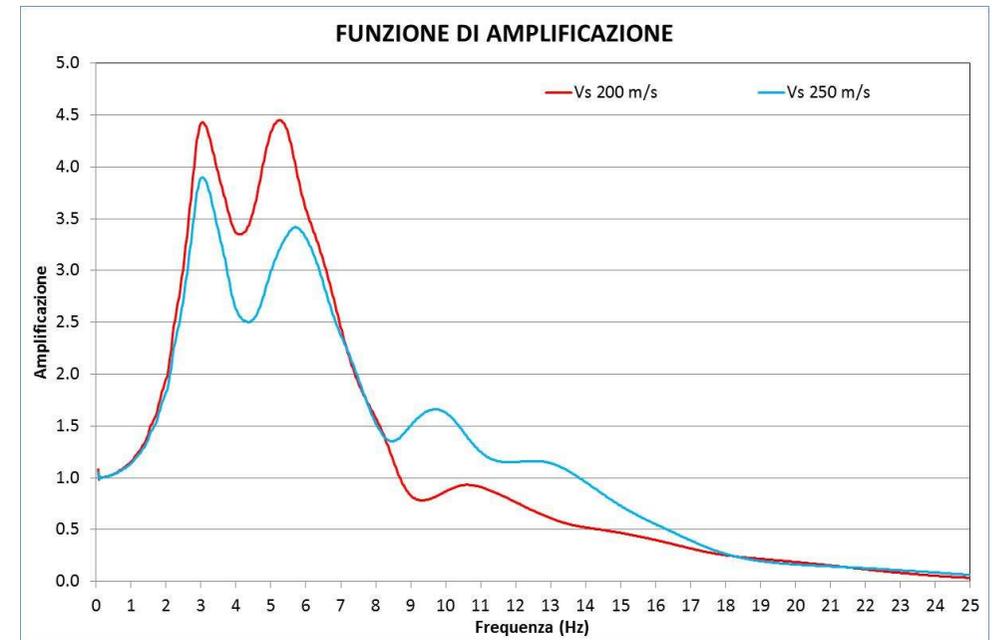
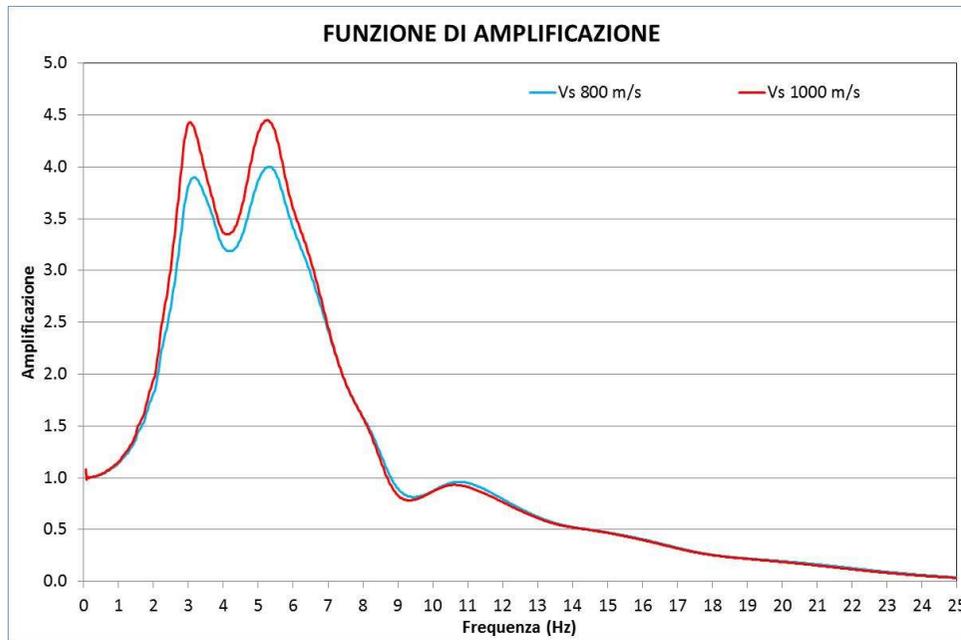


VALORI DI V_s

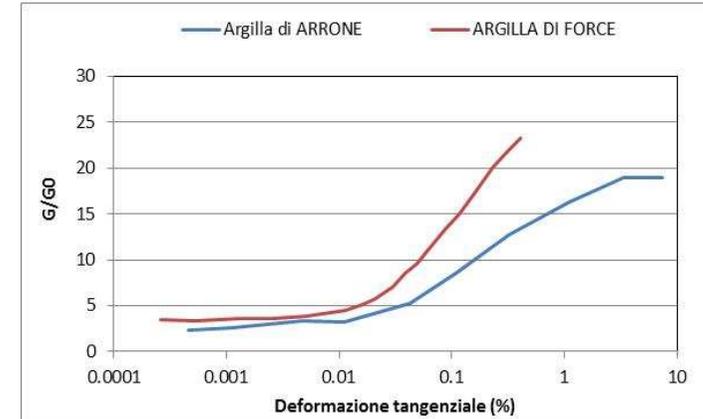
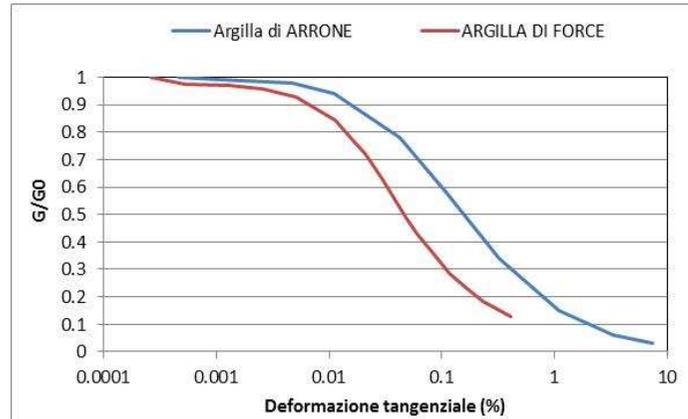
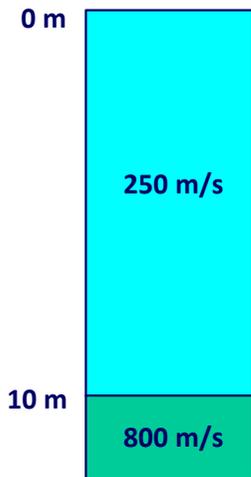


BEDROCK

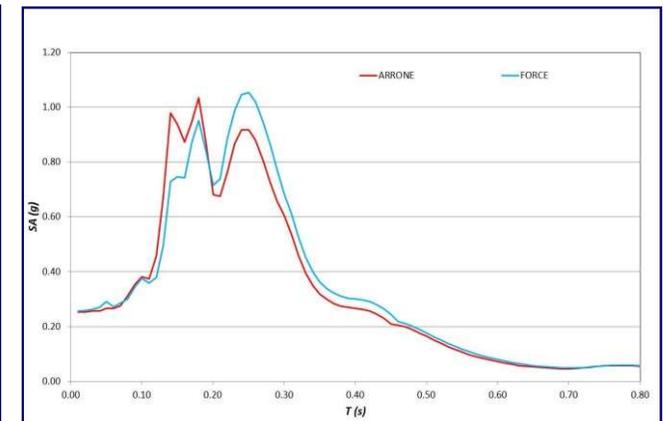
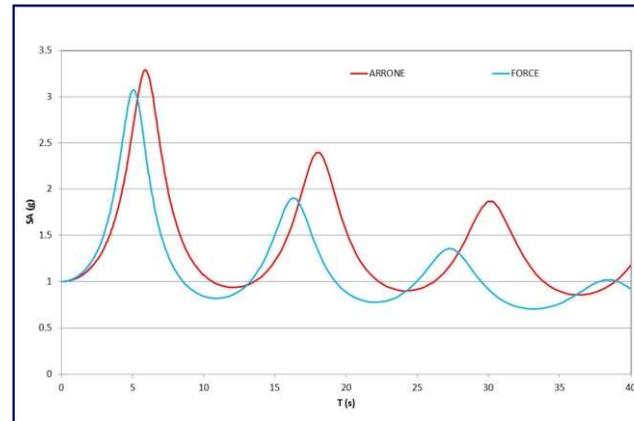
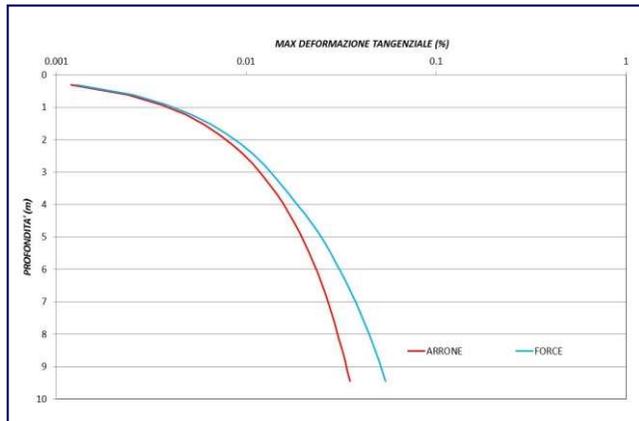
STRATO SUPERFICIALE



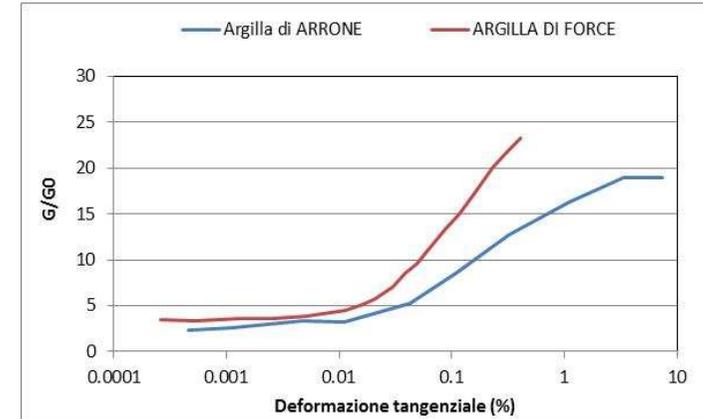
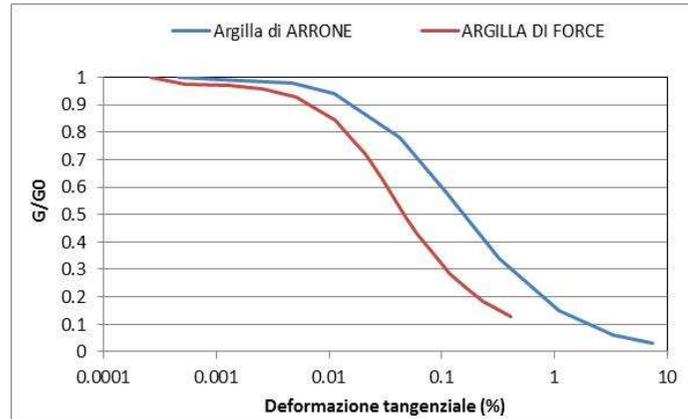
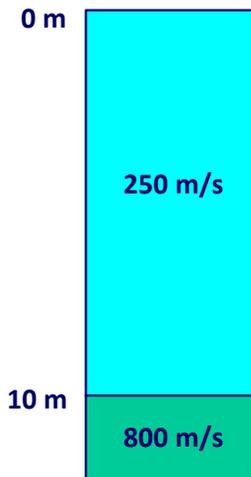
CURVE DECADIMENTO



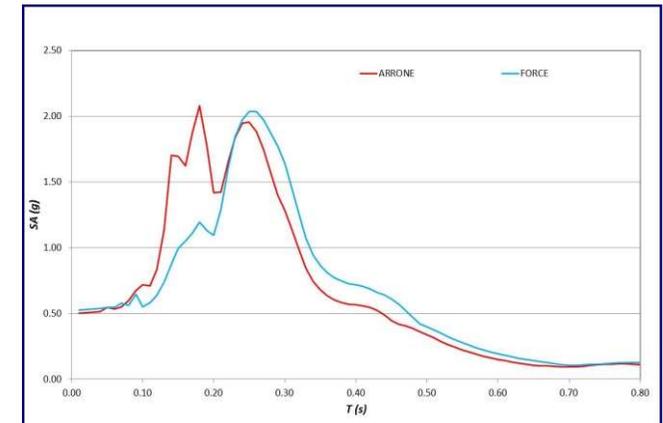
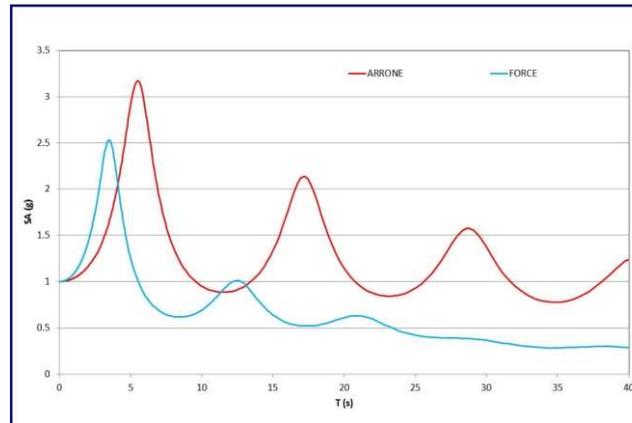
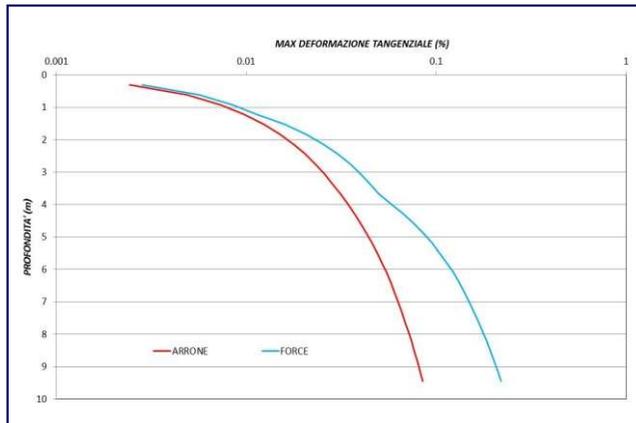
INPUT: ACCELEROGRAMMA con Pga 0.14 g – SLV edificio residenziale - Brescia



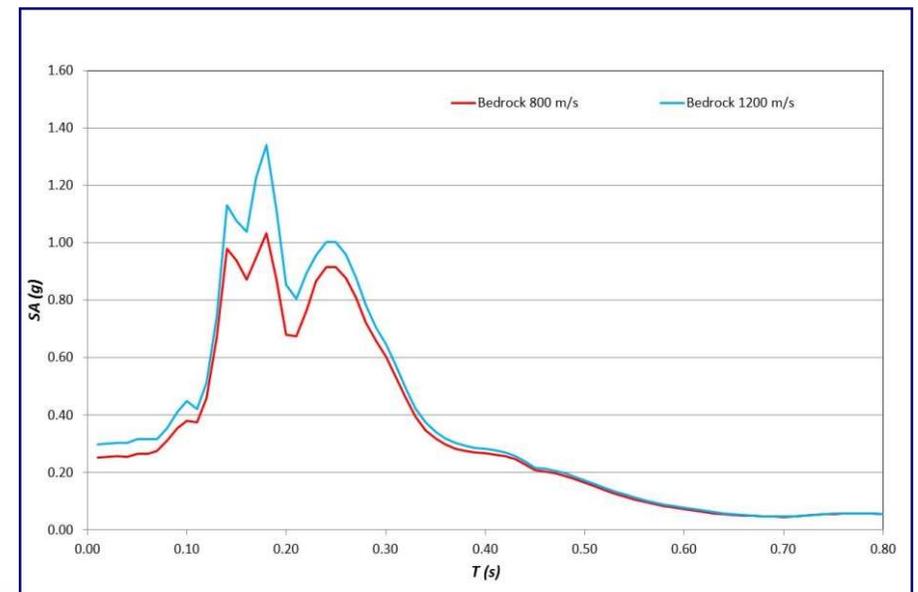
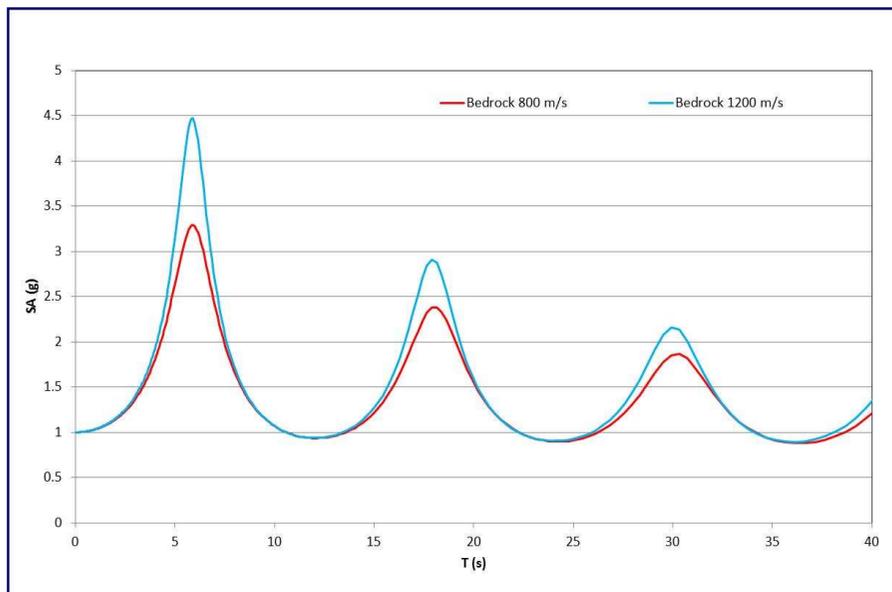
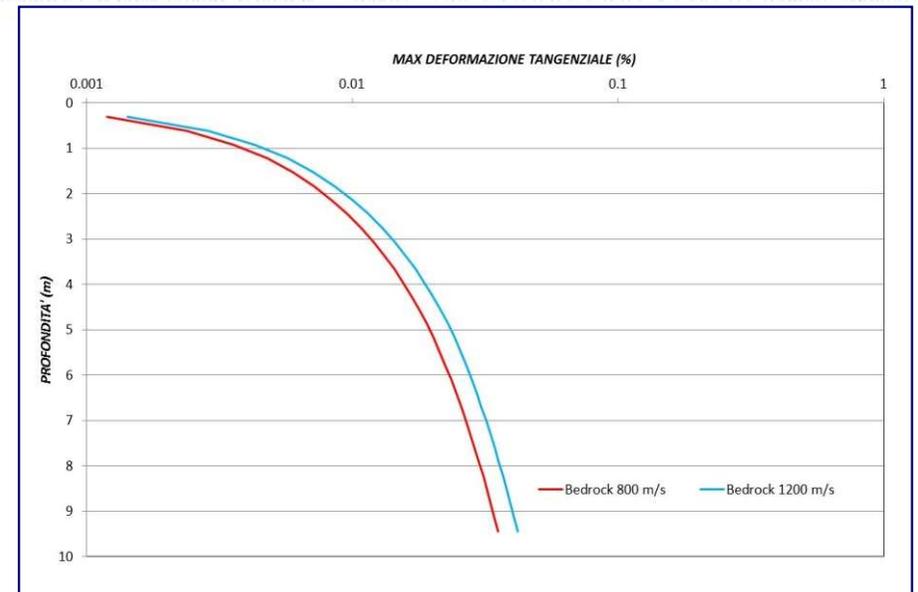
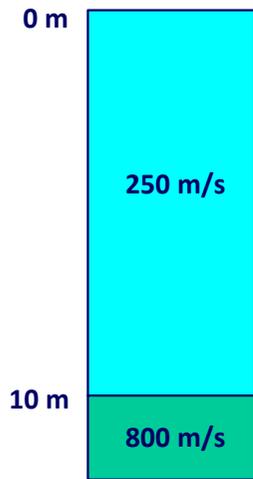
CURVE DECADIMENTO



INPUT: ACCELEROGRAMMA con Pga 0.28 g – SLC edificio strategico - Brescia

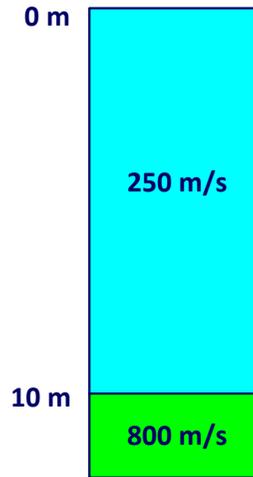


CONTRASTO SUBSTRATO RIGIDO

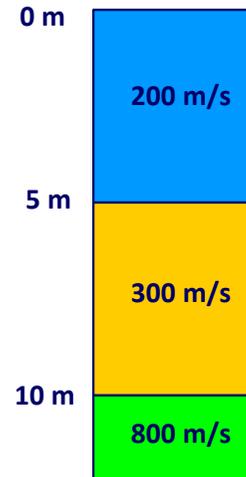


PRESENZA INTERFACCE INTERNE

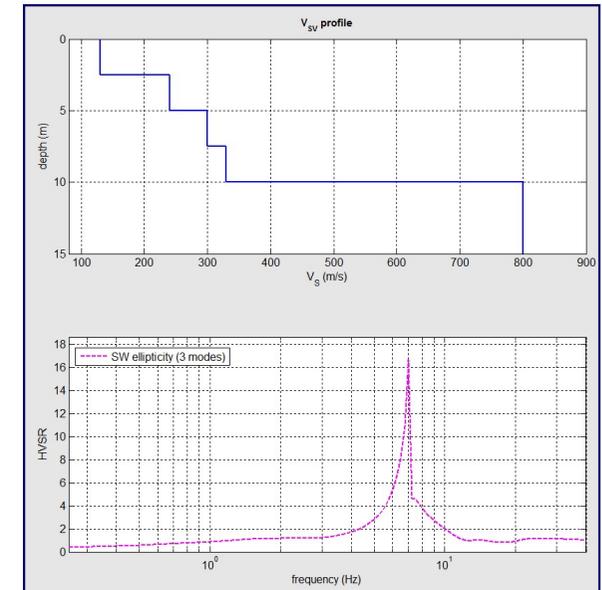
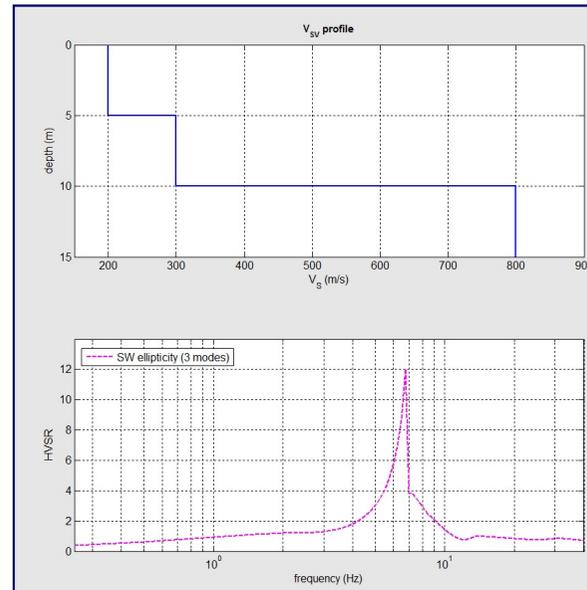
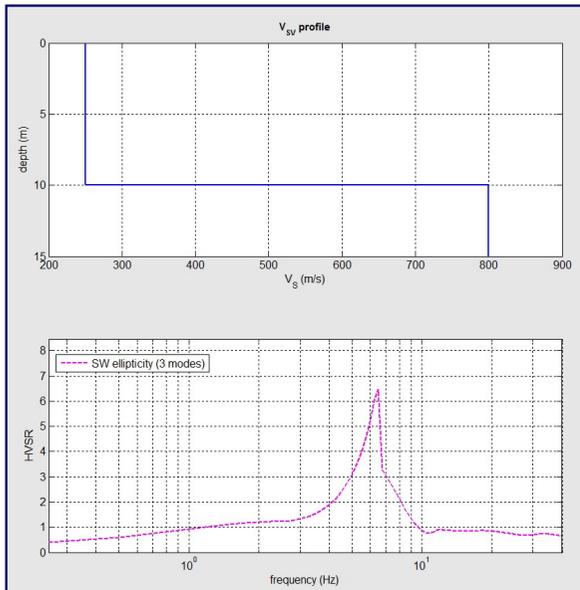
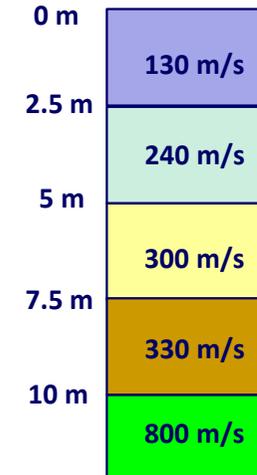
SEQUENZA 1



SEQUENZA 2

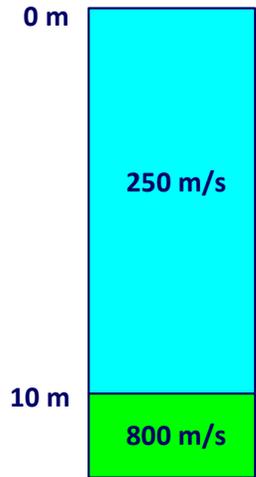


SEQUENZA 3

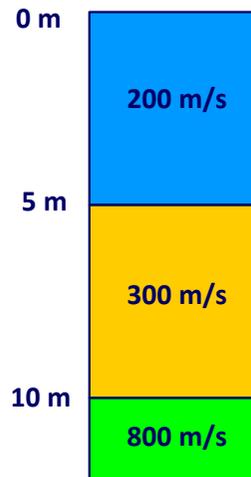


PRESENZA INTERFACCE INTERNE

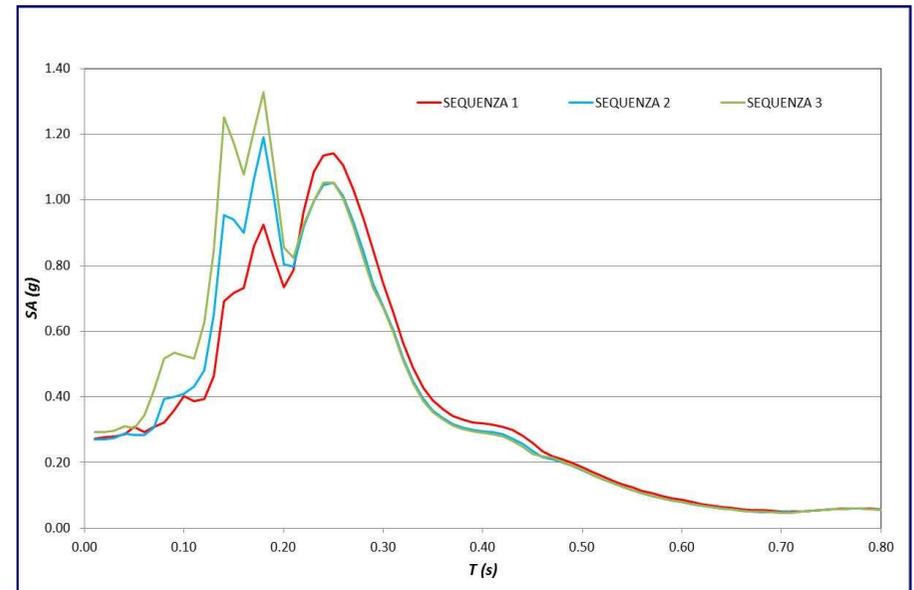
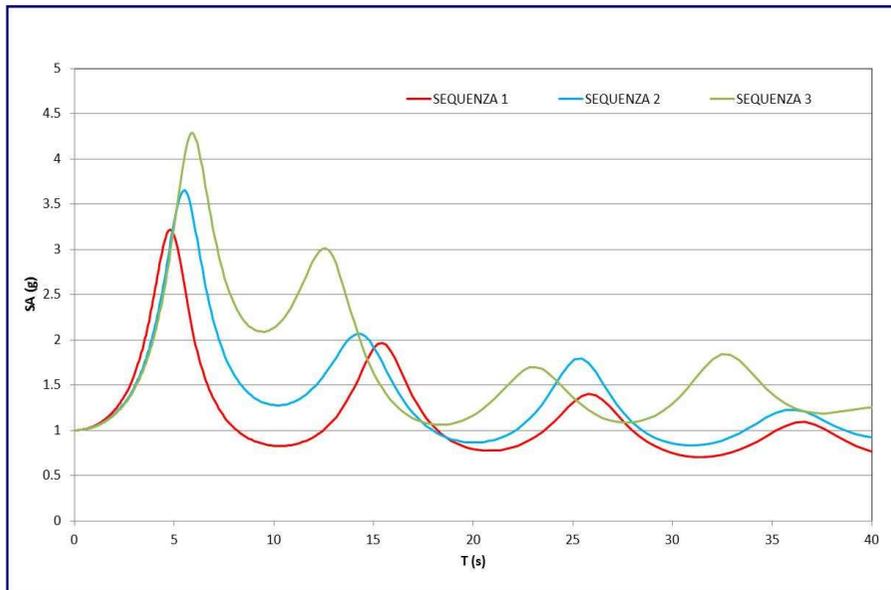
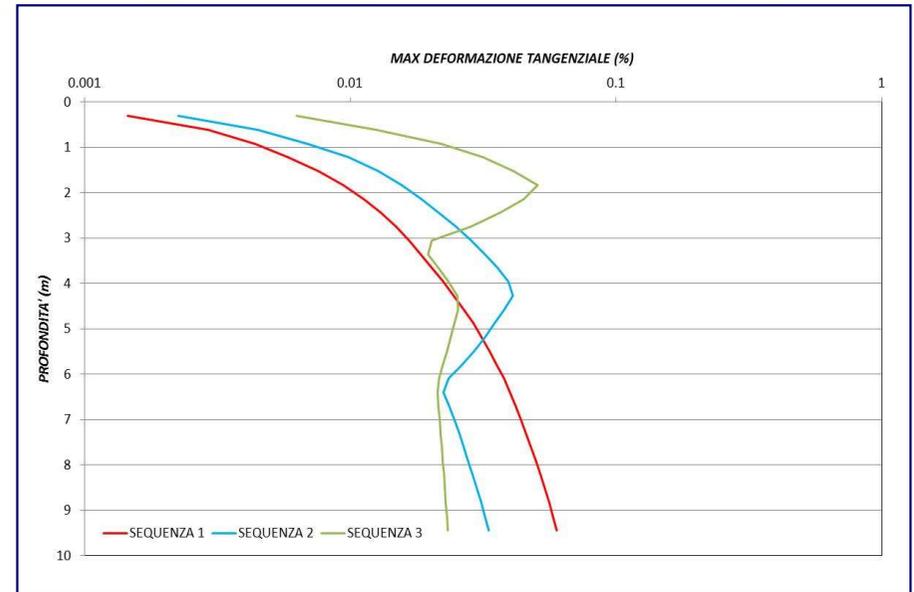
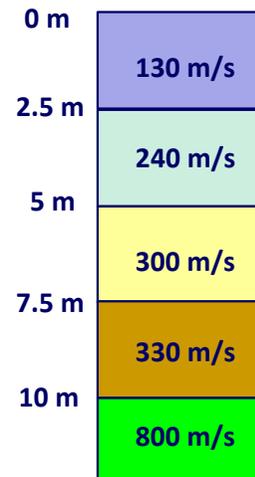
SEQUENZA 1



SEQUENZA 2

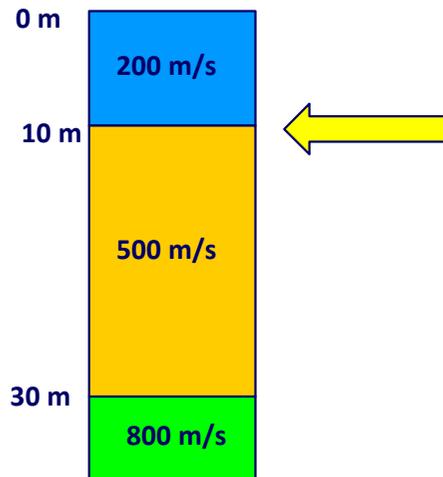


SEQUENZA 3

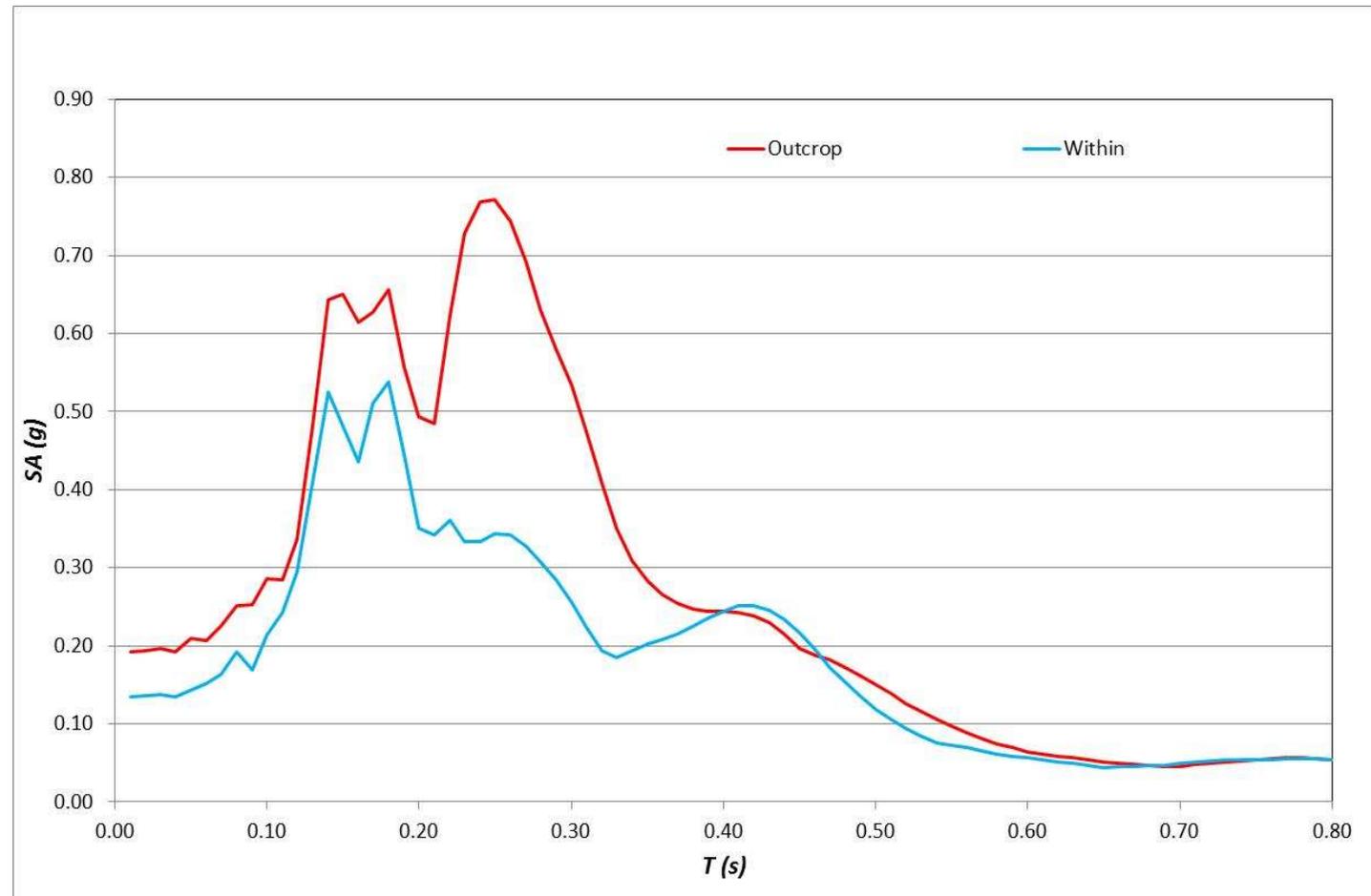


POSIZIONE DI CALCOLO DEI RISULTATI

INTERFACCIA INTERNA



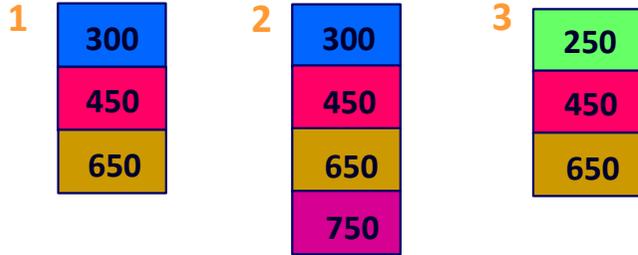
SUPERFICIE LIBERA



EFFETTI DI GEOMETRIE SEPOLTE - VALLE

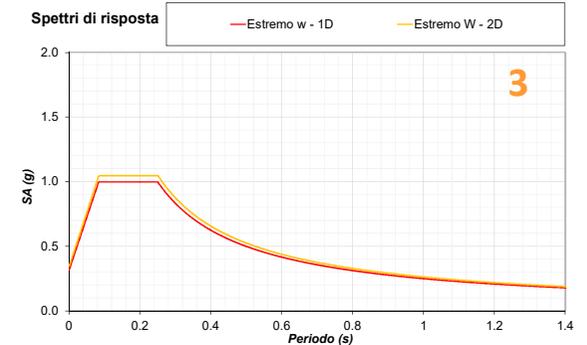
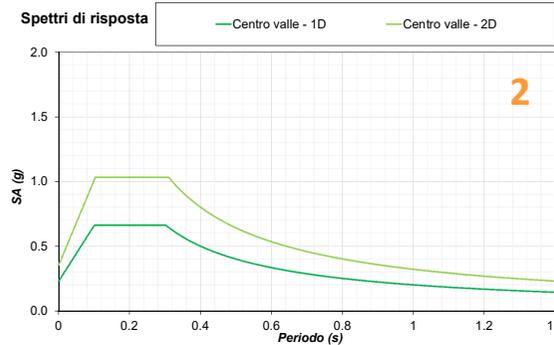
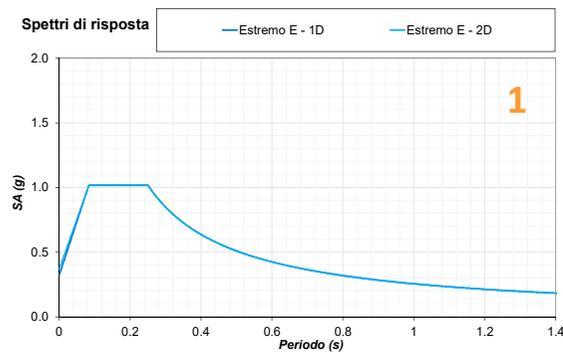
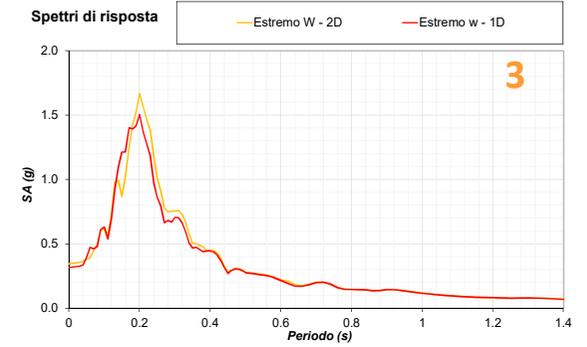
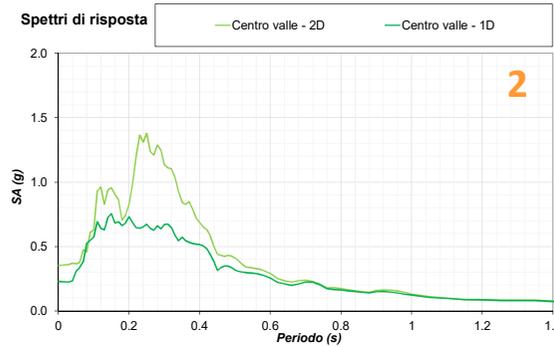
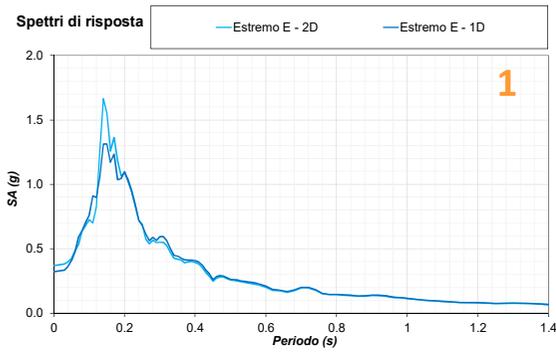
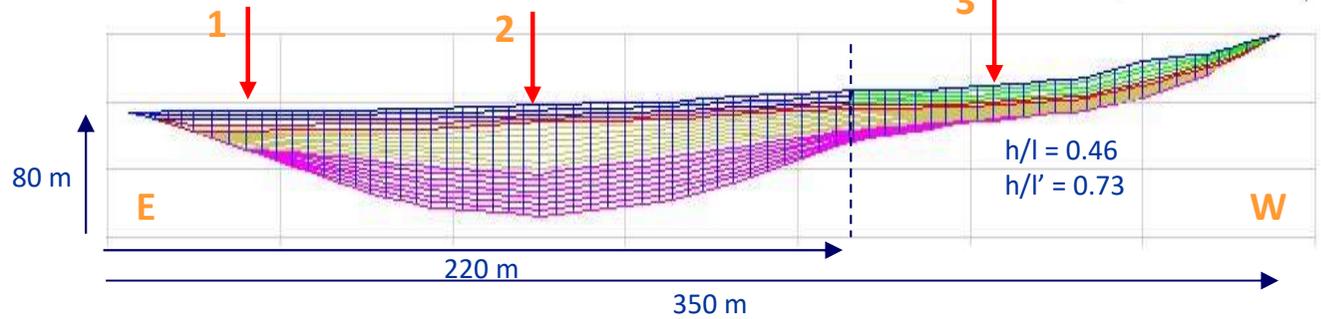
V_s bedrock = 1200 m/s
 V_s media copertura = 600 m/s

MODELLI 1D



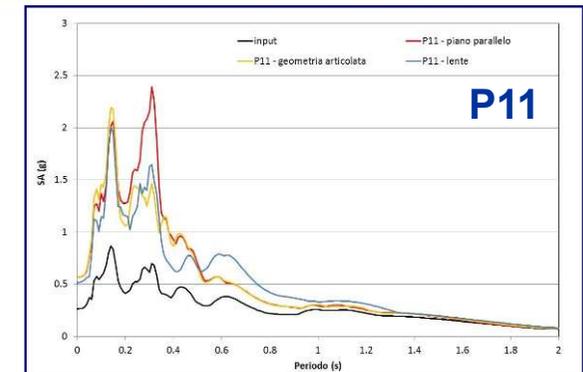
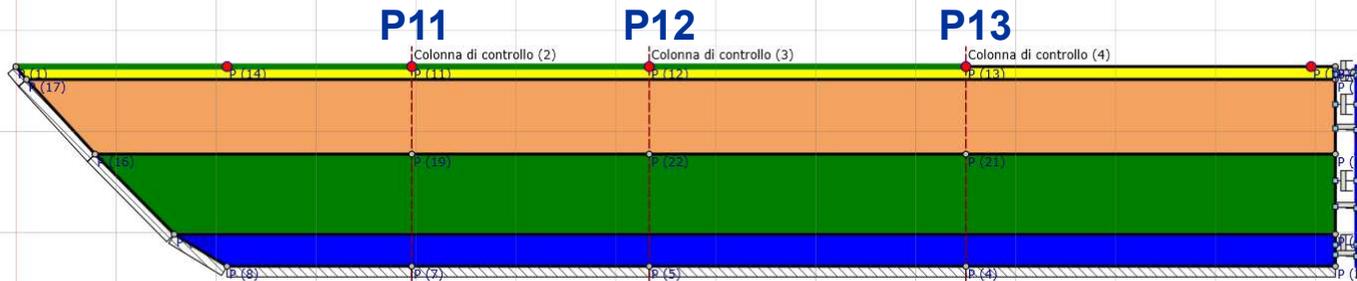
MODELLO 2D

$$\frac{h}{l} \leq 0.65 / \sqrt{C_v - 1}$$

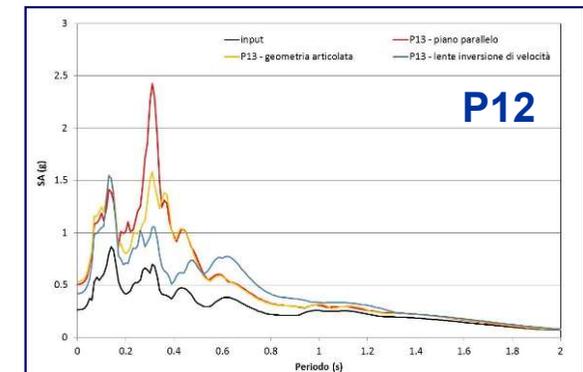
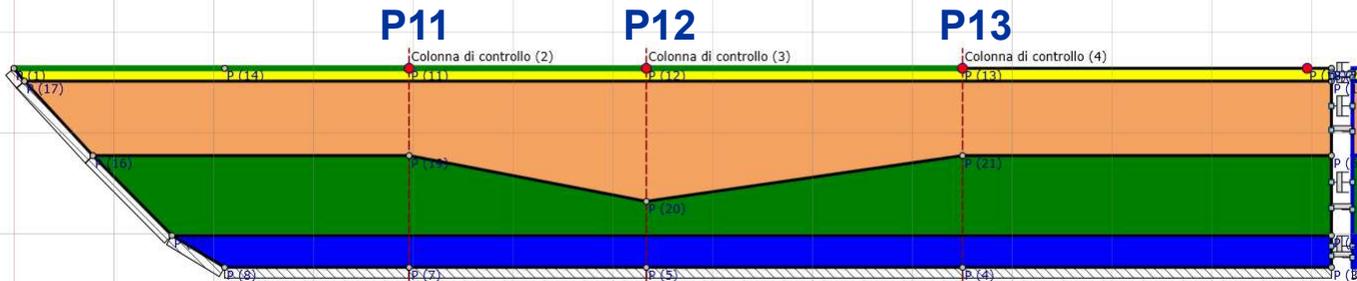


EFFETTI DI GEOMETRIE SEPOLTE – CHIUSURA LATERALE

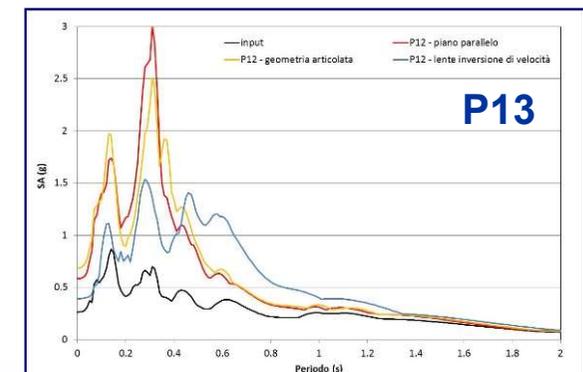
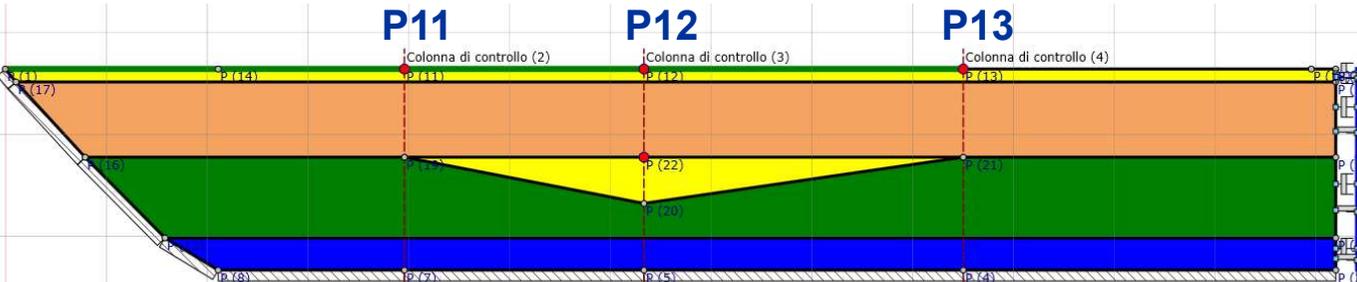
Interfacce con andamento piano parallelo



Interfaccia con andamento irregolare



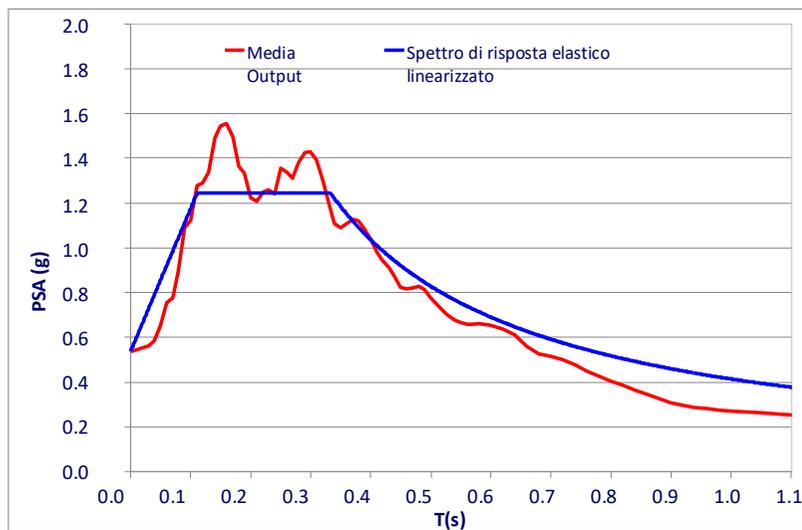
Lente con inversione di velocità



RISULTATI

- Accelerogrammi in superficie
- Spettri di Fourier e funzioni di trasferimento in superficie
- Fattori di amplificazione
- Spettri di risposta elastici in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico medio ottenuto dalle analisi numeriche può essere **REGOLARIZZATO** mediante la procedura, indicata negli ICMS, che porta ad individuare uno spettro in superficie con forma standard costituita da un ramo ad accelerazione crescente lineare, un ramo ad accelerazione costante, un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T$ e quindi ha velocità costante ed un ramo in cui l'accelerazione decresce con $1/T^2$ e quindi ha spostamento costante.



$$SA_{m,o} = \frac{1}{TA_o} \int_{0.5TA_o}^{1.5TA_o} SA_o(T) dT$$

$$T_B = 1/3 * T_C$$

$$SV_o(T) = SA_o(T) * T / 2\pi$$

$$T_C = 2\pi \quad SV_{m,o} / SA_{m,o}$$

$$SV_{m,o} = \frac{1}{0.4TV_o} \int_{0.8TV_o}^{1.2TV_o} SV_o(T) dT$$

$$T_D = 4a_g + 1.6$$

