

CASADIO & CO.
Di Casadio Mario

Via V.Veneto 1/bis – 47100 FORLÌ'
Tel: 0543 23923 – Email: studio@casadioeco.it
P.I. 04263320402



APPROFONDIMENTO SISMICO DI TERZO LIVELLO

Committente: Comune di Castel Maggiore

DATA: 14/12/2016

**REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA CASERMA
DELL'ARMA DEI CARABINIERI - SEDE PM – SEDE
COC- UBICATI IN VIA NERUDA
A CASTEL MAGGIORE**

Il geologo
MARIO CASADIO

PREMESSA

La presente relazione è volta a valutare un approfondimento della risposta sismica locale di terzo livello di un'area sulla quale dovrà essere realizzata una nuova caserma dell'arma dei carabinieri - sede pm – sede coc- ubicati siti in Via Neruda a Castel Maggiore.

Geograficamente l'area è inserita nel foglio n. 221.010 della carta tecnica regionale.

Lo studio è finalizzato alla ricerca dei parametri che consentono la classificazione sismica del terreno, a tale scopo sono state programmate le seguenti indagini:

- Esecuzione di n. 4 prove penetrometriche statiche
- Rilievo sismico
- Stendimento sismico
- Ricerca bibliografica

Alla presente relazione sono allegati:

- planimetria area d'intervento con ubicazione prove a scala 1:500
- grafici penetrometrici statici
- stratigrafia pozzo 221010
- n. 2 sezioni geologiche a scala 1:200

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento oggetto di questa relazione consiste nella realizzazione di una nuova sede dell'arma dei carabinieri. Il fabbricato verrà realizzato in Via Neruda a Castel Maggiore come indicato nella fotografia aerea sottostante.



Il nuovo edificio avrà forma planimetrica irregolare, sarà costituito da due piani fuori terra e avrà lati massimi di 40,0 m di lunghezza per 25,0 m di larghezza.

La fondazione dell'edificio sarà a platea conforme alla normativa sismica vigente.

MORFOLOGIA E GEOLOGIA DEL TERRITORIO

La zona qui studiata è posta a circa 27 m s.l.m., morfologicamente si presenta pianeggiante e delimitata a sud dalla Via Neruda, a est dalla Via Ungaretti e sugli altri lati da confini di proprietà.

Geologicamente l'area è formata da depositi denominati AES8 che sono costituiti da depositi di rottura arginale prevalentemente coerenti appartenenti al Pleistocene superiore – Olocene.

La stratigrafia superficiale del terreno ricavata dalle prove penetrometriche eseguite è così schematizzabile:

Prova 1

Prof. Strato (m)	Descrizione
1.80	Terreno vegetale e di riporto
3.20	Argilla compatta
20.00	Argille sabbiose e limose

Prova 2

Prof. Strato (m)	Descrizione
10.80	Terreno vegetale e di riporto
5.00	Argille compatte
20.00	Argille sabbiose e limose

Prova 3

Prof. Strato (m)	Descrizione
1.80	Terreno vegetale e di riporto
4.20	Argille compatte
19.60	Argille sabbiose e limose
30.00	Sabbie

Prova 4

Prof. Strato (m)	Descrizione
1.80	Terreno vegetale e di riporto
3.20	Argille compatte
18.00	Argille sabbiose e limose
20.00	Sabbie

La falda è stata trovata nei fori di prova alle seguenti profondità dal piano campagna attuale:

Prova	Profondità
1	2.15
2	2.20
3	2.10
4	1.85

Qui di seguito la carta geologica dell'area a scala 10.000.



LEGENDA:



terreni alluvionali di pianura prevalentemente argilloso limoso



terreni alluvionali di pianura prevalentemente sabbiosi



Area di studio

INDAGINE SISMICA – HVSR

Prova HVSR

All'interno dell'area di studio è stato condotto il rilievo dei microtremori con il tromografo digitale "Tromino", per verificare le caratteristiche sismiche e stratigrafiche del terreno.

Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre.

I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole (accelerazioni dell'ordine di 10^{-15} m/s²), che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri.

Questi fenomeni sono tali per cui un'onda che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità interferisce con le onde incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente λ è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza):

Relativamente alle onde S:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4h}$$

f_r rappresenta la frequenza fondamentale dello strato, ossia la frequenza cui corrispondono le maggiori accelerazioni sismiche.

Utilizzando la formula sopra esposta si evince che conoscendo la profondità di una discontinuità (trovata nelle prove penetrometriche) e la frequenza fondamentale del terreno in superficie (fornita dal tromografo) è possibile risalire alla velocità delle onde S del terreno.

Una volta ricavato il valore di V_s , è possibile ricostruire la stratigrafia dell'area e l'andamento delle discontinuità, se presenti.

La tecnica HVSR consiste nella valutazione dei rapporti spettrali tra le componenti orizzontali e verticali del moto ed è in grado di fornire in buona approssimazione il contenuto in frequenza del segnale dei microtremori.

Prova ReMi

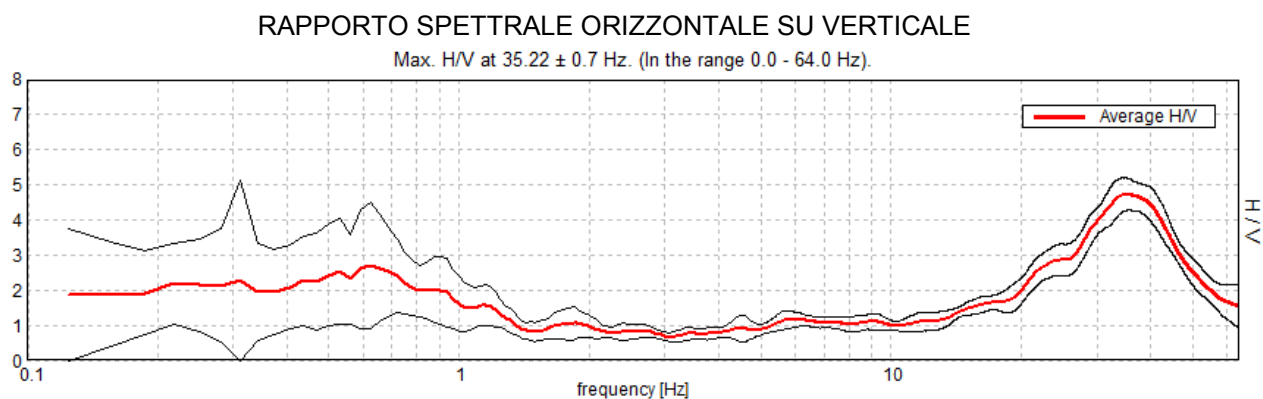
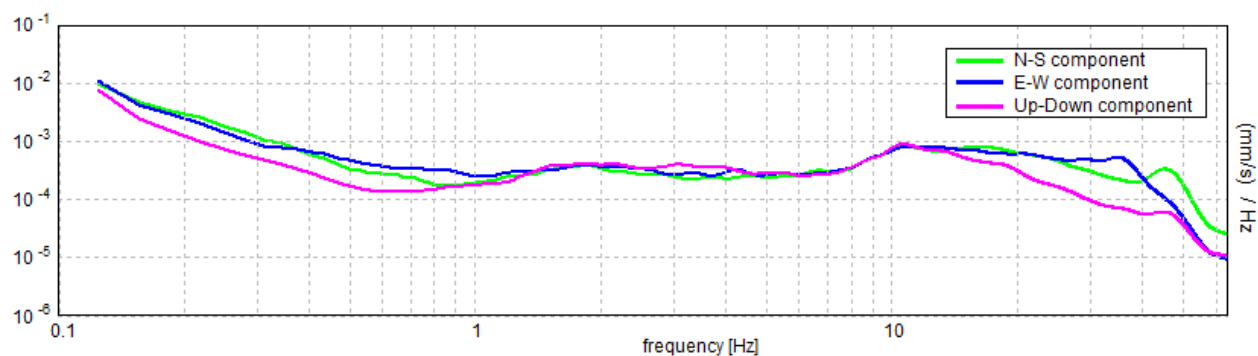
L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-30s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

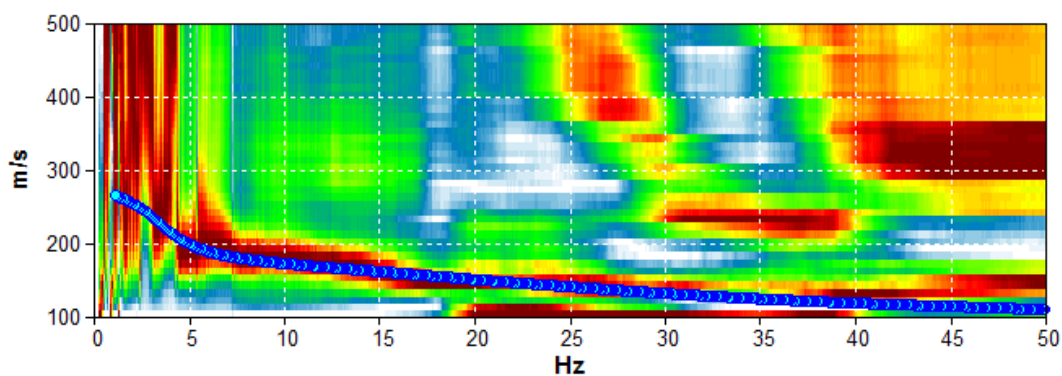
L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

A questo punto l'operatore, in maniera arbitraria ed in base all'esperienza, esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.



Spettro H/V**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

La linea rossa corrisponde al rapporto spettrale H/V misurato, mentre quella blu è stata calcolata tramite una procedura matematica di inversione di un profilo stratigrafico mostrato in seguito.

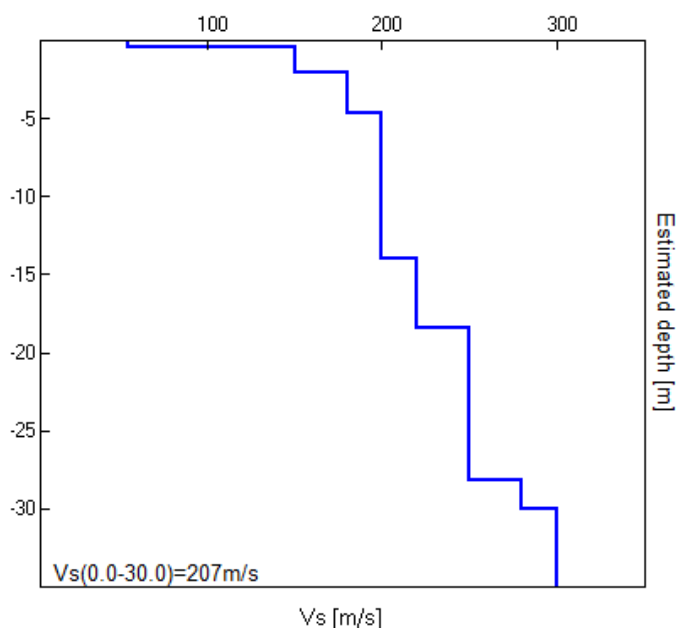
Prova ReMi

Dalla prova ReMi si vedono orizzonti ad alte velocità che corrispondono ai moti superiori, ed un orizzonte a velocità più basse, che rappresenta la velocità reale delle onde S nel terreno.

La stratigrafia sismica dell'area, che produce lo spettro sintetico nell'elaborazione monodimensionale (spettro H/V) e i punti azzurri nel grafico spettrale della prova in array è qui di seguito mostrata.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.40	0.40	55	0.35
2.00	1.60	150	0.35
4.60	2.60	180	0.35
14.00	9.40	200	0.35
18.40	4.40	220	0.35
28.20	9.80	250	0.35
30.00	1.80	280	0.35
inf.	inf.	300	0.35

$V_s(0.0-30.0)=207\text{m/s}$



ELEMENTI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

L'attuale normativa in materia sismica impone un approccio più attento relativamente alle azioni indotte da eventi sismici di particolare entità, agenti sulla struttura degli edifici.

Le varie tipologie di sottosuolo sono discriminate sulla base delle velocità di propagazione delle onde S e sono state raggruppate in 5 + 2 categorie.

Il valore indicativo di tali velocità è definito dalla media pesata su uno spessore di 30 m delle velocità misurate $v_{s,30}$. In alternativa si utilizzano dei parametri corrispondenti, meno significativi, rappresentati

dal valore della coesione non drenata c_u o del numero di colpi $NSPT$. Qui di seguito è mostrata la tabella di identificazione dei tipi di sottosuolo:

	<i>Descrizione del profilo stratigrafico</i>	V_{s30} (m/s)	$NSPT$	C_u (kPa)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> Caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800	-	-
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> Con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360 – 800	> 50	> 250
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (oppure resistenza penetrometrica $15 < N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $70 < c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (oppure resistenza penetrometrica $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	< 180	< 15	< 70
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C e D per spessore non superiore ai 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento con $V_{s30} > 800$ m/s			
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	< 100	-	10 – 20
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			

Dai risultati delle prove penetrometriche e del tomografo il terreno ricade in **classe C**.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

La normativa prevede le seguenti categorie topografiche

<i>Categoria</i>	<i>Caratteristiche della superficie topografica</i>
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

La Regione Emilia-Romagna, con specifiche norme (LR 20/2000 e delib. Regionale n.112/2007 successivamente aggiornata con la DGR 2193 del 2015) ha richiesto lo studio di microzonazione sismica locale con approfondimento al terzo livello, allo scopo di verificare la pericolosità sismica delle aree con interesse pubblico rilevante.

Il territorio regionale è stato suddiviso in varie aree a seconda della tipologia morfologica e stratigrafica. Il comune di CASTEL MAGGIORE è inserito in categoria II^a, mentre per quanto concerne le tabelle delle amplificazioni l'area appartiene alla categoria PIANURA 3 che definisce questo settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini o poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m dal p.c..

La tabella è qui di seguito riportata:

Fattori di Amplificazione P.G.A., SI1, SI2, SI3

Vs ₃₀ (m/s)	150	200	250	300	350	400
F.A. (PGA)	1.3	1.3	1.3			
F.A. SI1	1.5	1.5	1.5			
F.A. SI2	2.3	2.3	2.2			
F.A. SI3	2.6	2.6	2.4			

Oltre alle amplificazioni stratigrafiche sono considerate anche le amplificazioni dovute alla topografia che in questo caso essendo in pianura sono di categoria T1.

I parametri sismici forniti dalla normativa per il contesto morfologico pianura 3 sono:

Vs30	Contesto morfologico	F.A. PGA	F.A.S.I. (0,1s<To<0,5s)	F.A.S.I. (0,5s<To<1,0s)	F.A.S.I. (1,0s<To<1,5s)
250<Vs30<280	PIANURA 3	1,5	1,8	2,5	

MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO CON RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per tale verifica si è utilizzato un software della ditta GEOSTRU denominato RSL con il quale, una volta forniti tutti i dati inerenti le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni, eseguire in automatico tutte le verifiche con i tre sisma forniti dalla regione Emilia Romagna e calibrati alla accelerazione massima attesa.

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
- Stima della funzione di trasferimento;
- Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
- Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;
- Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
- Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

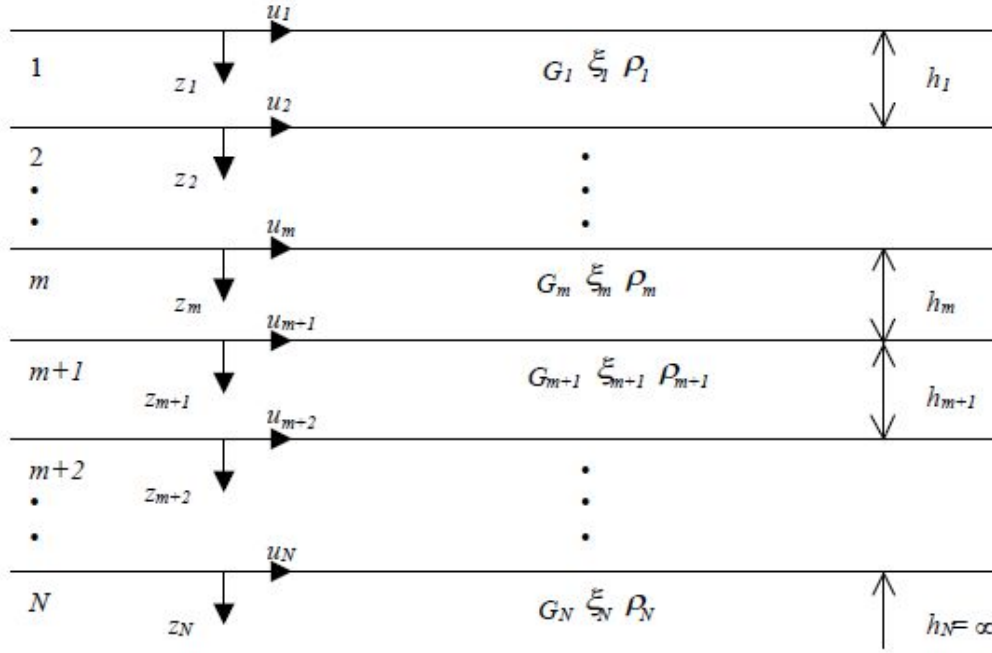


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

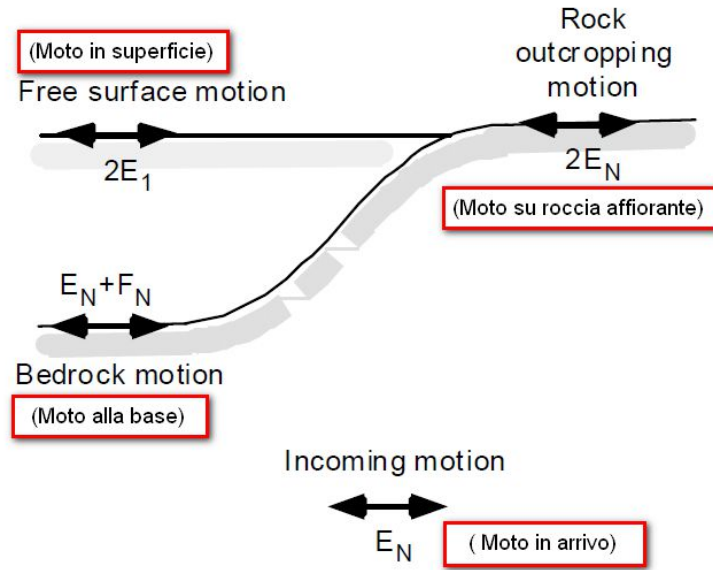


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

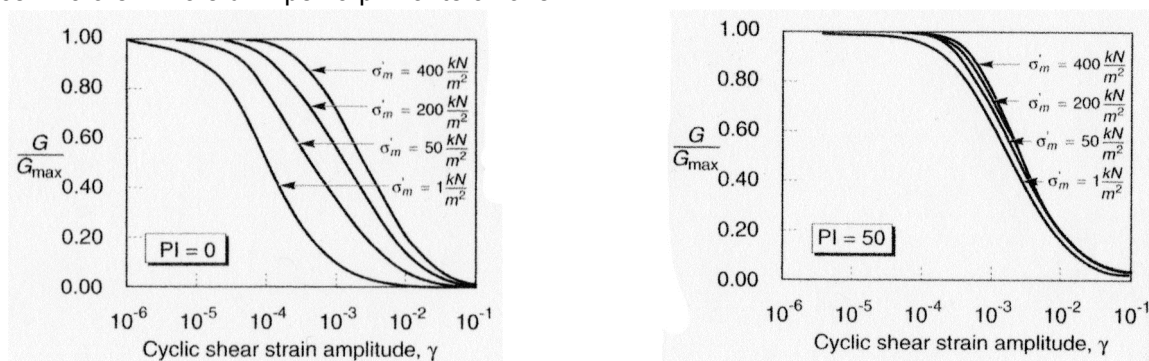


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

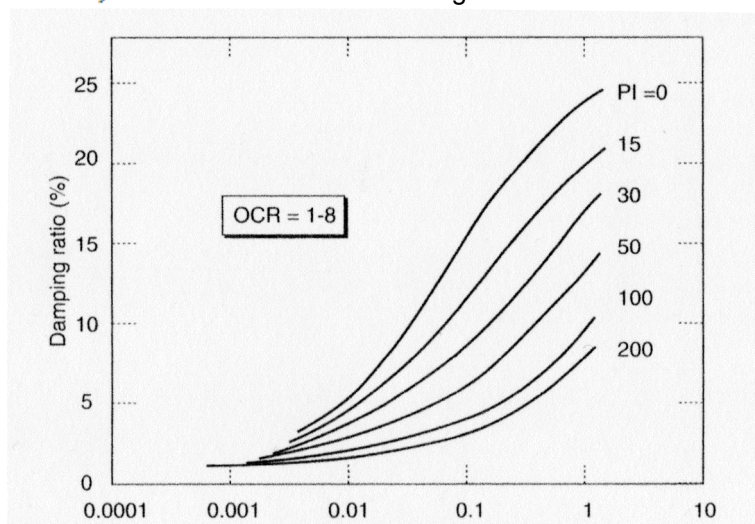


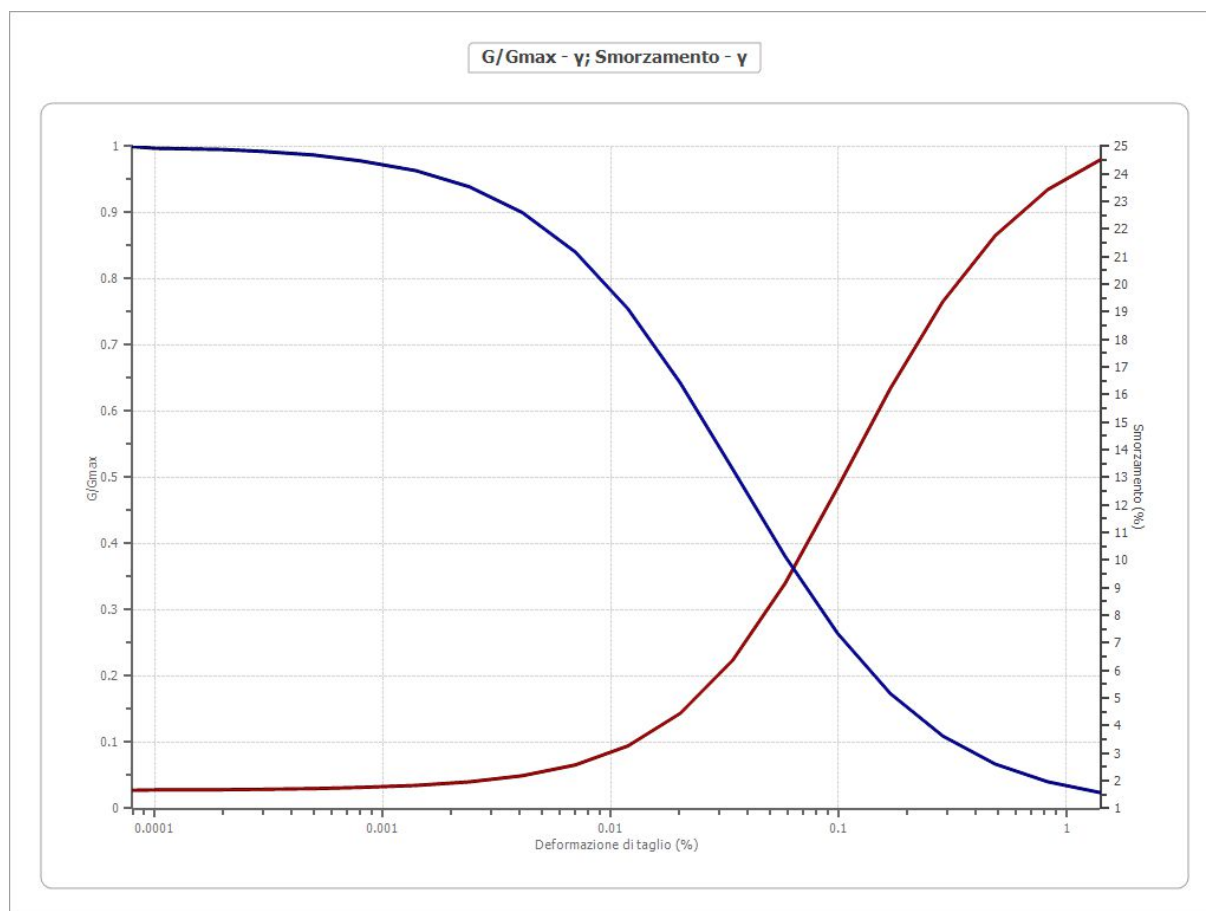
Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

Data della prova	1808/2016
Via	Neruda
Latitudine	44.579143[°]
Longitudine	11.355767[°]

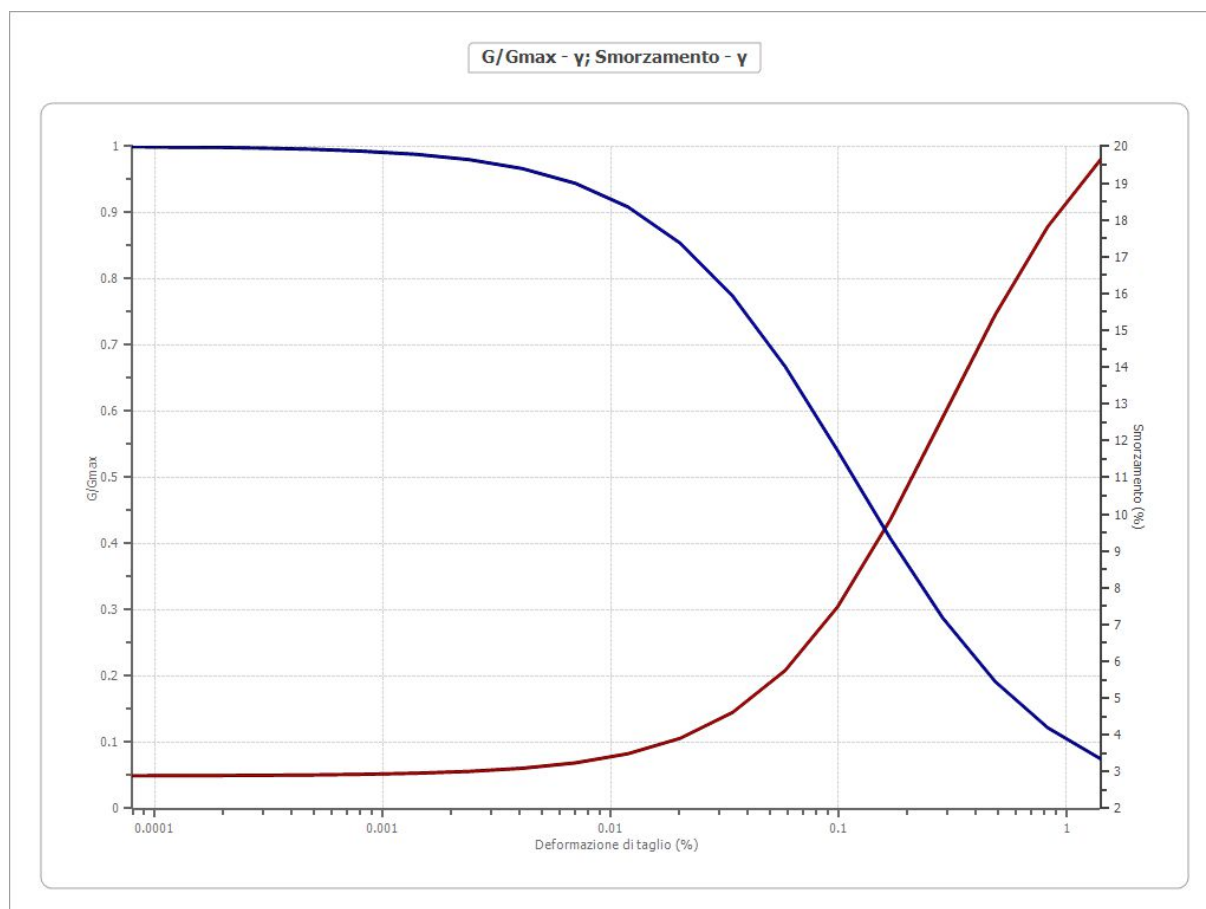
Lombardia - Limi argillosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093



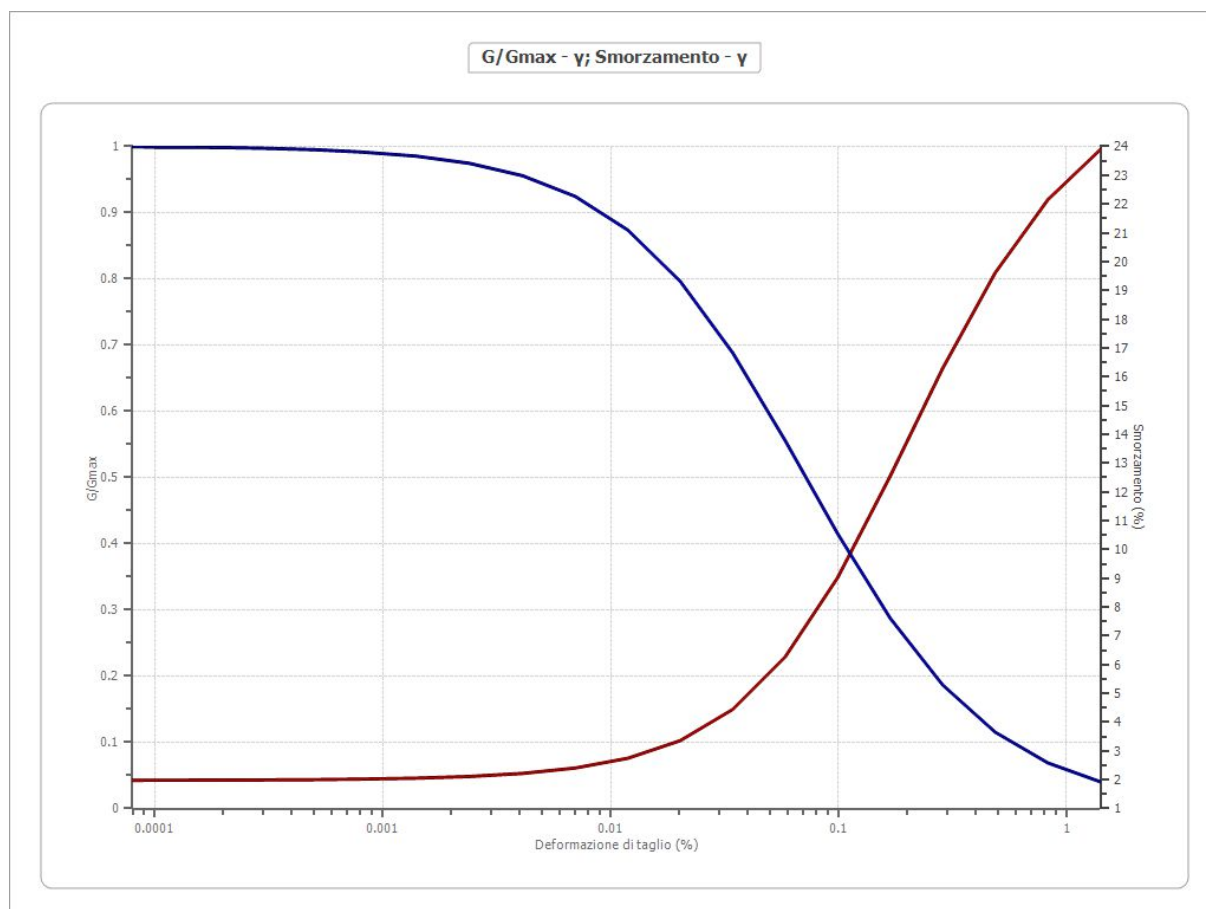
Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



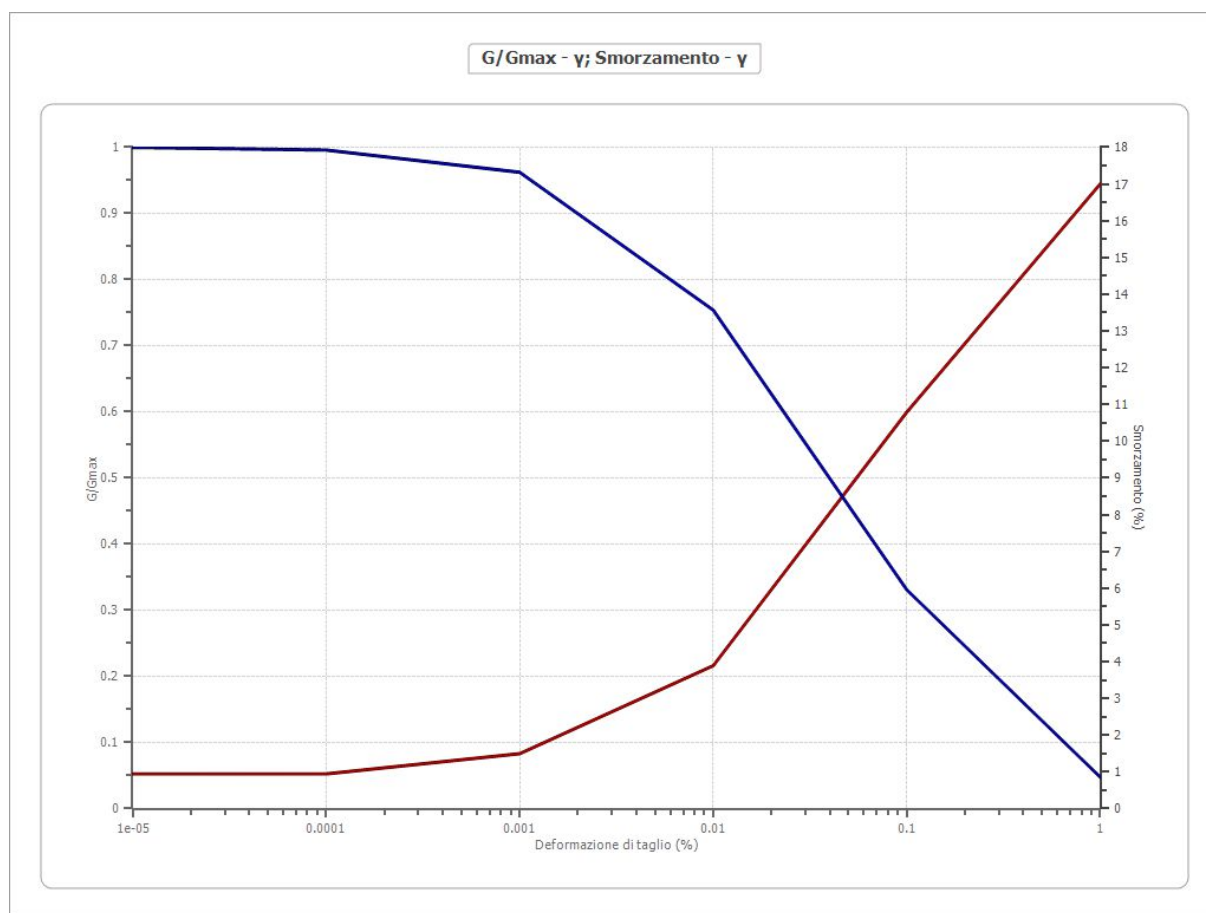
Lombardia - Limi sabbiosi

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.9826
0.0001	0.99915	0.0001	1.98695
0.0002	0.9985	0.0002	1.9903
0.0003	0.9974	0.0003	1.9962
0.0005	0.9953	0.0005	2.0067
0.0008	0.9918	0.0008	2.02525
0.0014	0.98555	0.0014	2.05825
0.0024	0.97465	0.0024	2.11705
0.0041	0.956	0.0041	2.222
0.007	0.9246	0.007	2.4103
0.0119	0.87385	0.0119	2.7498
0.0202	0.7964	0.0202	3.36165
0.0343	0.6886	0.0343	4.4464
0.0583	0.556	0.0583	6.2701
0.099	0.41535	0.099	9.0215
0.1684	0.2876	0.1684	12.55055
0.2862	0.1867	0.2862	16.2968
0.4866	0.11545	0.4866	19.6163
0.8272	0.0691	0.8272	22.15295
1.4063	0.0405	1.4063	23.89285



Lombardia - Ghiaie

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00001	1.000	0.00001	0.9488
0.0001	0.996	0.0001	0.9488
0.001	0.9624	0.001	1.4981
0.010	0.754	0.010	3.8938
0.100	0.3311	0.100	10.7935
1.000	0.0476	1.000	17.0087



Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	1.8	Lombardia - Limi argillosi	0	45.87	20.0	150.0	9.2
2	1.8	2.4	Lombardia - Argille limose	0	66.06	20.0	180.0	42.3
3	4.2	15.4	Lombardia - Limi sabbiosi	0	81.55	20.0	200.0	144.8

4	19.6	15.4	Lombardia - Ghiaie	0	133.79	21.0	250.0	309.4
5	35.0	15.0	Lombardia - Ghiaie	0	183.49	20.0	300.0	472.0
6	50.0	60.0	Lombardia - Ghiaie	0	358.82	22.0	400.0	914.1
7	110.0	100.0	Lombardia - Ghiaie	0	807.34	22.0	600.0	1889.3
8	210.0	100.0	Lombardia - Ghiaie	0	1098.88	22.0	700.0	3108.3
9	oo	--	Smorzamento costante	0	1435.27	22.0	800.0	3717.8

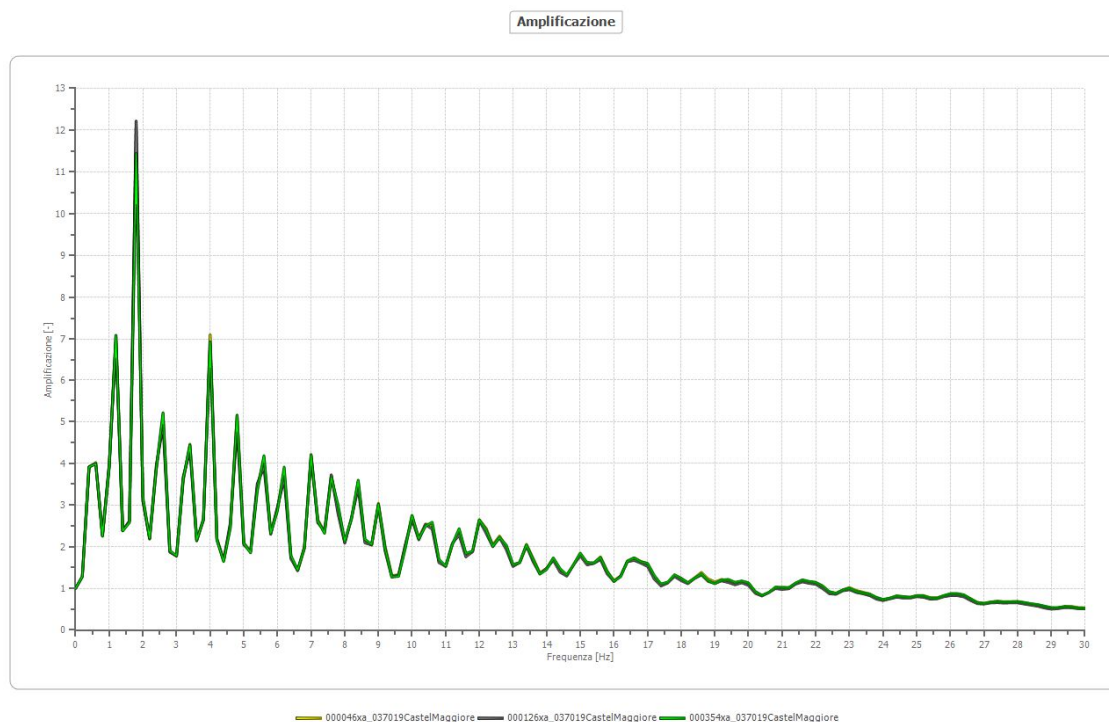
Strato con falda: 2
 Strato rilevamento accelerogramma: 9 Affiorante

Elaborazione

Numero di iterazioni 8
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 7.85 E-05

Fattori di amplificazione

Tai	0.150 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.280 [s]
Tvo	0.680 [s]
Sami	0.375 [m/s ²]
Svmi	0.020 [m/s]
Samo	0.594 [m/s ²]
Svmo	0.041 [m/s]
Fa	1.584 [-]
Fv	2.028 [-]
TB	0.143 [s]
TC	0.429 [s]
TD	2.264 [s]
SA(0)	0.263 [m/s ²]
SA(TB)	0.594 [m/s ²]



Spettro 046



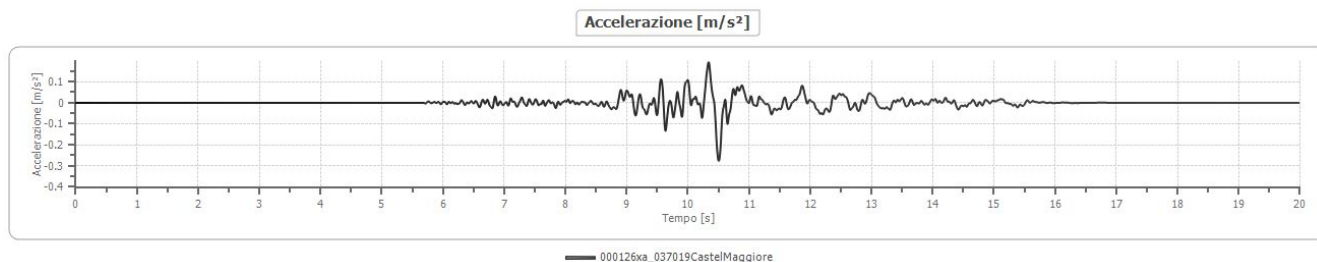
$$\text{PGA}/\text{PGA}_0 = 0.275/0.166 = 1.59$$

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.006	0.010	0.200	1.578
0.500	1.000	0.011	0.021	0.500	961
1.000	1.500	0.006	0.012	0.667	2.023

$$\text{SI}/\text{SI}_0 = 1.578/1,8 = 876.6 \text{ da } 0,1 \text{ A } 0,5 \text{ s}$$

$$\text{SI}/\text{SI}_0 = 961/2,5 = 384.4 \text{ da } 0,5 \text{ A } 1,0 \text{ s}$$

Spettro 126

$$PGA/PGA_0 = 0.261/0.166 = 1.571$$

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.006	0.009	0.200	1.607
0.500	1.000	0.007	0.016	0.500	2.127
1.000	1.500	0.007	0.014	0.667	2.050

$$SI/SI_0 = 1.607/1,8 = 892.7 \text{ da } 0,1 \text{ A } 0,5 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 2.127/2,3 = 924.7 \text{ da } 0,5 \text{ A } 1,0 \text{ s}$$

Spettro 354

$$PGA/PGA_0 = 0.275/0.166 = 1.659$$

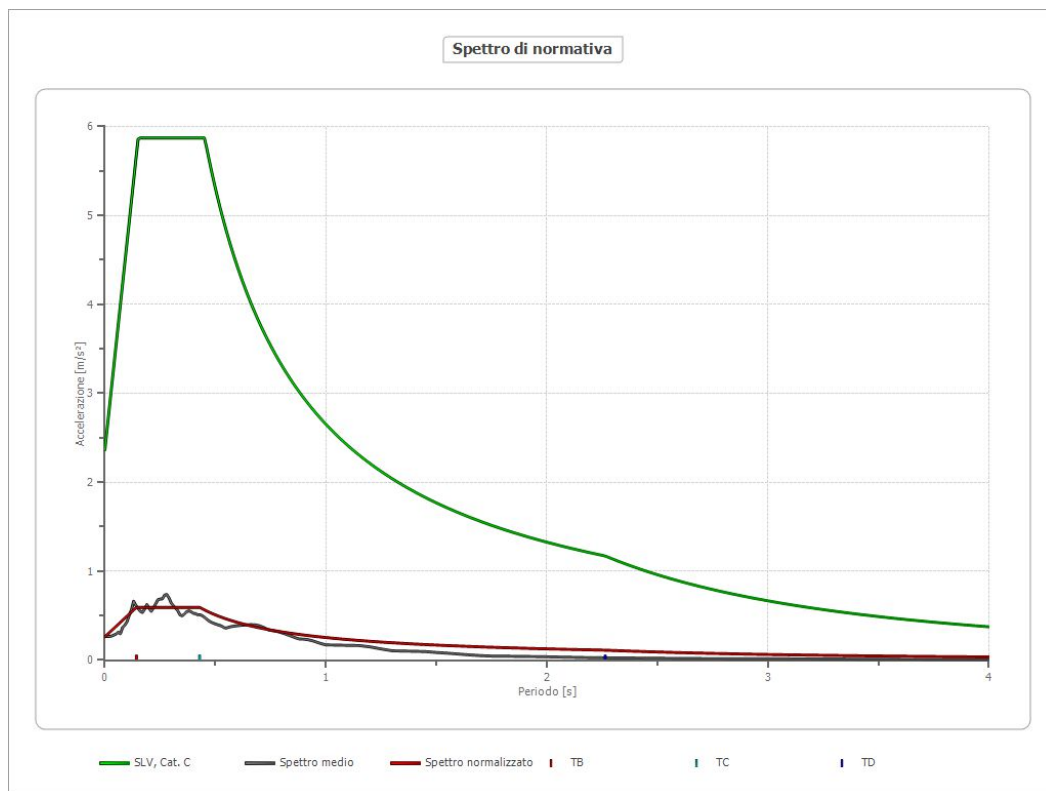
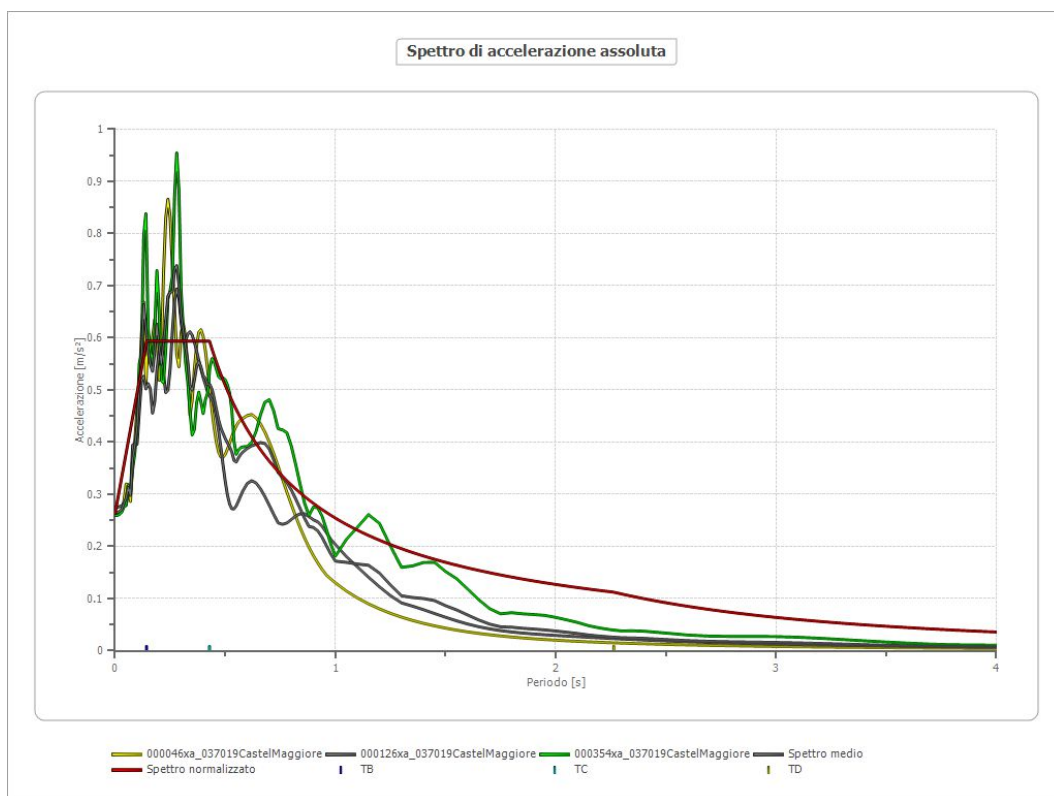
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.006	0.011	0.200	1.680
0.500	1.000	0.010	0.022	0.500	2.084
1.000	1.500	0.010	0.021	0.667	2.123

$$SI/SI_0 = 1.680/1,8 = 933.3 \text{ da } 0,1 \text{ A } 0,5 \text{ s}$$

$$SI/SI_0 = 2.084/2,3 = 906.0 \text{ da } 0,5 \text{ A } 1,0 \text{ s}$$

Confronto tra gli spettri



CONCLUSIONI

Dall'elaborazione è emerso che i tre spettri di sisma considerati alla base degli strato alluvionali mostrano spettri di accelerazione quasi sempre al di sotto dello spettro normalizzato tranne nel tratto B-C dove vi sono periodi in cui i tre spettri lo superano più volte e sul tratto C-D, tra 0,5 e 1,5 s.

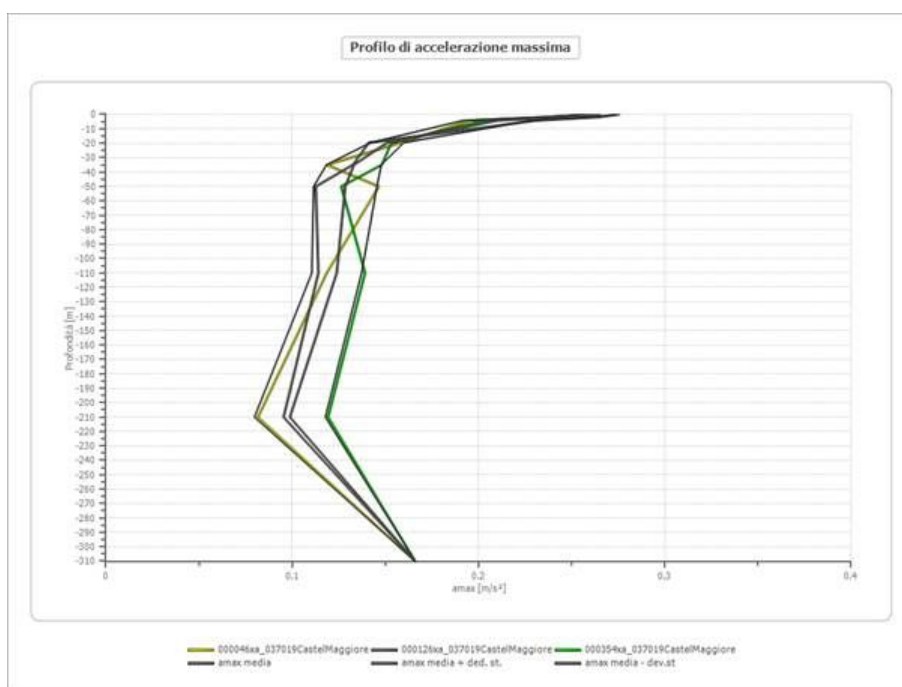
Il confronto con lo spettro di normativa invece dimostra che i tre spettri sono completamente contenuti al di sotto.

I fattori di amplificazione su intensità spettrale sono superati sempre solo nel periodo 0.1 - 0.5 s.

L'accelerazione di picco massima è raggiunta con gli spettri 46 e 354 con un PGA di 0.275 g.

Lo sviluppo della massima accelerazione alle varie profondità è mostrato nel seguente grafico:

	0.0 [m]	1.8 [m]	4.2 [m]	19.6 [m]	35.0 [m]	50.0 [m]	110.0 [m]	210.0 [m]	310.0 [m]
000046xa_037019CastelMaggiore [m/s ²]	0.261	0.238	0.196	0.158	0.119	0.146	0.119	0.082	0.166
000126xa_037019CastelMaggiore [m/s ²]	0.275	0.265	0.231	0.141	0.133	0.113	0.114	0.095	0.166
000354xa_037019CastelMaggiore [m/s ²]	0.260	0.242	0.204	0.153	0.148	0.126	0.139	0.119	0.166
media [m/s ²]	0.265	0.248	0.210	0.151	0.133	0.128	0.124	0.099	0.166
Dev. St. [m/s ²]	0.009	0.014	0.018	0.009	0.015	0.017	0.013	0.019	0.000

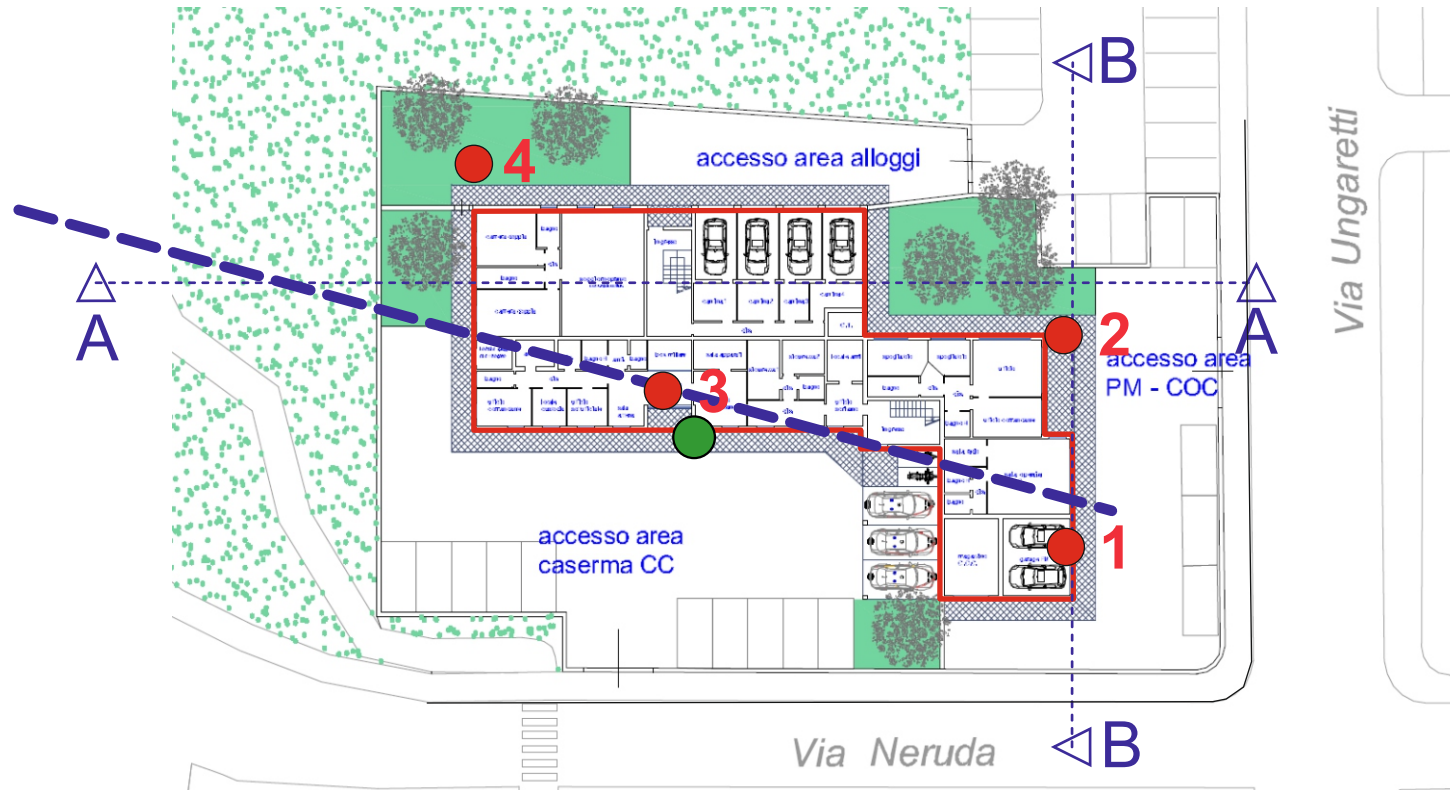


Da quanto sopra esposto, nonostante un aumento sensibile dell'accelerazione di picco in superficie, l'intervento è fattibile e non essendoci problemi di liquefazione o di stabilità dei terreni, non sono necessarie prescrizioni particolari ma è sufficiente rispettare la normativa sismica vigente.

Casadio Mario

PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO

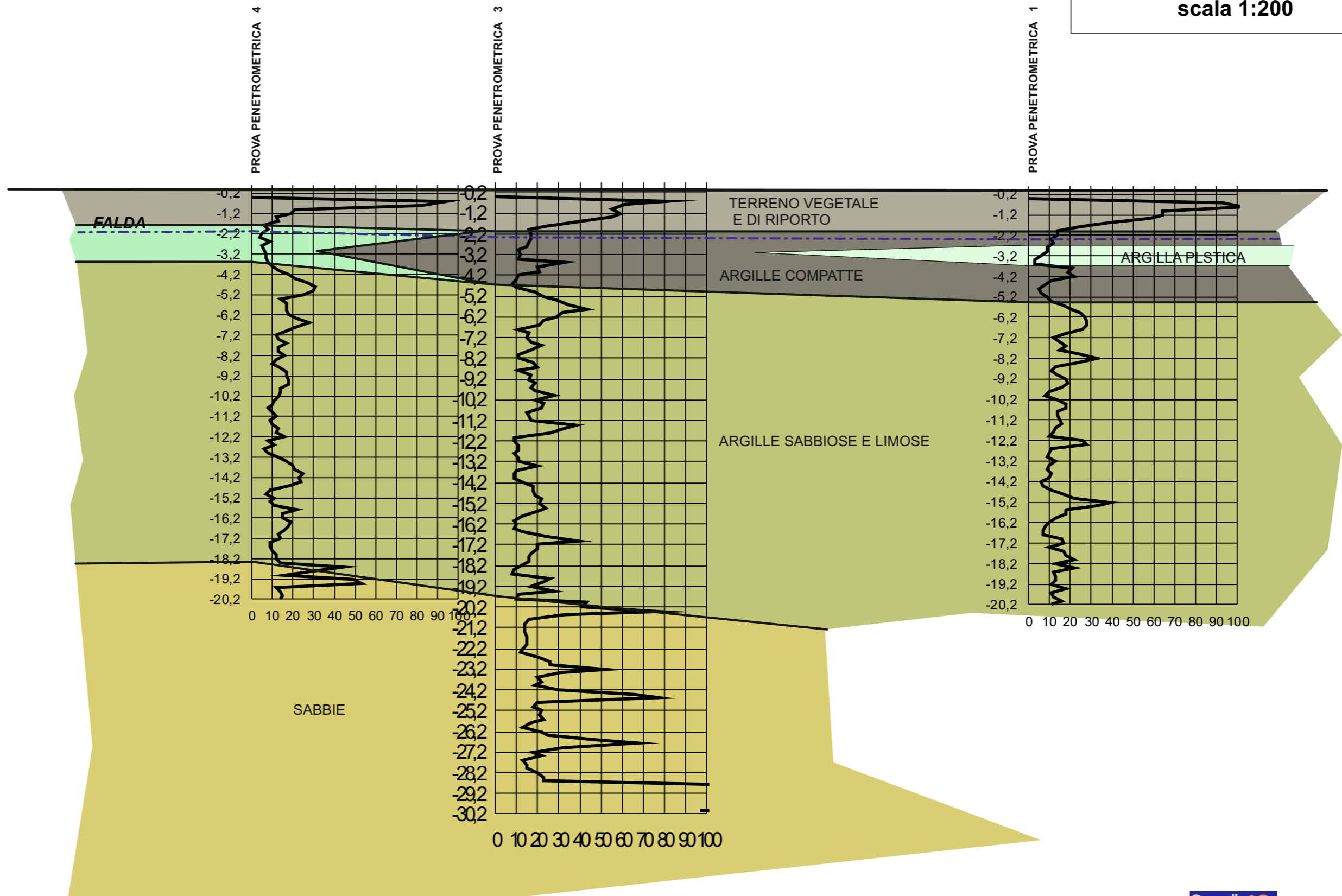
Scala 1:500



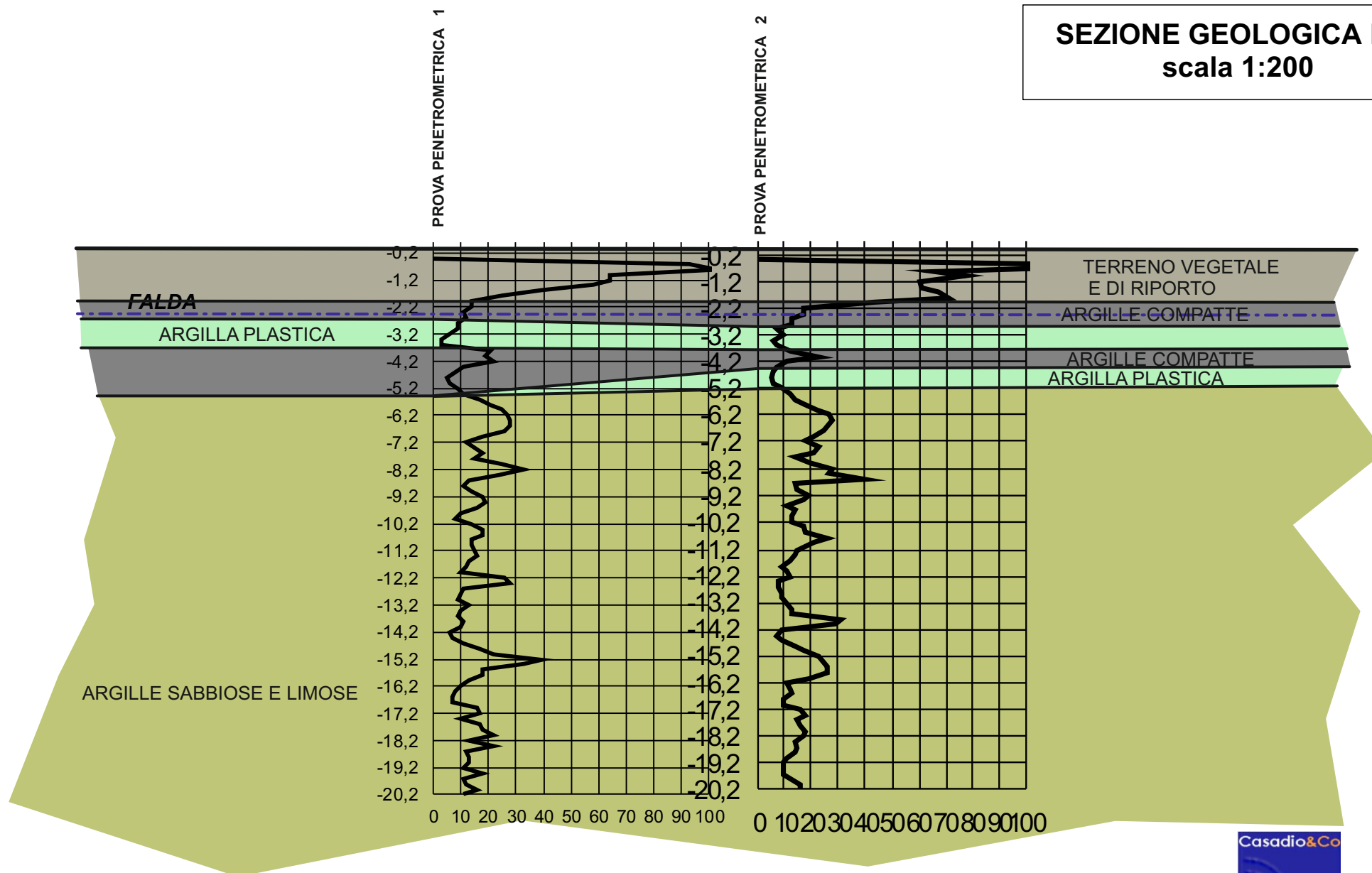
LEGENDA:

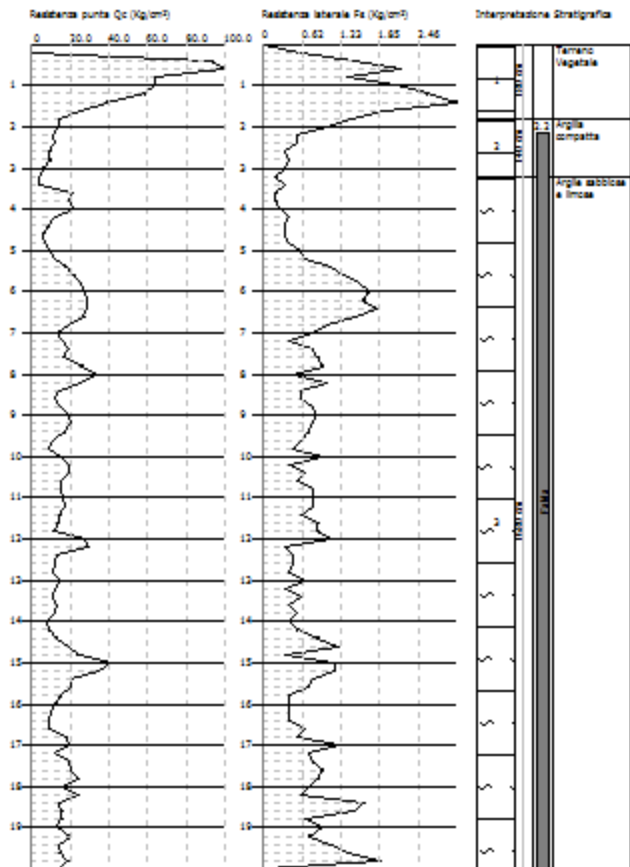
- TRACCIA DI SEZIONE
- PROVA PENETROMETRICA STATICA
- PROVA HVSR
- STENDIMENTO SISMICO
- NUOVA CASERMA

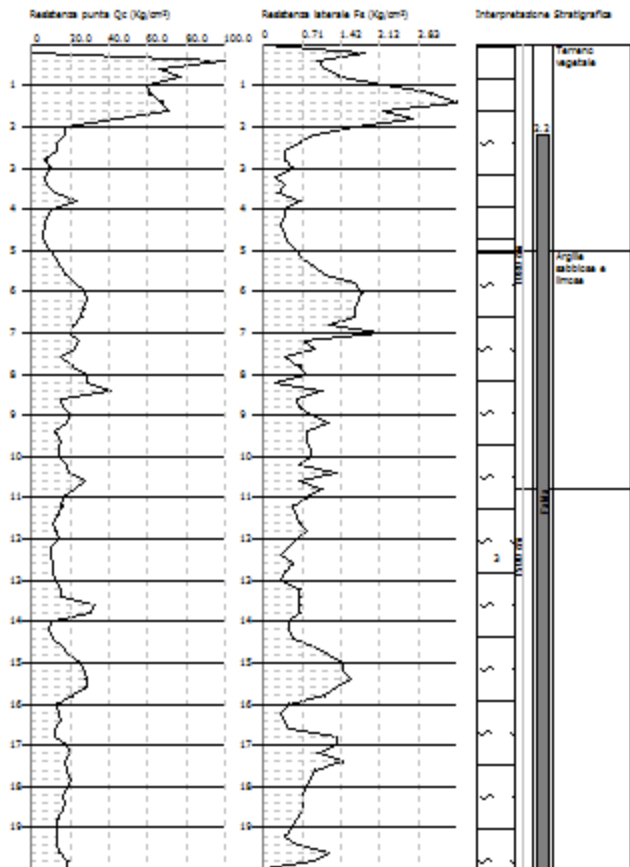
SEZIONE GEOLOGICA A-A
scala 1:200



SEZIONE GEOLOGICA B-B scala 1:200

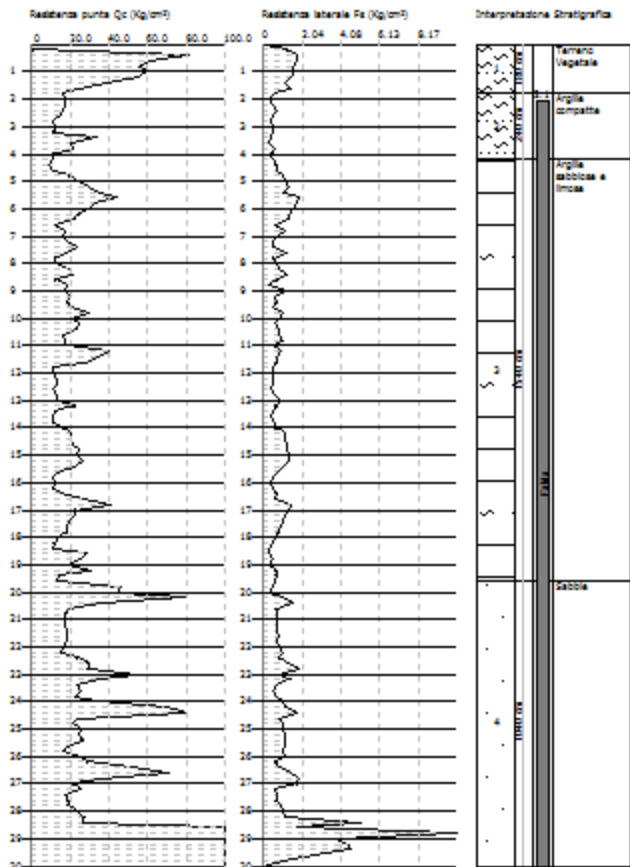


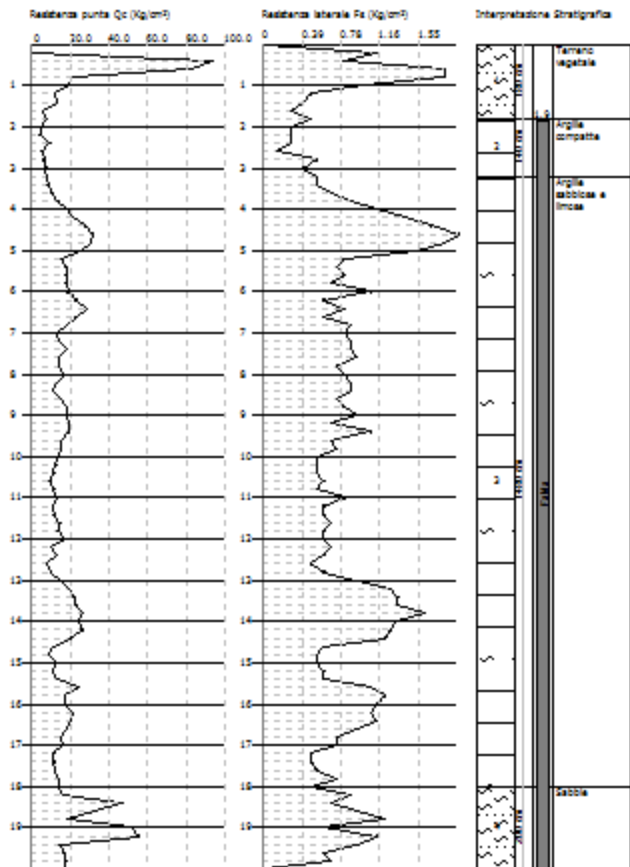




Committente: Comune di Castel Maggiore
Cantiere: Caserma Carabinieri
Località: Castel Maggiore

Data: 18/06/2016





Regione Emilia-Romagna

→ Scheda da ritornare al Genio Civile

Pratica N°

181.0850

--	--	--

COMPENSORIO

18

COMUNE-Istat

519



-Ditta GALLETTI S.p.A.

residente a40013 CASTEL MAGGIORE in Via Gramsci n° 206

-Pozzo ad uso Industriale in Comune di Castel Maggiore

Frazione Località Mapp.N° 10 Particell 85

-Data di ultimazione della perforazione: 14/3/1969

-Ditta perforatrice: Cavicchi Enzo - Via Lunga 53 - BENAZZO DI CENTO

CARATTERISTICHE DEL POZZO

*avanpozzo (si o no) SI
*diametro interno tubi mm. 150
*profondità mt. 119

EQUIPAGGIAMENTO

*tipo della pompa
Klein UPD 212/10 sommersa
*potenza $\frac{Cv}{kW}$ 10
*prevalenza mt. 101/100
*portata lt/sec. 3,5

-Livello statico mt. 19

-Portata pozzo: lt/sec. 3

-Superficie irrigata:

ha. are ca.

-Consumo giornaliero (24 ore):

metri cubi 130

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni e le
FALDE ACQUIFERE attraversati

Falde
cattate

-da mt. 0 a mt. 8

Terra

-da mt. 8 a mt. 14

Sabbia

-da mt. 14 a mt. 20

Terra

-da mt. 20 a mt. 27

"

-da mt. 27 a mt. 35

Sabbia
Ghiaia

-da mt. 35 a mt. 50

Argilla

-da mt. 50 a mt. 56

Sabbia
Ghiaia

-da mt. 56 a mt. 110

Sabbia
Ghiaia



Localizzazione del pozzo

Long. 376 Lat. 123 Ha. 03

Quota piano campagna: m.s.l.m. 209 =

La Ditta sottoscritta afferma, sotto
la propria responsabilità, che la pre-
sente dichiarazione è completa e ve-
ritiera.

Data 6/3/1978

Firma

ANNOTAZIONI:

N.B. : Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo,