



CA studio  
associato

**RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA E SISMICA  
PER LA COSTRUZIONE DI SERBATOI E VASCA DI SEDIMENTAZIONE  
PRESSO GEA DEPURAZIONI, CASTEL GUELFO (BO)**

Committente:

GEA Depurazioni s.r.l.

40023, Castel Guelfo (BO)

Imola 25 febbraio '21





## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVE E RIFERIMENTI TECNICI</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>VINCOLISTICA</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Microzonazione sismica</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE</b> .....	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>Inquadramento geologico strutturale</b> .....	<b>7</b>
<b>4.2</b>	<b>Stratigrafia delle unità quaternarie continentali</b> .....	<b>9</b>
4.2.1.	Supersintema Emiliano-Romagnolo .....	<b>9</b>
4.2.2.	Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) .....	<b>11</b>
4.2.3.	Subsintema di Ravenna (AES8).....	<b>11</b>
<b>4.3</b>	<b>Inquadramento geologico di dettaglio</b> .....	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE</b> .....	<b>15</b>
<b>5.1</b>	<b>Interpretazione stratigrafica</b> .....	<b>16</b>
<b>5.2</b>	<b>Rilievo acqua nel sottosuolo</b> .....	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>PROGETTAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>SISMICITÀ DELL'AREA</b> .....	<b>21</b>
<b>7.1</b>	<b>Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR ed ESAC</b> .....	<b>23</b>
<b>7.2</b>	<b>Verifica a liquefazione</b> .....	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b> .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>36</b>

## 1 PREMESSA

Su incarico della Committenza è stata redatta la presente relazione geologica, geotecnica e sismica allo scopo di fornire i parametri geologici e sismici necessari per il progetto di posa di serbatoi vasche di sedimentazione presso la sede di GEA Depurazioni, via dell'Agricoltura a Poggio Piccolo, in comune di Castel Guelfo (BO).

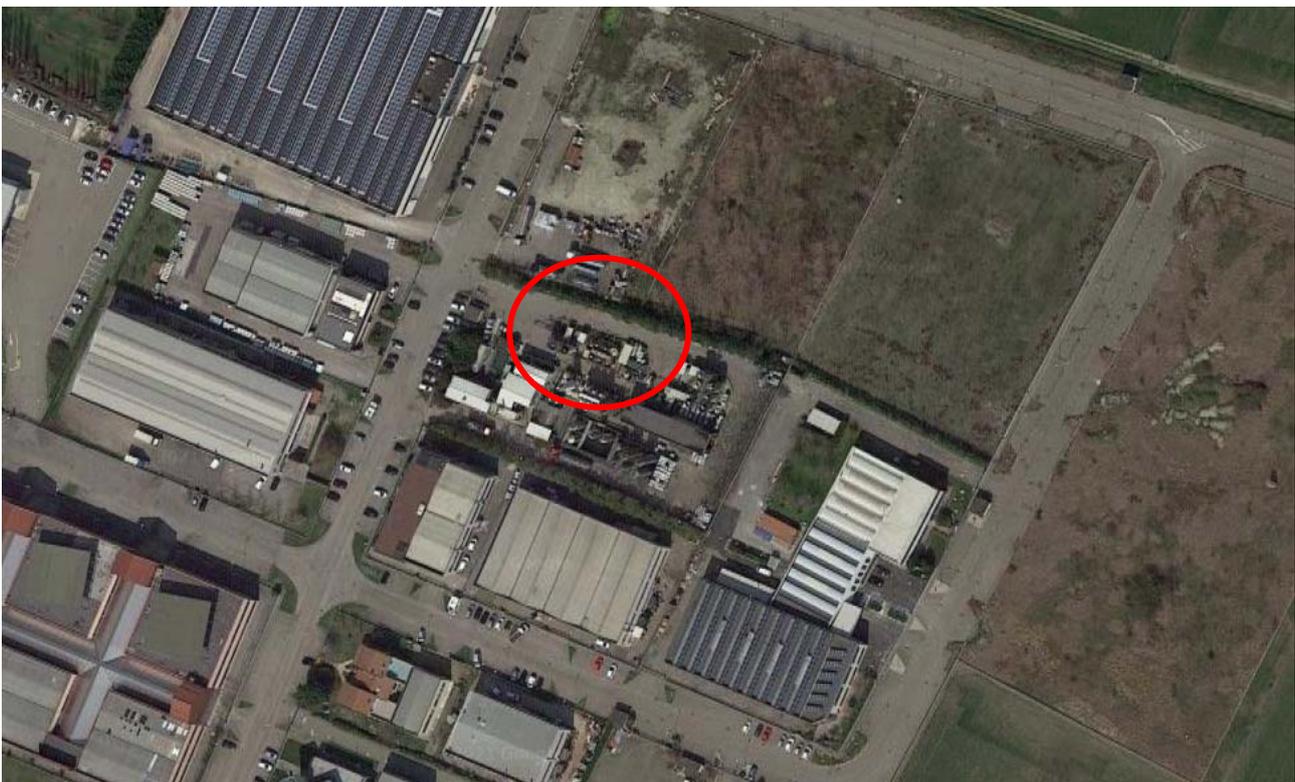


Figura 1. – Inquadramento territoriale

## 2 NORMATIVE E RIFERIMENTI TECNICI

Relativamente alla parte geologica, si fa riferimento alle seguenti normative:

- D.M 17.01.2018 *“Aggiornamento delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni”*;
- CIRCOLARE Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20/03/2003 n.3274 – *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.
- DGR n. 1878/2011 del 19.12.2011 *“Approvazione dell’atto di indirizzo recante la modulistica unificata Regionale relativa ai procedimenti in materia sismica”*;
- DGR n. 1373/2011 del 26.09.2011 della Regione Emilia-Romagna.
- DGR 630/2019 del 29.04.2019 della Regione Emilia-Romagna *“Atto di Coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica”*

### 3 VINCOLISTICA

#### 3.1 Microzonazione sismica

Il Comune di Castel Guelfo ha approvato la Microzonazione sismica del circondario individuando le aree suscettibili di effetti locali e costruendo una carta di Sintesi tavola 10 in cui sono riportate le aree oggetto di approfondimento di secondo o terzo livello.

Il lotto oggetto di studio ricade all'interno delle aree oggetto di terzo livello di approfondimento.

La **Tav. 2 - Potenziale liquefazione nelle aree di pianura** indica che nell'area in oggetto i criteri per la potenziale liquefazione non sono tutti verificati. La falda, da dati Arpa, ha soggiacenza superiore a 3,5 m. Le analisi alla liquefazione eseguite dalla Regione Emilia-Romagna hanno dato esiti sia positivi che negativi in aree prossime all'area in oggetto.

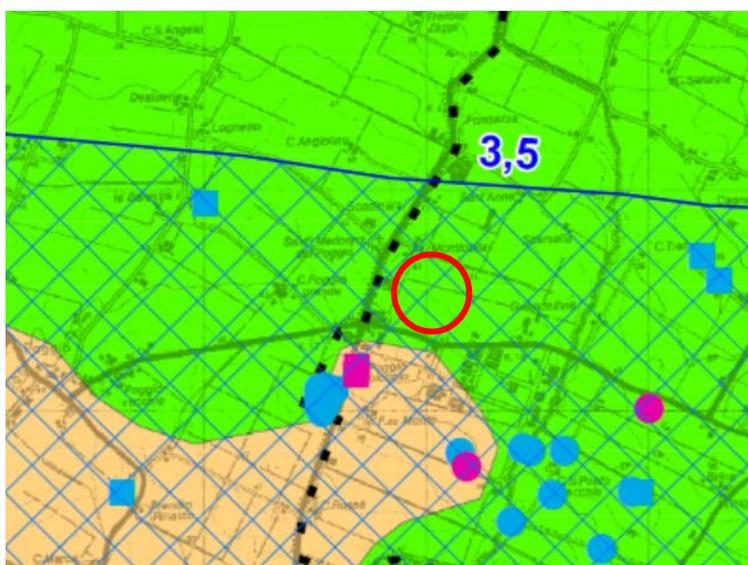


Figura 5: Tav.2

La **Tav.3 - Carta comunale delle analisi di potenziali cedimenti post sismici**, indica che l'area in oggetto è caratterizzata da ininfluente presenza di depositi coesivi soffici.

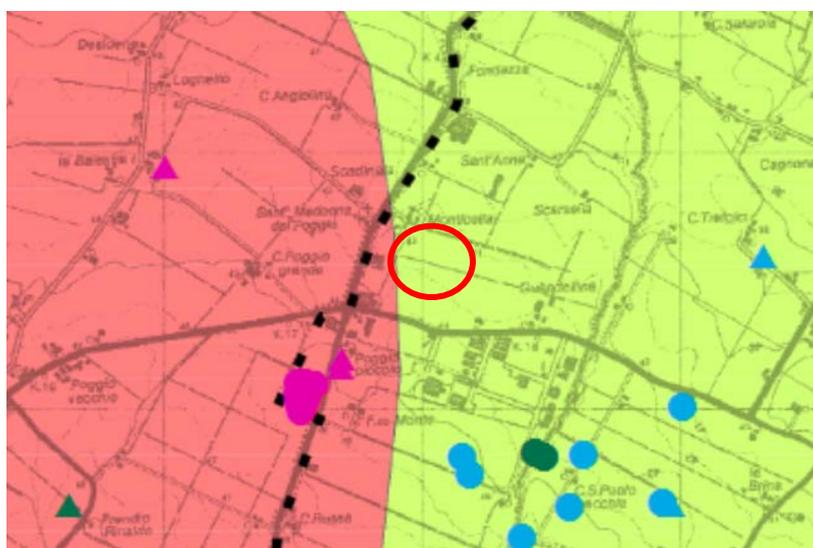


Figura 6: Tav.3

La **Tav.5 - Carta comunale delle aree suscettibili di effetti sismici locali**, indica che l'area è classificata come "C - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti. Studi geologici con valutazione del coefficiente di amplificazione litologico e dei cedimenti attesi.

Microzonazione sismica di terzo livello per la valutazione dei cedimenti postsismici in terreni soffici.

Microzonazione sismica di secondo livello per la valutazione del fattore di amplificazione litologica."



Figura 7: Tav.5

La **Tav.10 - Carta di sintesi**, indica che l'area oggetto di studio richiede un approfondimento di terzo livello per la valutazione dei cedimenti post sismici.



Figura 8: Tav.10

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

### 4.1 Inquadramento geologico strutturale

Il Bacino Padano costituisce il riempimento dell'avanfossa plio-pleistocenica sviluppatasi al margine della catena appenninica in via di sollevamento. Al suo limite meridionale, il Bacino Padano è delimitato da un importante fronte di accavallamento, noto come Pedepenninic Thrust Front o PTF (Boccaletti et al., 1985). Il PTF, un lineamento tettonico allungato parallelamente all'Appennino e segmentato da numerose linee tettoniche trasversali (Castellarin et al., 1985), separa la catena in via di sollevamento a sud da un'area fortemente subsidente a nord.

Le ricerche condotte dall'AGIP nel corso degli ultimi decenni hanno fornito le basi per la ricostruzione della struttura profonda del Bacino Padano mediante l'interpretazione di profili sismici. Recentemente, sulla base di criteri stratigrafico-sequenziali il Bacino Padano è stato suddiviso in sette sequenze deposizionali, delimitate a base e a tetto da superfici di inconformità e da superfici correlative di continuità stratigrafica (figura 9). Queste sequenze, i cui limiti marcano importanti fasi di ristrutturazione del bacino nel corso dell'orogenesi, con denudamento delle aree marginali e incremento della subsidenza in quelle centrali, mostrano un grado di deformazione progressivamente decrescente dal basso verso l'alto, con valori minimi in corrispondenza della successione medio e tarsoquaternaria.

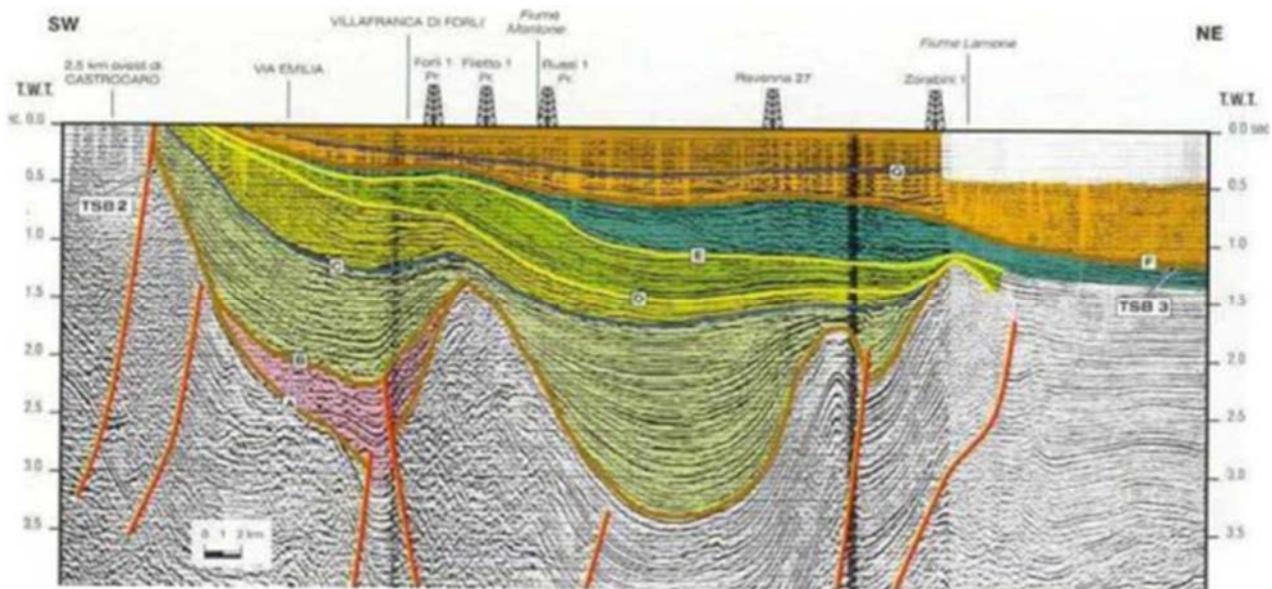


Figura 9: Sezione sismica che illustra la struttura del Bacino Padano e la sua suddivisione in sequenze deposizionali (da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998).

Il basso grado di deformazione tettonica della sequenza deposizionale più recente (situata al di sopra della discontinuità "G" in figura 9) consente una buona preservazione dei rapporti originari tra facies all'interno dei depositi datati agli ultimi 400.000 anni. Ricostruzioni stratigrafiche e sedimentologiche di dettaglio all'interno di questa sequenza, basate sullo studio di sondaggi a carotaggio continuo profondi fino a 200m,

hanno messo in luce come una ciclicità deposizionale alla scala milankoviana, definita dall'alternanza di cicli glaciale/interglaciale di circa 100.000 anni di durata, rappresenti il principale elemento di controllo dell'architettura stratigrafica, permettendo l'attribuzione delle superfici trasgressive a successivi episodi interglaciali.

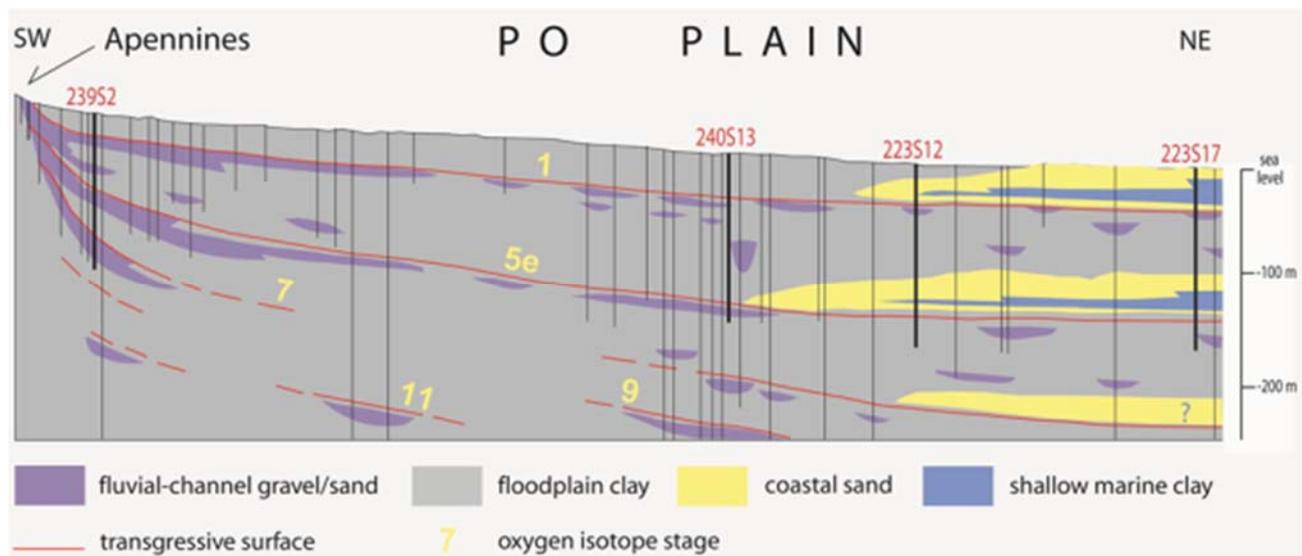


Figura 10: Stratigrafia del Bacino Padano, dal margine appenninico al Mare Adriatico, e sua suddivisione in sequenze trasgressivo-regressive legate alla ciclicità milankoviana dei 100.000 anni. Si osservino i rapporti stratigrafici tra depositi di conoide alluvionale (in viola) e litorali (in giallo), separati da superfici trasgressive (da Amorosi & Colalongo, 2005).

Come osservabile in figura 10, i depositi tardoquaternari al margine del Bacino Padano sono dominati da spessi accumuli di sedimenti di conoide alluvionale, che costituiscono i principali acquiferi dell'intera area padana. Si tratta di spessi pacchi di ghiaie amalgamate, sovrapposti e saldati lateralmente per spessori complessivi dell'ordine delle centinaia di metri e con un'estensione laterale di decine di km parallelamente al margine appenninico. Questi corpi tendono a sfrangiarsi verso la pianura, interdigitandosi con sedimenti limoso-argillosi di piana inondabile e dando origine a caratteristiche sequenze trasgressivo-regressive.

A valle dei conoidi alluvionali il Bacino Padano è dominato da spessi pacchi di depositi di piana inondabile, che si interpongono tra i corpi di conoide alluvionale ed un secondo sistema di acquiferi, legato all'attività del Fiume Po. La piana costiera, infine, presenta caratteristici corpi sabbiosi cuneiformi di spiaggia, derivanti dalla migrazione della linea di costa verso terra durante le maggiori pulsazioni trasgressive, seguita dalla progradazione dei sistemi costieri (delta e spiagge) durante le successive fasi di stazionamento alto del livello del mare (figura 10).

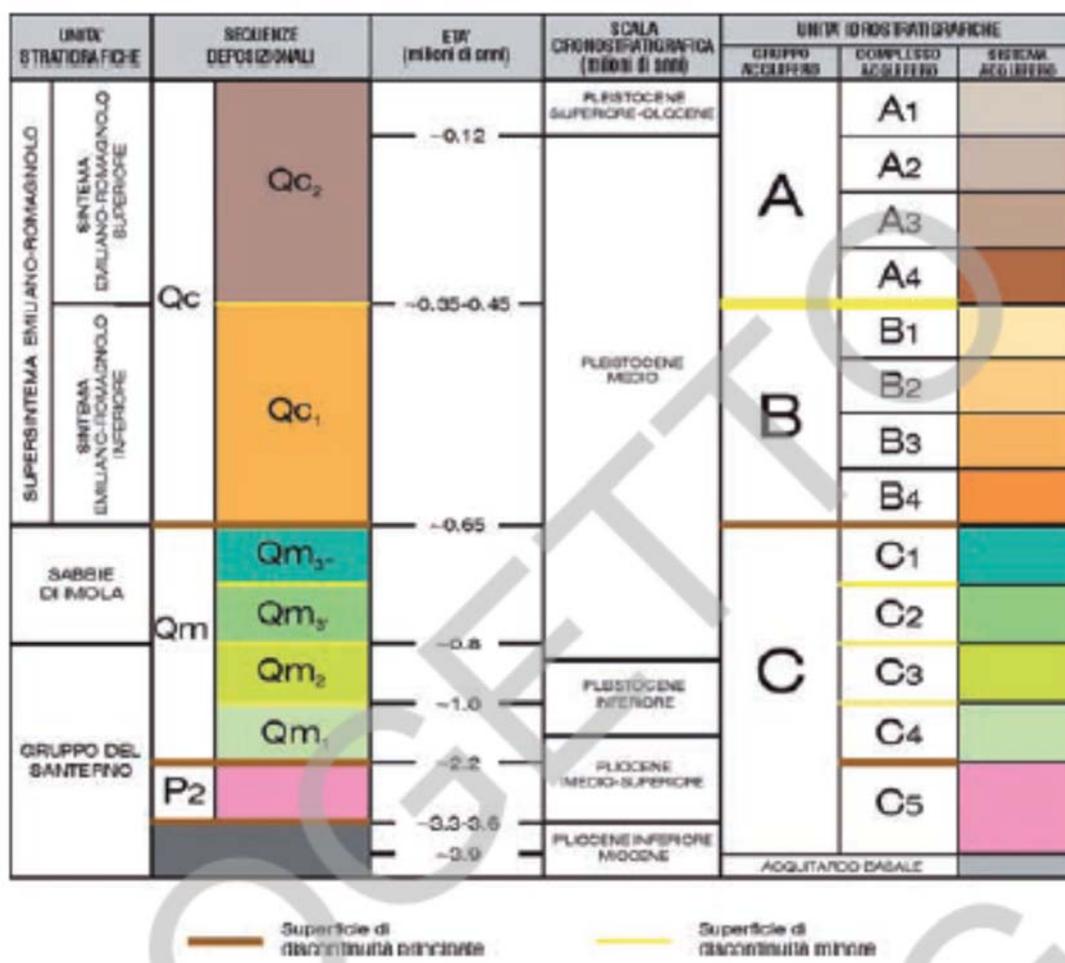


Fig.11 - Schema stratigrafico e suddivisione stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quadernari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche di figura 2 (da Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 223 - Ravenna, 2002). Si precisa che il Gruppo del Santerno comprende le unità cartografate "Argille Azzurre", "Formazione di Monte Adone" e "Marne di Cella".

## 4.2 Stratigrafia delle unità quaternarie continentali

### 4.2.1. Supersistema Emiliano-Romagnolo

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e dei sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. Questi ultimi comprendono depositi alluvionali, deltizi, litorali e marini, organizzati in successioni cicliche di vario ordine gerarchico. In affioramento, al margine appenninico padano, il Supersistema Emiliano-Romagnolo coincide con il ciclo Qc di Ricci Lucchi et alii (1982) e presenta un limite inferiore inconforme, evidenziato da una discordanza angolare sui depositi litorali delle Sabbie di Imola o su quelli marini di età più antica. Nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, al margine del bacino padano, il Supersistema Emiliano-Romagnolo appoggia in discordanza

angolare su depositi correlati alle Sabbie di Imola (ciclo Qm3'' in figura 11). Il limite superiore coincide col piano topografico.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore non affiora nell'area in esame. Conseguentemente, il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore comprende la totalità dei depositi di terrazzo, conoide e piana alluvionale affioranti nell'Appennino e nella pianura bolognese.

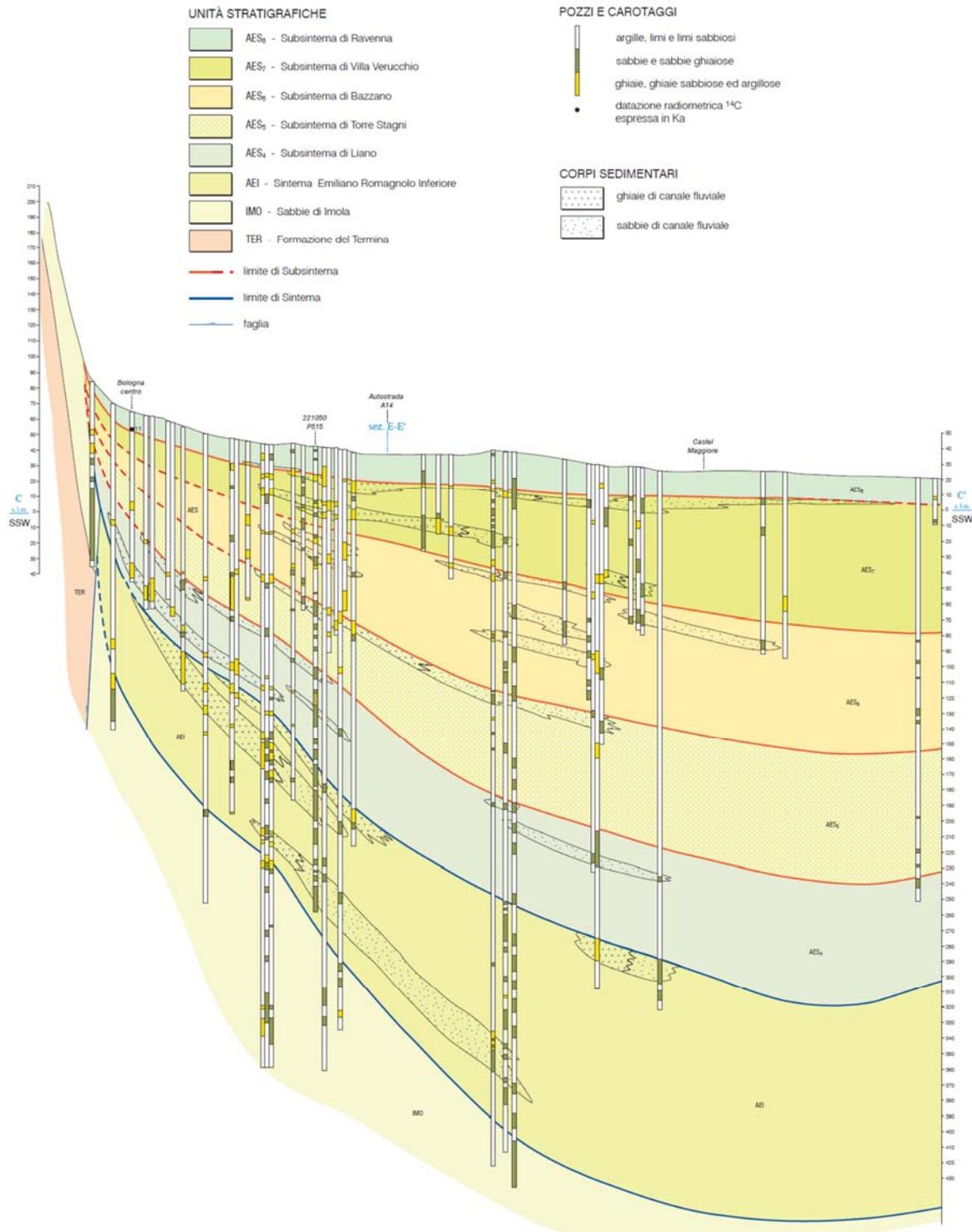


Fig.12 - Sezione geologica C-C' perpendicolare alla catena appenninica. L'esagerazione verticale è di 25x.

#### 4.2.2. Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituisce la porzione superiore del Supersintema Emiliano-Romagnolo e comprende la totalità dei depositi continentali affioranti all'interno del Foglio 221 Castel San Pietro. Lo spessore di AES varia da pochi metri al margine appenninico fino a un massimo di 330 metri nel sottosuolo, in corrispondenza della zona depocentrale (fig. 11).

Nelle porzioni intravallive e di margine appenninico, l'unità è costituita da depositi terrazzati di piana alluvionale intravalliva che appoggiano in discordanza su depositi marini più antichi, senza interposizione di AEI. Si tratta di ghiaie e sabbie di canale fluviale passanti ad alternanze di argille, limi e sabbie di piana inondabile variamente pedogenizzati.

Il rilevamento geologico effettuato nell'ambito del progetto CARG ha permesso di suddividere AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), riconosciute nelle porzioni intravallive e lungo il margine appenninico emiliano-romagnolo.

I singoli subsintemi, correlabili su più aste fluviali, corrispondono a singoli terrazzi alluvionali o a insiemi di terrazzi alluvionali attribuibili a più ordini. Terrazzi alluvionali appartenenti a subsintemi differenti sono separati da ampie scarpate erosive e spesso si caratterizzano per una diversa giacitura (le discordanze angolari sono dell'ordine del grado) e un differente grado di evoluzione pedogenetica. È importante sottolineare che non vi è relazione diretta tra subsintemi e numerazione degli ordini di terrazzo nelle diverse aste vallive; lo stesso subsintema, infatti, può essere riconosciuto in una valle in corrispondenza di un certo ordine di terrazzo, mentre nella valle adiacente può corrispondere ad un ordine di terrazzo differente.

#### 4.2.3. Subsintema di Ravenna (AES8)

È l'elemento sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e comprende la maggior parte dei depositi quaternari affioranti nel Foglio Bologna.

Nel foglio 221 Bologna, AES8 affiora estesamente e la sua parte sommitale è costituita da depositi sabbioso-limosi di canale, argine e rotta fluviale, organizzati in corpi sedimentari di spessore plurimetrico a geometria prevalentemente nastriforme. Questi fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente argillosi e subordinatamente limosi e sabbiosi di piana inondabile (bacino interfluviale). I corpi ghiaiosi sono rari.

Il tetto di AES8, che coincide col piano topografico, presenta suoli a diverso grado di evoluzione, con orizzonte superiore da calcareo (Entisuoli) a non calcareo (Inceptisuoli). I suoli calcarei appartengono ad un'unità (**Unità di Modena - AES8a**) di rango inferiore a quello del subsintema e corrispondente alla parte sommitale del Subsintema di Ravenna. Età: Pleistocene superiore – Olocene (12 ka – Attuale).

### 4.3 Inquadramento geologico di dettaglio

L'area di studio è situata nel comune di Castel Guelfo di Bologna, in via dell'Agricoltura, nella zona industriale di Poggio Piccolo, su terreni appartenenti al **Subsistema di Ravenna (AES8)**.

Si tratta perciò di limi argillosi alternati ad argille limose, talvolta intervallati da livelli sabbioso limosi.

L'area è generalmente pianeggiante, l'idrografia superficiale è rappresentata principalmente dal Canale di Medicina, che scorre circa 630 m ad est del sito in oggetto, e dai canali di bonifica e dai fossi lungo strada.



Fig.13 - Estratto dalla Carta geologica Regione Emilia-Romagna



Fig. 14 Ubicazione Sezione 97 regione Emilia-Romagna

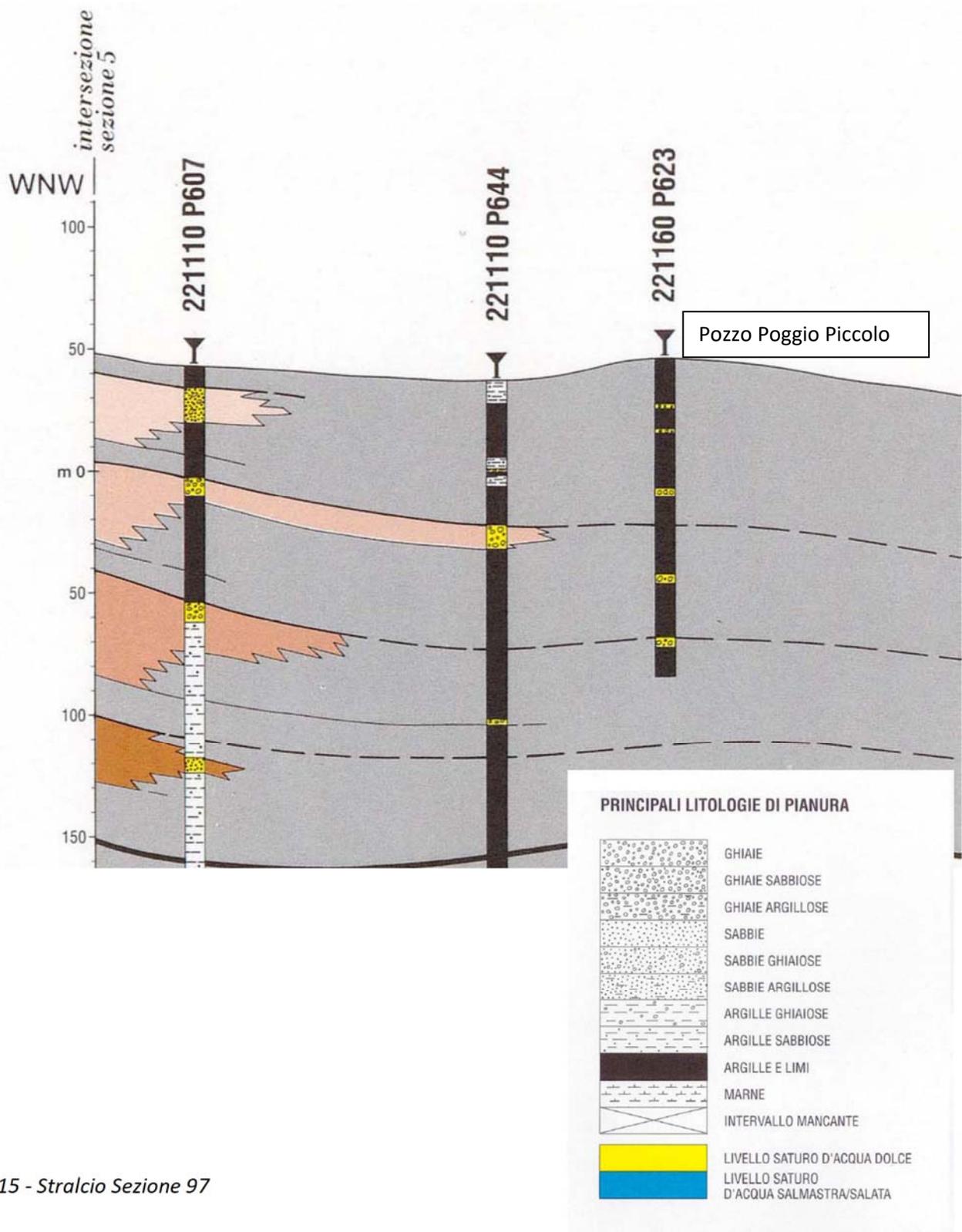


Fig. 15 - Stralcio Sezione 97

Sempre dalla banca dati del Servizio Geologico Regionale della Regione Emilia-Romagna sono stati estrapolati i dati delle stratigrafie dei sondaggi presenti nelle vicinanze riportati in allegato.

## 5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In data 18 e 24/02/2021 è stata eseguita una campagna d'indagini consistente nell'esecuzione di:

- **n°2 prove penetrometriche statiche (CPT)** spinte fino a 15 m o a rifiuto. Le prove hanno avuto come obiettivo la caratterizzazione geotecnica dei terreni e sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica;
- **n°1 indagine geofisica HVSR** eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed che avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della  $V_{s30}$  in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa. Inoltre, questa tecnica permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito.



Fig. 16 – Ubicazione prove effettuate

## 5.1 Interpretazione stratigrafica

Le due prove, nonostante siano state eseguite a poca distanza l'una dall'altra, hanno individuato stratigrafie differenti.

Dall'interpretazione delle prove CPT1 e CPT2 è stato individuato il seguente modello geologico - geotecnico:

### CPT1:

Profondità (m)	Litologia	Cu (kPa)	$\Phi$ (°)
Da 0,0 a 0,6 m	terreno di riporto	-	-
Da 0,6 a 3,6 m	argille limose a consistenza bassa	62	24
Da 3,6 a 7,6 m	limi sabbiosi con livelli decimetrici di limi argillosi a consistenza media	91	28
Da 7,6 a 10,0 m	sabbie addensate e ghiaie	-	31

### CPT2:

Spessore(m)	Litologia	Cu (kPa)	$\Phi$ (°)
Da 0,0 a 0,6 m	terreno di riporto	-	-
Da 0,6 a 9,2 m	Livelli di argille limose, limi argillosi e sabbie limose intercalati, consistenza medio bassa	67	24
Da 9,2 a 15,0 m	Sabbie limose ad addensamento medio alto	115	28

Le prove hanno individuato spessi strati di terreni fini a consistenza inferiore a 70 kPa, condizione che caratterizza i sedimenti soffici che possono causare cedimenti post sismici.

## 5.2 Rilievo acqua nel sottosuolo

Al momento delle prove è stata rilevata la presenza di falda freatica alla profondità di circa 3,0 m dal p.c., tale livello misurato può subire oscillazioni verticali al variare delle stagioni e in seguito a precipitazioni prolungate e/o intense.

## 5.3 Prove pregresse

Nell'anno 2000 in prossimità dell'area in oggetto è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo che ha identificato la presenza di terreni fini argilloso limosi e limoso sabbiosi fino a 16,95 m da piano campagna, profondità alla quale sono state rinvenute le ghiaie.



<b>SINERGIA</b> srl	COMMITTENTE: ROMAGNA ECOLOGIA	SOND.N. BH1
	CANTIERE: Poggio Piccolo di Castel Guelfo (lotto 13)	PROF. (m): 20.00
<b>APPORTO DI PROVA</b> 106.00. BHO.001	PERFORATRICE: CMV MK900 D1	QUOTA (m): p.d.c.
pag. 1/5	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	DATA INIZ.: Giugno 2000
VESTIMENTO: Ø127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere Ø 101 mm	DATA FINE:
PIEZOMETRO: Imnesso piezometro (Pz1) Ø 82 mm a -19.50 m da p.c.		SCALA 1:100

P.P. I (kg/cm <sup>2</sup> )	V.T. (kg/cm <sup>2</sup> )	Profondità (m)	Stratigrafia	Descrizione	Campioni Ind.	Campioni Rim.	S.P.T. (n.colpi)	Falda (m)	Pz. Norton	Inclinometro	Pz. Casagrande
		0.80		Terreno vegetale							
		1.20		Argilla limosa brunastra; presenza di microlivelli limosi di colore più chiaro							
		2.50		Limo con argilla di colore oliva con striature giallo-brunastre. Presenza di microlivelli millimetrici limosi, localmente sabbiosi, di veli calcarei e calcinelli							
		3.00		Argilla limosa e con limo di colore grigio-brunastro con striature grigie. Presenza di livelli centimetrici limo-sabbiosi oltre i 5 m di profondità	Os 1						
		3.50									
		6.00		Sabbia con limo argilloso e limo con sabbia argilloso di colore grigio brunastro con striature bruno rosastre							
		6.90		Argilla limosa e con limo con tracce di sabbia (fine) di colore grigio con striature e macchie bruno rosastre. Da 7.20 a 7.30 m di profondità presenza di calcinelli anche per grosse dimensioni	Os 2						
		8.35		Limo con argilla localmente debolmente sabbioso di colore brunastro con macchie grigie. Presenza di livelletti sabbiosi (con muscovite abbondante)	8.60						
		9.20		Argilla limosa di colore grigio e brunastro scuro. Colore grigio prevalente da 9.20 a 10.10 m, da 10.60 a 13.00 m e da 15.10 a 16.95 m. Presenza di calcinelli e veli calcarei da 10.00 a 10.60 m e da 15.00 a 15.10 m, più rari da 10.60 a 12.00 m. Da 15.10 a 16.00 m presenza di frustoli vegetali concentrati in microlivelli							
		16.95		Ghiaia medio fine in abbondante matrice limoso sabbiosa. Granuli eterogenei prevalentemente arrotondati							
		20.00							19.50		

## 6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"

### 6.1.2 PRESCRIZIONI GENERALI

*Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica, dedotti da specifiche indagini, devono essere esposti in una specifica relazione geologica di cui al § 6.2.1.*

*Le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini definite dal progettista in base alla tipologia dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.*

*Le scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica di cui al § 6.2.2, unitamente alle analisi per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive devono essere illustrati in una specifica relazione geotecnica.*

### 6.2.1 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

*Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici.*

*La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.*

*In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico.*

*Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche.*

*La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.*

### 6.2.2 INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

*Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e, in presenza di azioni sismiche, devono essere conformi a quanto prescritto ai §§ 3.2.2 e 7.11.2. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o*

indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista.

Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

.....

Per la verifica delle condizioni di sicurezza e delle prestazioni di cui al successivo § 6.2.4, la scelta dei valori caratteristici delle quote piezometriche e delle pressioni interstiziali deve tenere conto della loro variabilità spaziale e temporale.

Le prove di laboratorio, sulle terre e sulle rocce, devono essere eseguite e certificate dai laboratori di prova di cui all'art. 59 del DPR 6 giugno 2001, n. 380. I laboratori su indicati fanno parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

#### **6.2.4 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI**

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) devono essere effettuate nel rispetto dei principi e delle procedure indicate al § 2.6 .

##### **6.2.4.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)**

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU), come definito al §2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove  $E_{inst,d}$  è il valore di progetto dell'azione instabilizzante,  $E_{stb,d}$  è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori  $\gamma_f$  riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), come definiti al § 2.6.1, deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad (6.2.1)$$

essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]  
essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad (6.2.2a)$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right], \quad (6.2.2b)$$

e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]. \quad (6.2.3)$$

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri geotecnici di progetto  $X_k/\gamma_M$  e dei parametri geometrici di progetto  $a_d$ . Il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con  $\gamma_E = \gamma_F$ .

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1, la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

Per le verifiche nei confronti di stati limite ultimi non espressamente trattati nei successivi paragrafi, da 6.3 a 6.11, si utilizza l'Approccio 1 con le due combinazioni (A1+M1+R1) e (A2+M2+R2). I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

## 7 SISMICITÀ DELL'AREA

In base alla normativa riguardante la situazione sismica del territorio, con riferimento al D.M. Min. LLPP 16 Gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche", il Comune di Castel Guelfo, ricadeva in una zona classificata in classe II.

Nel mese di Marzo 2003 è stata redatta una bozza al fine di definire un sistema normativo per la progettazione antisismica e acquisire dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. In riferimento a tale bozza il Comune di Castel Guelfo ricade in classe 2, indicativa di zona a media pericolosità sismica.

Con l'entrata in vigore, il 24/10/2005, dell'OPCM n. 3274/2003 e successive modifiche, in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e del D.M. 14/09/2005 recante "Norme tecniche per le costruzioni", il Comune di Castel Guelfo è stato classificato in classe di sismicità 2 (zona a media sismicità).

Estratto dal D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni":

### 3.2 AZIONE SISMICA

#### 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.*

*I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.*

*La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:*

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

*hi spessore dell'i-esimo strato;*

- $V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;
- $N$  numero di strati;
- $H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

### **Condizioni topografiche**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

### 7.1 Caratterizzazione sismica del terreno attraverso prove HVSR

#### Acquisizione HVSR

La strumentazione utilizzata è costituita dal tomografo digitale "TrominoR" in grado di acquisire il microtremore e più precisamente il rumore sismico ambientale a corto periodo.

Il rumore sismico è infatti presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e delle onde S negli strati superficiali.

Il metodo teorico utilizzato per l'analisi tomografica è riferibile a quello dei rapporti spettrali di Nakamura o metodo HVSR.

Questo si basa sullo studio dei valori medi di ampiezza tra le componenti spettrali del rumore sismico misurate sul piano verticale.

Particolare attenzione viene data alla funzione orizzontale/verticale H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), poiché rappresenta i valori medi della frequenza di vibrazione e consente in media di eliminare il ruolo delle variazioni di intensità della sorgente nel corso della registrazione.

L'elaborazione delle misure di microtremore è efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza  $f_r$  del sottosuolo:

$$f_r = V_s/4 \cdot H \text{ con } H = \text{spessore dello strato}$$

In questo modo, le misure tomografiche forniscono un utile supporto alla ricostruzione di sottosuolo ed alla preliminare valutazione della pericolosità sismica, sulla base della stima delle frequenze amplificanti caratteristiche del terreno.

Si tratta dunque di un'indagine non invasiva e l'acquisizione avviene tramite l'utilizzo di un sensore costituito da tre accelerometri, orientati in modo da ottenere il rumore sismico lungo le componenti: Nord-Sud; Est-Ovest; Alto-basso.

Lo strumento consente di effettuare misure secondo tre differenti frequenze di acquisizione (128 – 256 – 512 Hz) a seconda delle finalità d'indagine e delle caratteristiche sismiche del sottosuolo.

La traccia acquisita viene elaborata tramite l'utilizzo del software proprietario GrillaR che consente di effettuare preliminarmente il necessario "smoothing" (lisciamento) del segnale, poi la rappresentazione grafica dell'amplificazione H/V-f (Hz).

Per il campionamento del segnale tomografico si è scelta la frequenza di 128 Hz, necessaria per avere informazioni più dettagliate relative ai sedimenti profondi, ed una durata dell'acquisizione di 20 minuti. L'elaborazione con il software Grilla è impostata con lisciamento del segnale acquisito pari al 10%. Per la prova espletata, la registrazione ha necessitato di una successiva eliminazione del rumore, pari al 30% della traccia acquisita.

Inizio registrazione: 19/02/21 08:54:30                    fine registrazione: 19/02/21 09:14:30

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h 20' 00".                    Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

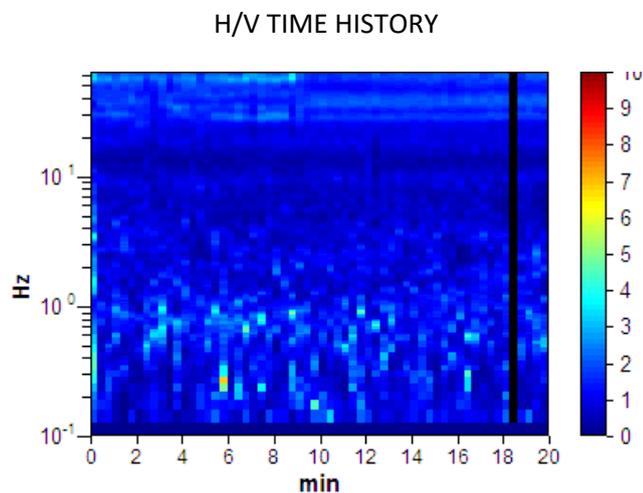
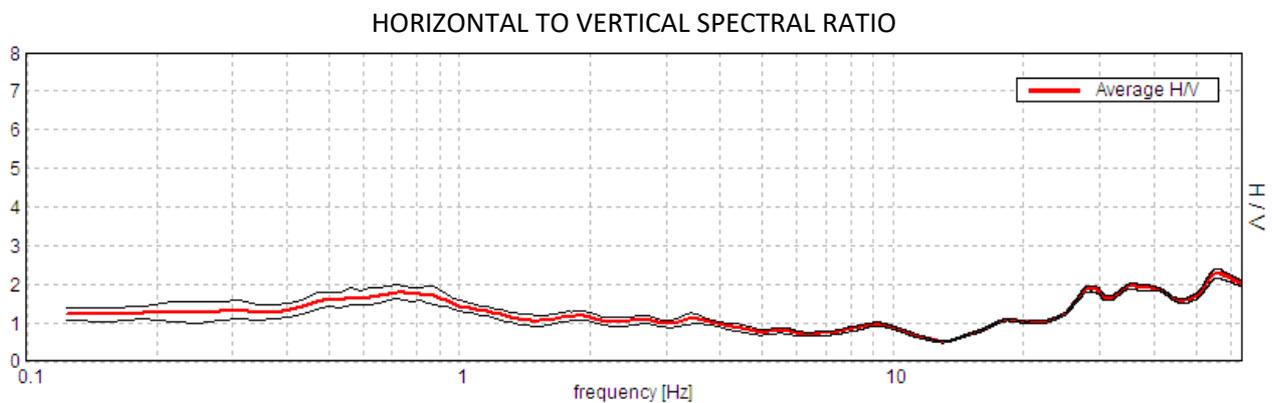
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

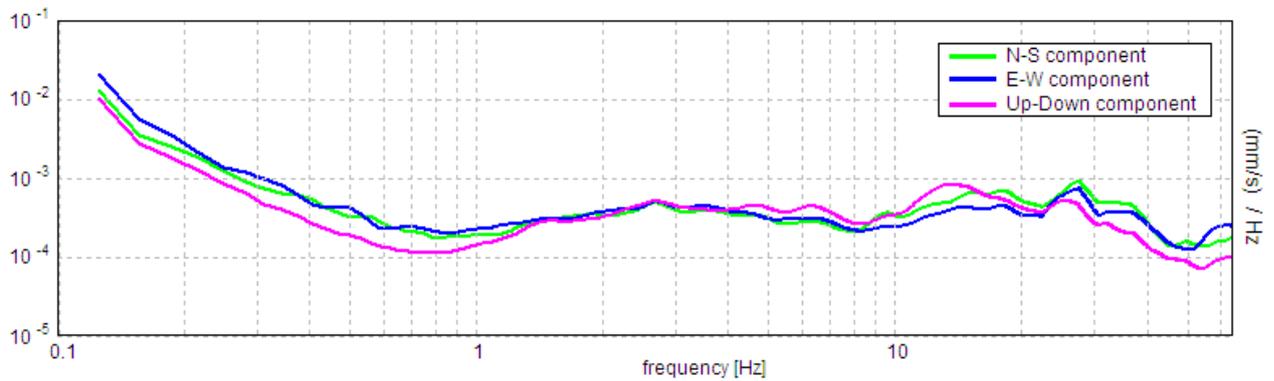
Lisciamento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

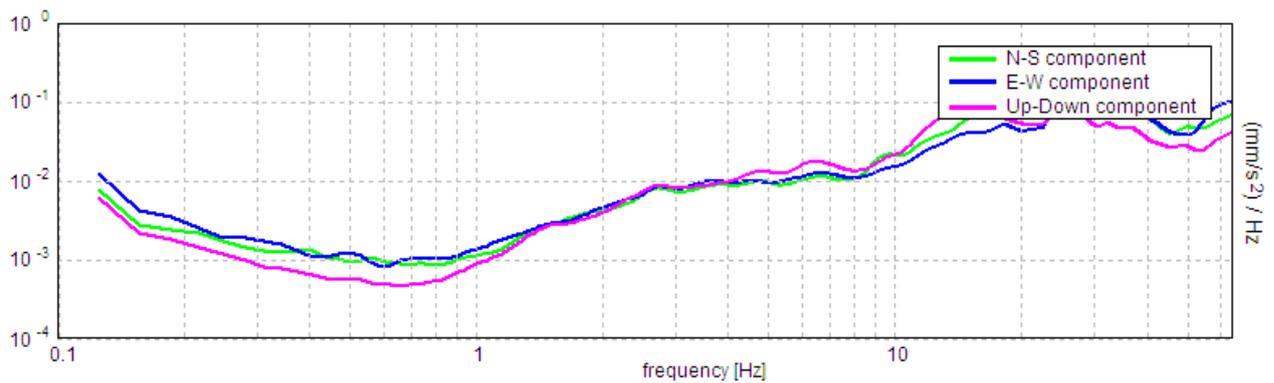


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

### SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

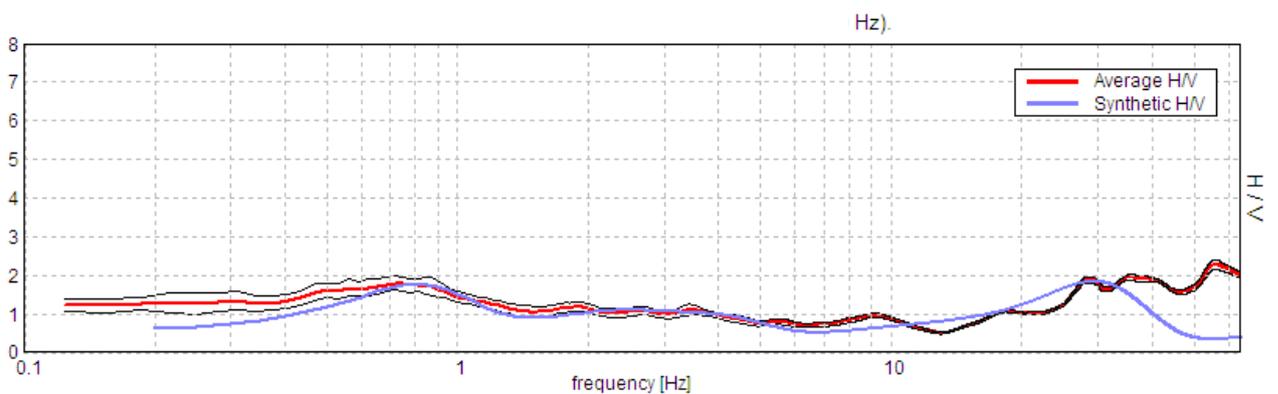


### SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



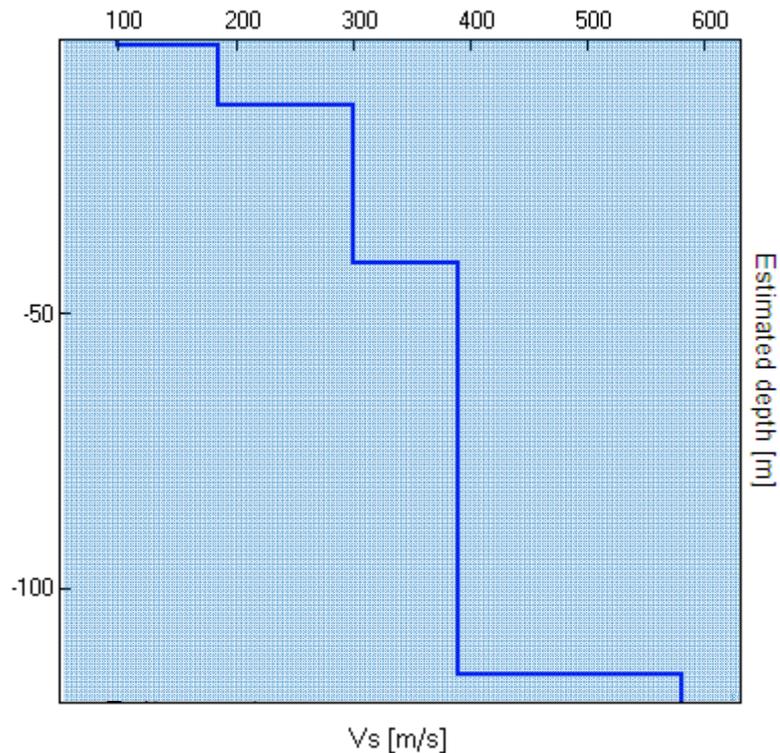
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

### EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità.

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
Terreno vegetale	0.80	0.80	100
Limi e argille tenere, ghiaie	11.80	11.00	185
Limi e argille medie	40.80	29.00	300
Limi e argille compatte	115.80	75.00	390
Substrato argilloso non rigido	inf.	inf.	580



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 254 \text{ m/s} \pm 55 \text{ m/s}$$

**Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.**

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borcherdt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V <sub>s</sub> min [m/s]	V <sub>s</sub> media [m/s]	V <sub>s</sub> max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI</b> (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

Max. H/V at 27.94 ± 1.24 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).			
<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	27.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	66006.3 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1154	OK	
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	23.969 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.28 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02949  < 0.05$	OK	
$s_f < e(f_0)$	1.24321 < 2.79688	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	0.1325 < 1.58	OK	

La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è  $F_0 \cong 28 \text{ Hz}$

La frequenza di risonanza secondaria del terreno è  $F_0 \cong 0,8 \text{ Hz}$

**PARAMETRI SISMICI** da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

**Sito in esame: C**

Coordinate espresse in ED50: Latitudine: 44,443519° Longitudine: 11,614646°

Coordinate espresse in WGS84: Latitudine: 44.442581° Longitudine: 11.613660°

**Classe d'uso I: costruzioni con presenza occasionale di persone, edifici agricoli.**

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe d'uso III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi; industrie con attività pericolose per l'ambiente; reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV; ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza; dighe rilevanti per un loro eventuale collasso.

Classe d'uso IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della Protezione Civile in caso di calamità. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie di collegamento tra capoluoghi di provincia, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per le vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e centrali idroelettriche.

**Siti di riferimento:**

	ID	Latitudine °	Longitudine °	Distanza
Sito 1 18068	17178	44,4198	11,6008	2855,156
Sito 2	17179	44,4209	11,6707	5113,809
Sito 3	16957	44,4709	11,6693	5296,384
Sito 4	16956	44,4698	11,5993	3166,896

Categoria suolo: **C**

Categoria topografica: **T1**

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente  $C_u$ : 1,0

**Parametri sismici:**

	$P_{VR}$ %	Tr (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività SLO	81	30	0,060	2,445	0,260
Danno SLD	63	35	0,064	2,438	0,263
Salvaguardia vita SLV	10	332	<b>0,170</b>	2,386	0,296
Prevenzione collasso SLC	5	682	0,218	2,412	0,309

$P_{VR}$  = probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R = 35$  anni

Tr = periodo di riferimento

ag = accelerazione di gravità

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

**Coefficienti sismici:**

	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s <sup>2</sup> )	Beta (-)
SLO	1,500	1,640	1,000	0,018	0,009	0,875	0,200
SLD	1,500	1,630	1,000	0,019	0,010	0,943	0,200
SLV	1,460	1,570	1,000	0,059	0,030	<b>2,428</b>	0,240
SLC	1,380	1,550	1,000	0,084	0,042	2,955	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica Amax = acc. max attesa al sito

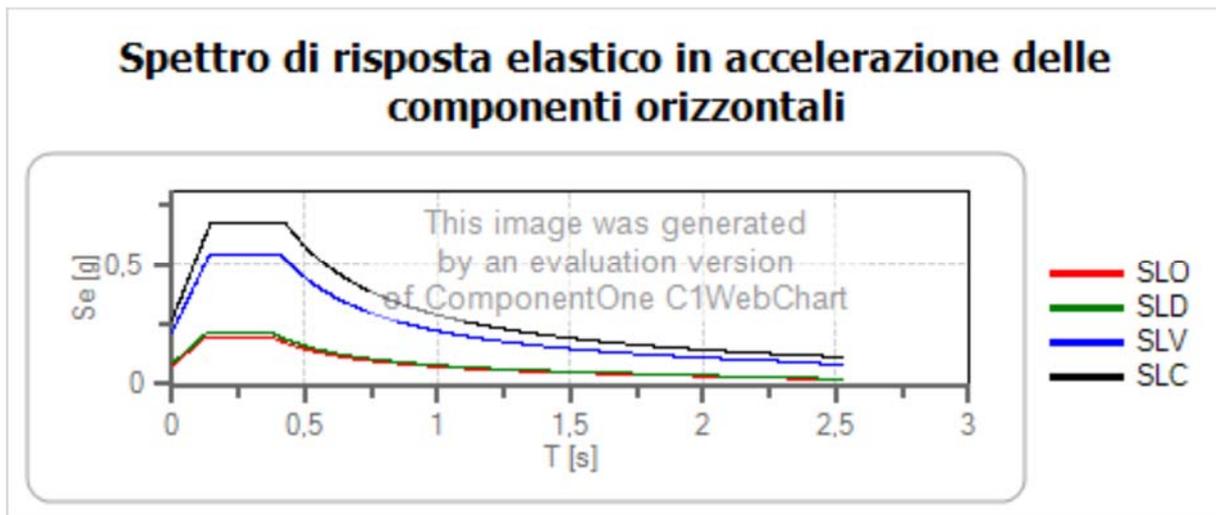
Kh = coeff, sismico verticale

Kv = coeff. Sismico orizzontale

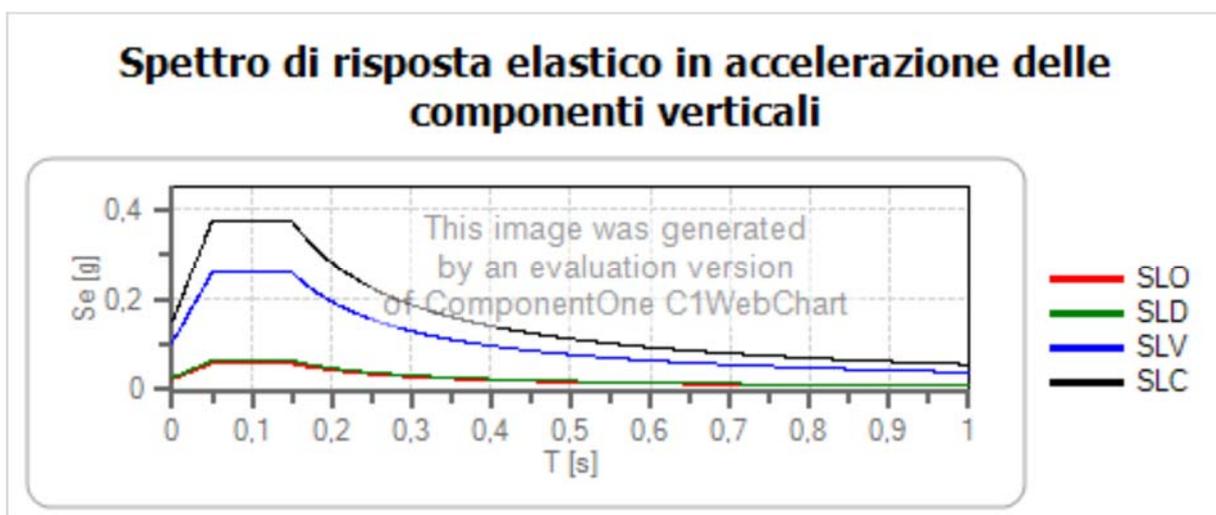
Beta = coeff. riduzione acc.max

Zona 1 = 0,35g **Zona 2 = 0,25g** Zona 3 = 0,15g Zona 4 = 0,05g

**SPETTRI DI RISPOSTA** da GEOSTRU

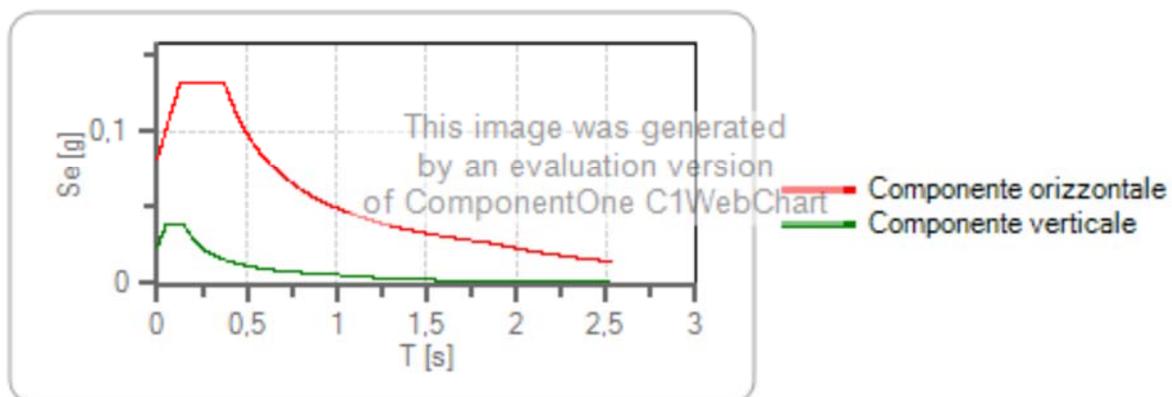


	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	0,7	0,060	2,445	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,838
SLD	0,7	0,064	2,438	0,263	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,143	0,429	1,856
SLV	0,7	0,170	2,386	0,296	1,460	1,570	1,000	1,460	1,000	0,155	0,465	2,278
SLC	0,7	0,218	2,412	0,309	1,380	1,550	1,000	1,380	1,000	0,159	0,478	2,473



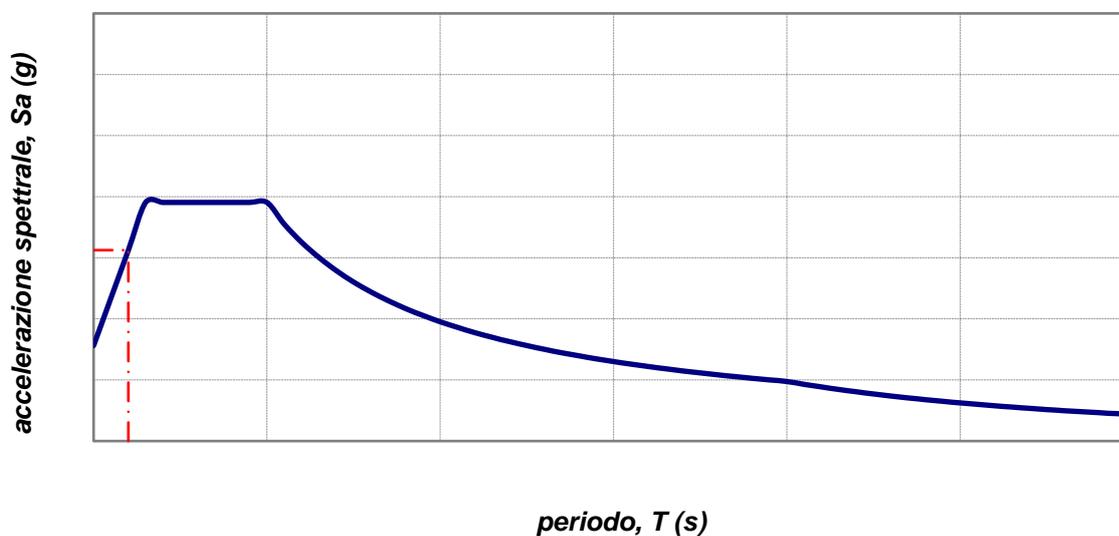
	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	0,7	0,060	2,445	0,260	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	0,7	0,064	2,438	0,263	1,000	1,630	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	0,7	0,170	2,386	0,296	1,000	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	0,7	0,218	2,412	0,309	1,000	1,550	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

### Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO h	0,7	0,060	2,445	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,500	0,142	0,427	1,838
SLO v	0,7	0,060	2,445	0,260	1,500	1,640	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

### Spettro risposta elastico orizzontale su suolo rigido



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa	Struttura
<b>Margine B</b>	<b>C</b>	0.25	1.25	0.15	0.5	2	0	0,0	0,3125	vasche
<b>Margine B</b>	<b>C</b>	0.25	1.25	0.15	0.5	2	1	0,1	0,625	silos

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

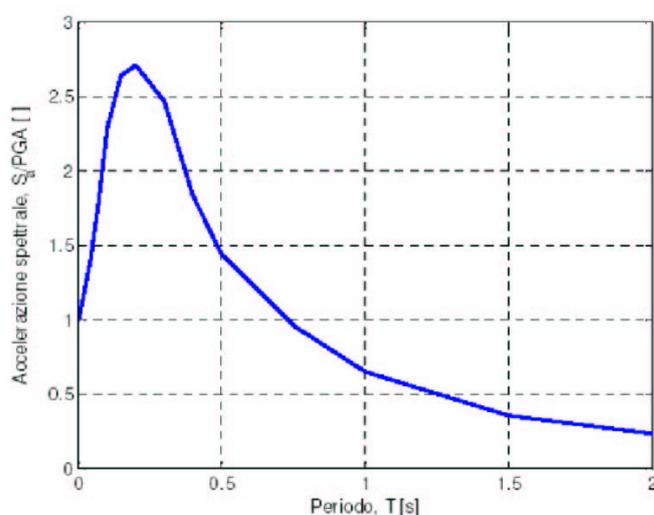


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	0,00	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
Sa/a <sub>ref</sub>	<b>1,0000</b>	<b>2,2100</b>	2,6080	2,6562	2,4033	1,9394	1,5050	0,9172	0,6359	0,3608	0,2462

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

**Valore di  $a_{refg}$  per il comune di Castel Guelfo = 0,1987**

dove  $a_{refg}$  = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ )

#### Categorie topografiche del terreno

<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	St = 1
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	St =1.2
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	St =1.2
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	St =1.4

## Categorie suolo di fondazione

	Descrizione del profilo stratigrafico	V <sub>s30</sub> (m/s)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180 – 360

### Parametri per il profilo stratigrafico

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

L'area di intervento è collocata nel territorio comunale di Castel Guelfo, l'area di indagine è morfologicamente classificabile come **Margine appenninico padano di tipo B**.

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità 250 m/s.

### ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

**Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica** (DGR n.2193 del 21/12/2015)

**F.A. P.G.A.:** rapporto tra massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza  $f$ .

**F.A. S.I.:** Intensità spettrale di Housner, indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo velocità relative ai tre intervalli.

**MARGINE APPENNINICO-PADANO:** settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è

generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m;

**MARGINE di tipo B:** caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

Vs30	150	200	250	300	350	400
F.A. P.G.A	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5

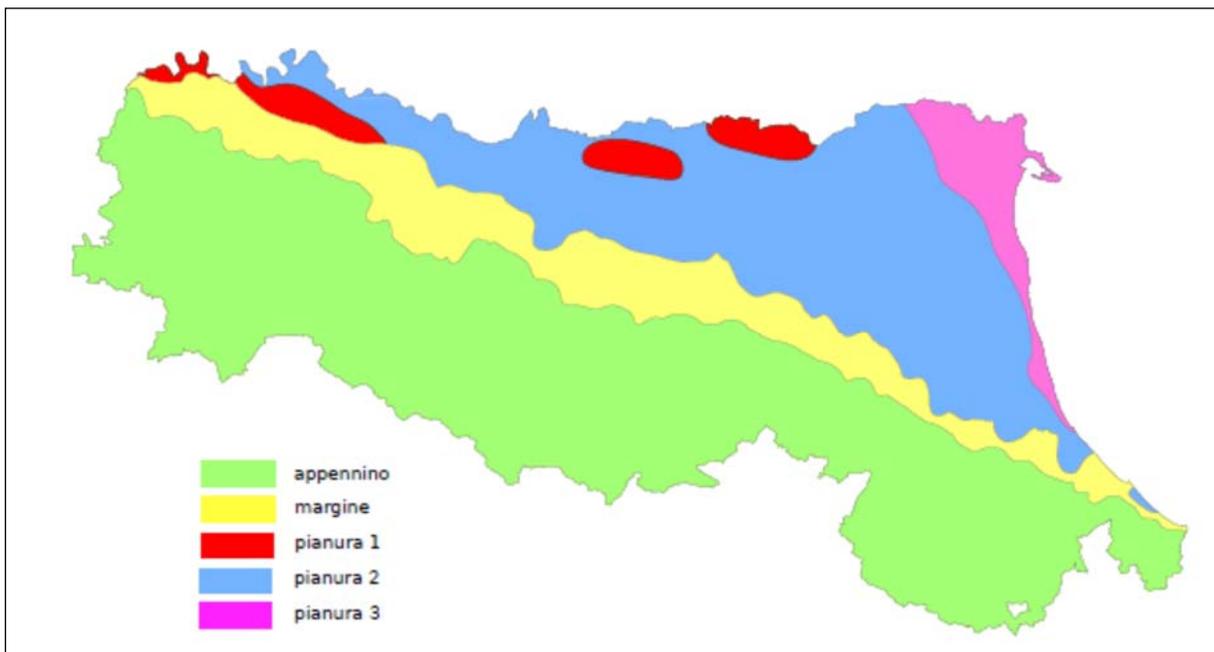
Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs30	150	200	<b>250</b>	300	350	400
F.A SI1	1.9	1.9	<b>1.9</b>	1.8	1.7	1.6
F.A SI2	2.9	2.8	<b>2.5</b>	2.3	2.1	2.0
F.A SI3	3.3	3.1	<b>2.7</b>	2.4	2.2	2.0

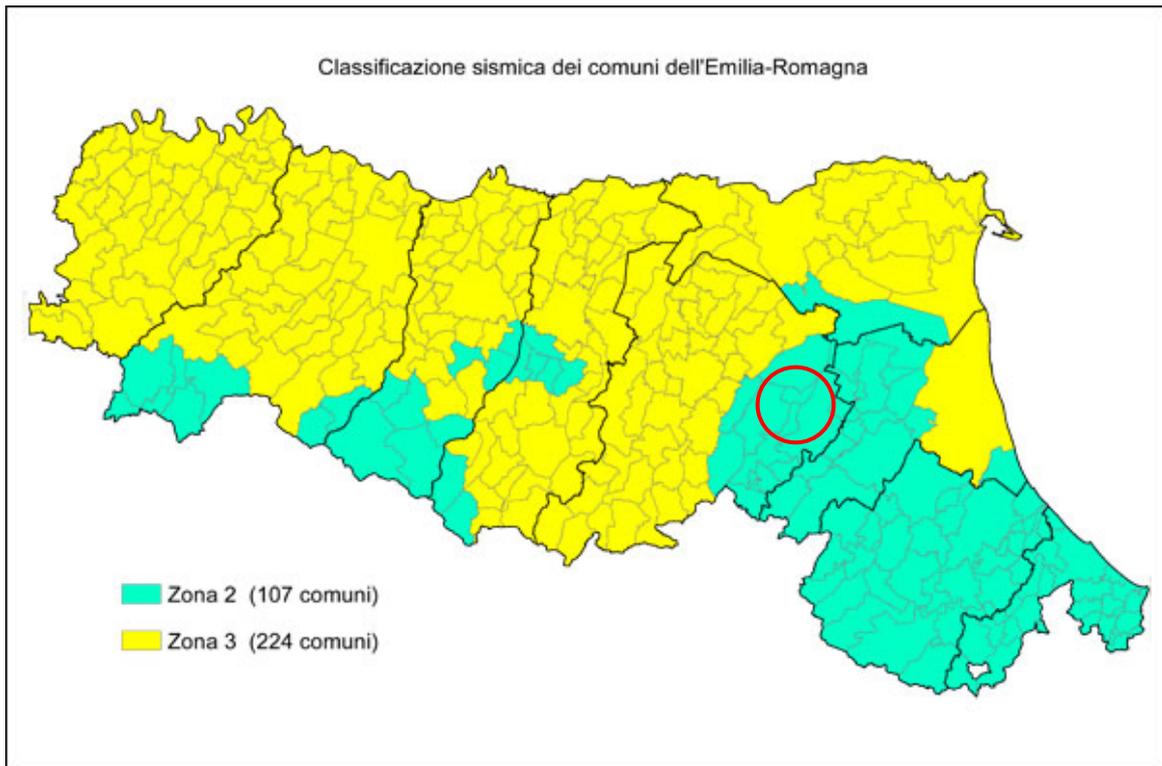
Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

Vs30	150	200	<b>250</b>	300	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	<b>1,8</b>	1,7	1,7	1,5
F.A SA2	2,6	2,6	<b>2,3</b>	2,1	1,9	1,7
F.A SA3	3,1	2,9	<b>2,7</b>	2,4	2,3	2,1
F.A SA4	3,0	2,9	<b>2,6</b>	2,3	2,1	1,9

F.A. **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) e **SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Castel Guelfo

**SINTESI**

- Il terreno indagato è classificabile come sito **C**;
- La velocità stimata è pari a **Vs30 = 254 m/s**;
- Il manufatto previsto è classificato come classe d'uso **I**;
- La frequenza caratteristica del sito è **Fo ≅ 28 Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è **ag = 0,170 (SLV)**;
- L'accelerazione massima è **Amax = 2,428 (SLV)**;
- L'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità per Castel Guelfo è **g (a<sub>refg</sub>) = 0,1987**;
- La categoria topografica è **T1**;
- L'area ricade in **Zona 2 = 0,25g**;
- L'area è classificabile come **Margine appenninico padano di tipo B**;
- Si assumono indicativamente come coefficienti di amplificazione sismica su base regionale quelli relativi alla fascia di velocità pari a 250 m/s;
- **tali coefficienti non sono vincolanti ai fini della progettazione:**

<b>PGA = 1,6</b>	<b>SA1 per l'intervallo 0,1s &lt; T0 &lt; 0,5s = 1,8</b>
<b>SI1 per l'intervallo 0,1s &lt; T0 &lt; 0,5s = 1,9</b>	<b>SA2 per l'intervallo 0,4s &lt; T0 &lt; 0,8s = 2,3</b>
<b>SI2 per l'intervallo 0,5s &lt; T0 &lt; 1,0s = 2,5</b>	<b>SA3 per l'intervallo 0,7s &lt; T0 &lt; 1,1s = 2,7</b>
<b>SI3 per l'intervallo 0,5s &lt; T0 &lt; 1,5s = 2,7</b>	<b>SA4 per l'intervallo 0,5s &lt; T0 &lt; 1,5s = 2,6</b>

## 7.2 Verifica a liquefazione

La liquefazione delle sabbie è un processo che può avvenire durante un evento sismico: essa nasce dall'incremento della pressione dell'acqua interstiziale ( $u$ ) durante sollecitazioni di tipo ciclico.

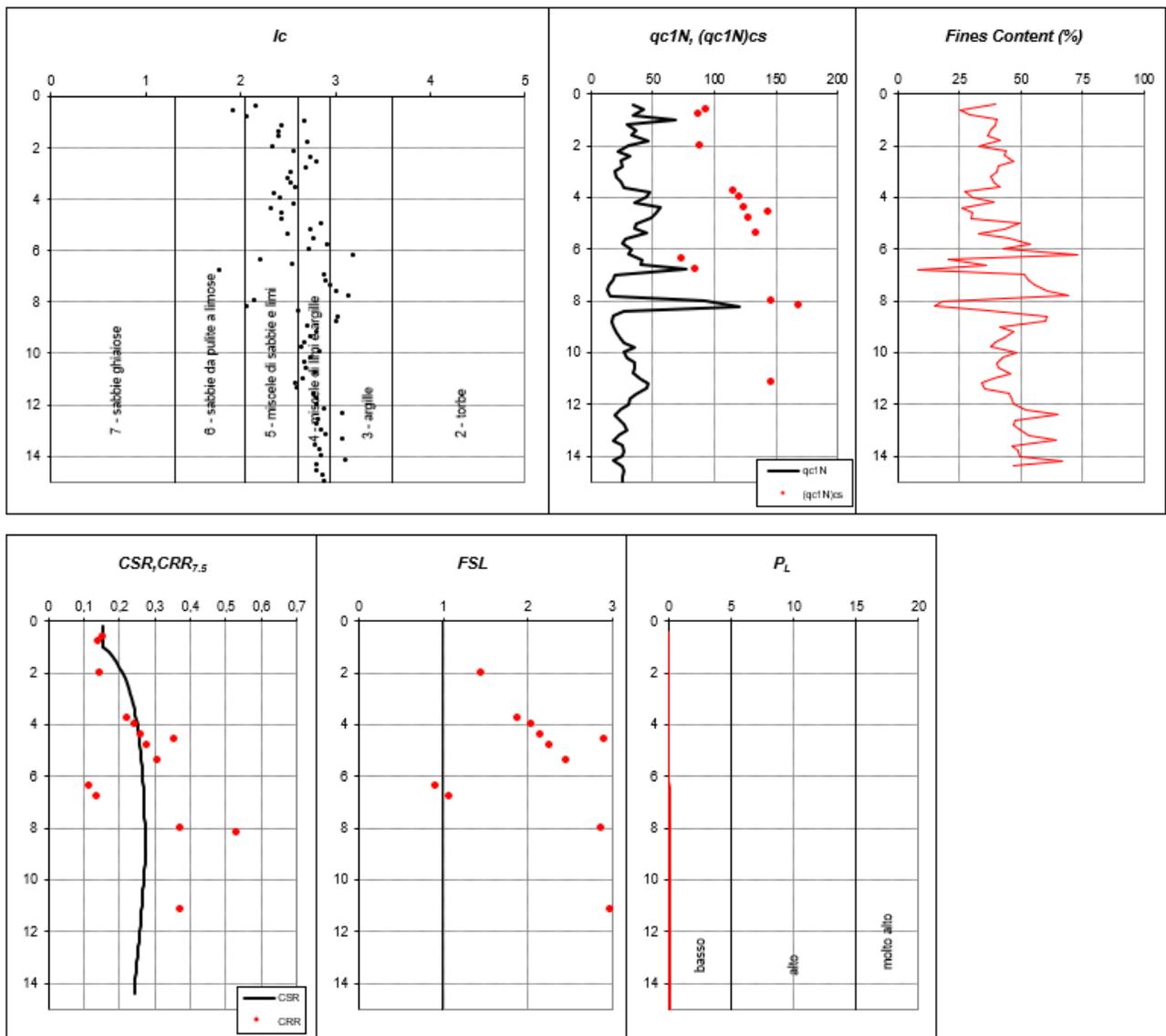
Se tale aumento è tale da eguagliare la pressione litostatica totale, si ha l'annullamento della resistenza al taglio, secondo la seguente relazione:

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi$$

Le verifiche effettuate, effettuate sulla prova CPT2, che ha raggiunto la profondità di 15 m indicano un rischio di liquefazione nullo.

Vista la scarsa consistenza di spessi strati di terreno ( $C_u < 70$  kPa) riscontrato dalle prove effettuate possono essere attesi cedimenti postsismici.

### CPTU 2



## 8 CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati ottenuti si può stabilire quanto segue:

- Le due prove, nonostante siano state eseguite a poca distanza l'una dall'altra (8 - 10 m), hanno individuato stratigrafie differenti; in particolare la CPT1 ha individuato terreni argilloso limosi e limoso sabbiosi fino a 7,6 m seguiti da sabbie e ghiaie fino a 10,0 m. La prova CPT 2 ha identificato alternanze di livelli argilloso limosi, limoso sabbiosi fino a 9,2 m, seguiti da terreni sabbiosi limosi fino a 15 m.
- Al momento delle prove è stata rilevata la presenza di falda freatica alla profondità di circa 3,0 m dal p.c., tale livello misurato può subire oscillazioni verticali al variare delle stagioni e in seguito a precipitazioni prolungate e/o intense.
- Tramite l'elaborazione dei risultati delle prove si è stimata la distribuzione della velocità delle onde di taglio nei sedimenti ( $V_s$ ), **in particolare si è misurata una  $V_{s30}$  a partire dal suolo pari circa a  $254 \pm 55$  m/s. Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C;** trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.
- Le caratteristiche di consistenza dei terreni assicurano l'impossibilità di liquefazione dei terreni in presenza di evento sismico.
- Si segnala la presenza di strati di terreno di spessore considerevole con scarsa consistenza ( $C_u < 70$  kPa) riscontrati dalle prove effettuate che debbono essere presi in considerazione per la progettazione strutturale e potrebbero innescare cedimenti postsismici.

Imola 25 febbraio 2021

Il geologo

Dott. Maurizio Castellari



**CA** studio  
associato

## **Allegato 1**

# **Grafici delle prove penetrometriche**

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari  
 - lavoro : nuove vasche  
 - località : Gea Depurazioni, Poggio Piccolo (BO)  
 - note :

- data : 24/02/2021  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 3,00 m da quota inizio  
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,47	----	5,20	28,0	41,0	28,0	1,47	19,0
0,40	45,0	52,0	45,0	2,20	20,0	5,40	29,0	51,0	29,0	1,87	16,0
0,60	46,0	79,0	46,0	1,53	30,0	5,60	52,0	80,0	52,0	1,27	41,0
0,80	10,0	33,0	10,0	0,60	17,0	5,80	28,0	47,0	28,0	0,87	32,0
<b>1,00</b>	9,0	18,0	9,0	0,40	22,0	<b>6,00</b>	27,0	40,0	27,0	2,27	12,0
1,20	12,0	18,0	12,0	0,47	26,0	6,20	55,0	89,0	55,0	1,33	41,0
1,40	18,0	25,0	18,0	0,67	27,0	6,40	44,0	64,0	44,0	0,80	55,0
1,60	19,0	29,0	19,0	1,47	13,0	6,60	17,0	29,0	17,0	2,60	7,0
1,80	14,0	36,0	14,0	0,60	23,0	6,80	95,0	134,0	95,0	1,47	65,0
<b>2,00</b>	16,0	25,0	16,0	0,73	22,0	<b>7,00</b>	20,0	42,0	20,0	0,73	27,0
2,20	15,0	26,0	15,0	1,20	12,0	7,20	22,0	33,0	22,0	0,60	37,0
2,40	13,0	31,0	13,0	0,73	18,0	7,40	20,0	29,0	20,0	0,93	21,0
2,60	16,0	27,0	16,0	0,80	20,0	7,60	25,0	39,0	25,0	2,67	9,0
2,80	8,0	20,0	8,0	0,27	30,0	7,80	155,0	195,0	155,0	3,67	42,0
<b>3,00</b>	9,0	13,0	9,0	0,27	34,0	<b>8,00</b>	173,0	228,0	173,0	3,07	56,0
3,20	19,0	23,0	19,0	0,60	32,0	8,20	210,0	256,0	210,0	1,67	126,0
3,40	15,0	24,0	15,0	0,73	20,0	8,40	217,0	242,0	217,0	1,53	142,0
3,60	17,0	28,0	17,0	0,80	21,0	8,60	145,0	168,0	145,0	3,33	44,0
3,80	22,0	34,0	22,0	0,73	30,0	8,80	172,0	222,0	172,0	4,47	39,0
<b>4,00</b>	23,0	34,0	23,0	0,93	25,0	<b>9,00</b>	173,0	240,0	173,0	1,93	89,0
4,20	30,0	44,0	30,0	1,13	26,0	9,20	130,0	159,0	130,0	2,87	45,0
4,40	32,0	49,0	32,0	1,33	24,0	9,40	264,0	307,0	264,0	1,73	152,0
4,60	29,0	49,0	29,0	0,47	62,0	9,60	223,0	249,0	223,0	2,20	101,0
4,80	35,0	42,0	35,0	1,33	26,0	9,80	216,0	249,0	216,0	1,27	171,0
<b>5,00</b>	22,0	42,0	22,0	0,87	25,0	<b>10,00</b>	234,0	253,0	234,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari  
 - lavoro : nuove vasche  
 - località : Gea Depurazioni, Poggio Piccolo (BO)  
 - note :

- data : 24/02/2021  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - prof. falda : 3,00 m da quota inizio  
 - pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	0,73	----	7,80	12,0	24,0	12,0	1,73	7,0
0,40	17,0	28,0	17,0	0,40	42,0	<b>8,00</b>	79,0	105,0	79,0	2,20	36,0
0,60	21,0	27,0	21,0	0,33	63,0	8,20	105,0	138,0	105,0	0,53	197,0
0,80	17,0	22,0	17,0	1,07	16,0	8,40	23,0	31,0	23,0	0,93	25,0
<b>1,00</b>	13,0	29,0	13,0	0,47	28,0	8,60	16,0	30,0	16,0	0,73	22,0
1,20	13,0	20,0	13,0	0,67	19,0	8,80	15,0	26,0	15,0	0,27	56,0
1,40	17,0	27,0	17,0	0,53	32,0	<b>9,00</b>	16,0	20,0	16,0	0,60	27,0
1,60	16,0	24,0	16,0	0,73	22,0	9,20	19,0	28,0	19,0	0,67	28,0
1,80	12,0	23,0	12,0	0,33	36,0	9,40	22,0	32,0	22,0	0,73	30,0
<b>2,00</b>	15,0	20,0	15,0	0,40	37,0	9,60	26,0	37,0	26,0	1,20	22,0
2,20	12,0	18,0	12,0	0,47	26,0	9,80	34,0	52,0	34,0	1,33	25,0
2,40	10,0	17,0	10,0	0,33	30,0	<b>10,00</b>	27,0	47,0	27,0	1,20	22,0
2,60	8,0	13,0	8,0	0,27	30,0	10,20	30,0	48,0	30,0	1,47	20,0
2,80	9,0	13,0	9,0	0,27	34,0	10,40	36,0	58,0	36,0	1,60	22,0
<b>3,00</b>	12,0	16,0	12,0	0,27	45,0	10,60	37,0	61,0	37,0	2,00	18,0
3,20	13,0	17,0	13,0	0,40	32,0	10,80	36,0	66,0	36,0	2,00	18,0
3,40	15,0	21,0	15,0	0,60	25,0	<b>11,00</b>	44,0	74,0	44,0	2,00	22,0
3,60	17,0	26,0	17,0	0,67	25,0	11,20	50,0	80,0	50,0	2,07	24,0
3,80	26,0	36,0	26,0	0,73	35,0	11,40	51,0	82,0	51,0	2,33	22,0
<b>4,00</b>	25,0	36,0	25,0	1,00	25,0	11,60	41,0	76,0	41,0	2,00	20,0
4,20	24,0	39,0	24,0	0,87	28,0	11,80	37,0	67,0	37,0	1,80	21,0
4,40	33,0	46,0	33,0	1,13	29,0	<b>12,00</b>	35,0	62,0	35,0	1,53	23,0
4,60	32,0	49,0	32,0	0,93	34,0	12,20	29,0	52,0	29,0	1,67	17,0
4,80	30,0	44,0	30,0	1,47	20,0	12,40	23,0	48,0	23,0	1,07	22,0
<b>5,00</b>	20,0	42,0	20,0	1,00	20,0	12,60	28,0	44,0	28,0	1,47	19,0
5,20	20,0	35,0	20,0	1,07	19,0	12,80	33,0	55,0	33,0	2,13	15,0
5,40	30,0	46,0	30,0	0,73	41,0	<b>13,00</b>	37,0	69,0	37,0	1,60	23,0
5,60	17,0	28,0	17,0	1,00	17,0	13,20	30,0	54,0	30,0	1,67	18,0
5,80	16,0	31,0	16,0	0,93	17,0	13,40	24,0	49,0	24,0	1,40	17,0
<b>6,00</b>	21,0	35,0	21,0	3,47	6,0	13,60	34,0	55,0	34,0	1,80	19,0
6,20	20,0	72,0	20,0	0,33	60,0	13,80	36,0	63,0	36,0	1,73	21,0
6,40	31,0	36,0	31,0	1,27	24,0	<b>14,00</b>	35,0	61,0	35,0	1,87	19,0
6,60	33,0	52,0	33,0	0,27	124,0	14,20	25,0	53,0	25,0	1,53	16,0
6,80	60,0	64,0	60,0	0,53	112,0	14,40	36,0	59,0	36,0	1,60	22,0
<b>7,00</b>	14,0	22,0	14,0	0,47	30,0	14,60	37,0	61,0	37,0	2,00	18,0
7,20	13,0	20,0	13,0	0,33	39,0	14,80	37,0	67,0	37,0	2,07	18,0
7,40	11,0	16,0	11,0	0,33	33,0	<b>15,00</b>	37,0	68,0	37,0	-----	----
7,60	10,0	15,0	10,0	0,80	12,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -  
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s  
 - punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
 - manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

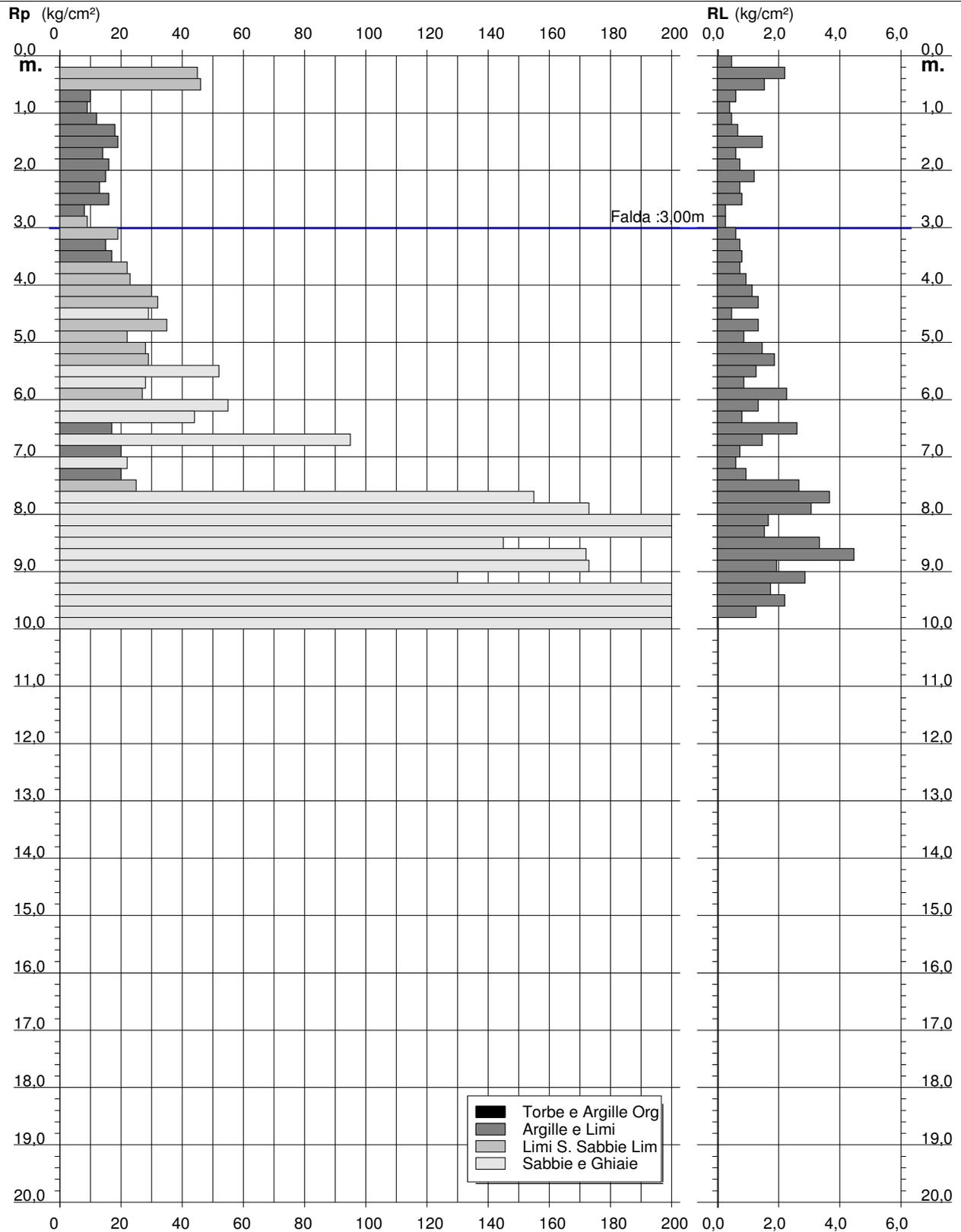
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 1

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari  
- lavoro : nuove vasche  
- località : Gea Depurazioni, Poggio Piccolo (BO)

- data : 24/02/2021  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



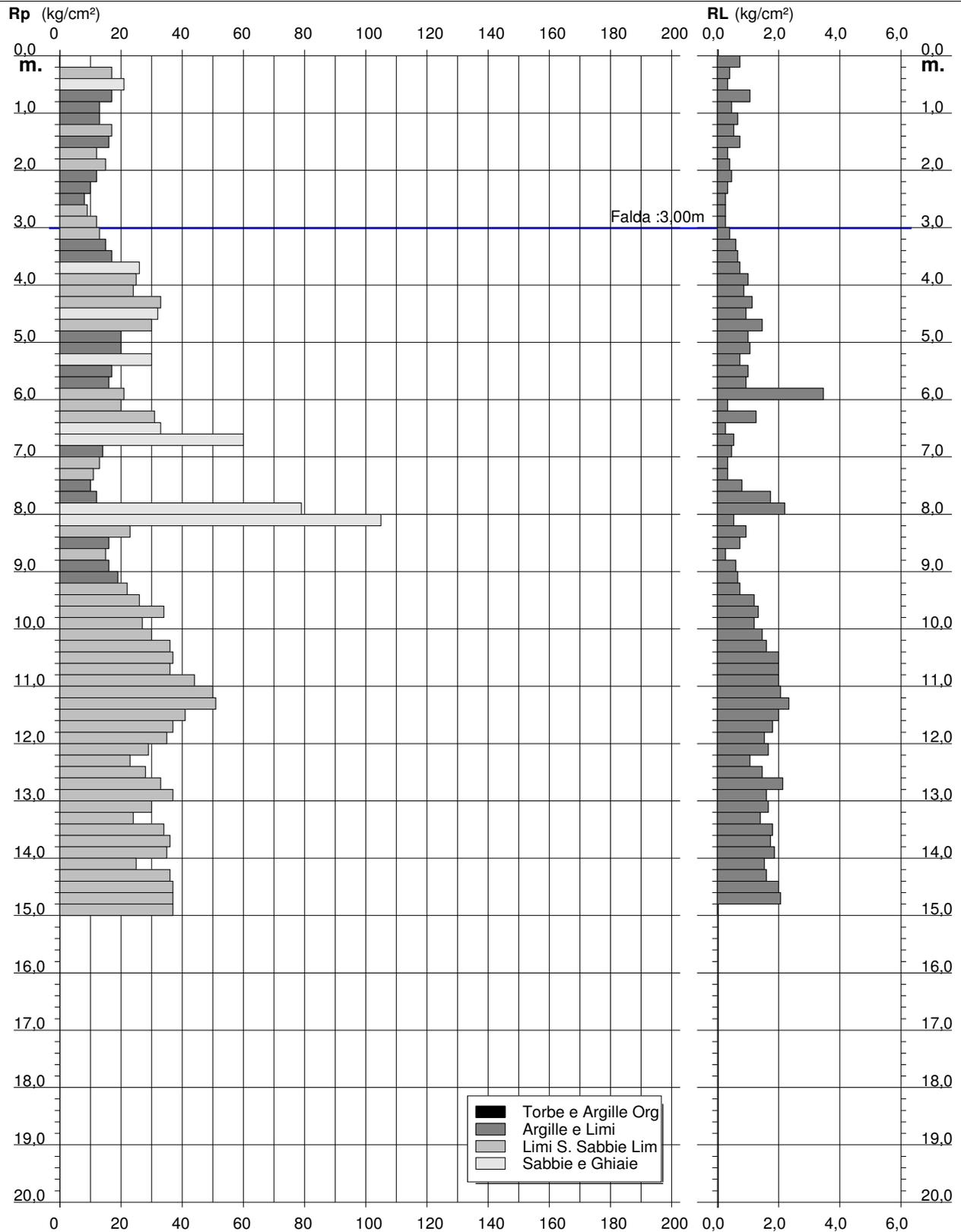
# PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

## CPT 2

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari  
- lavoro : nuove vasche  
- località : Gea Depurazioni, Poggio Piccolo (BO)

- data : 24/02/2021  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



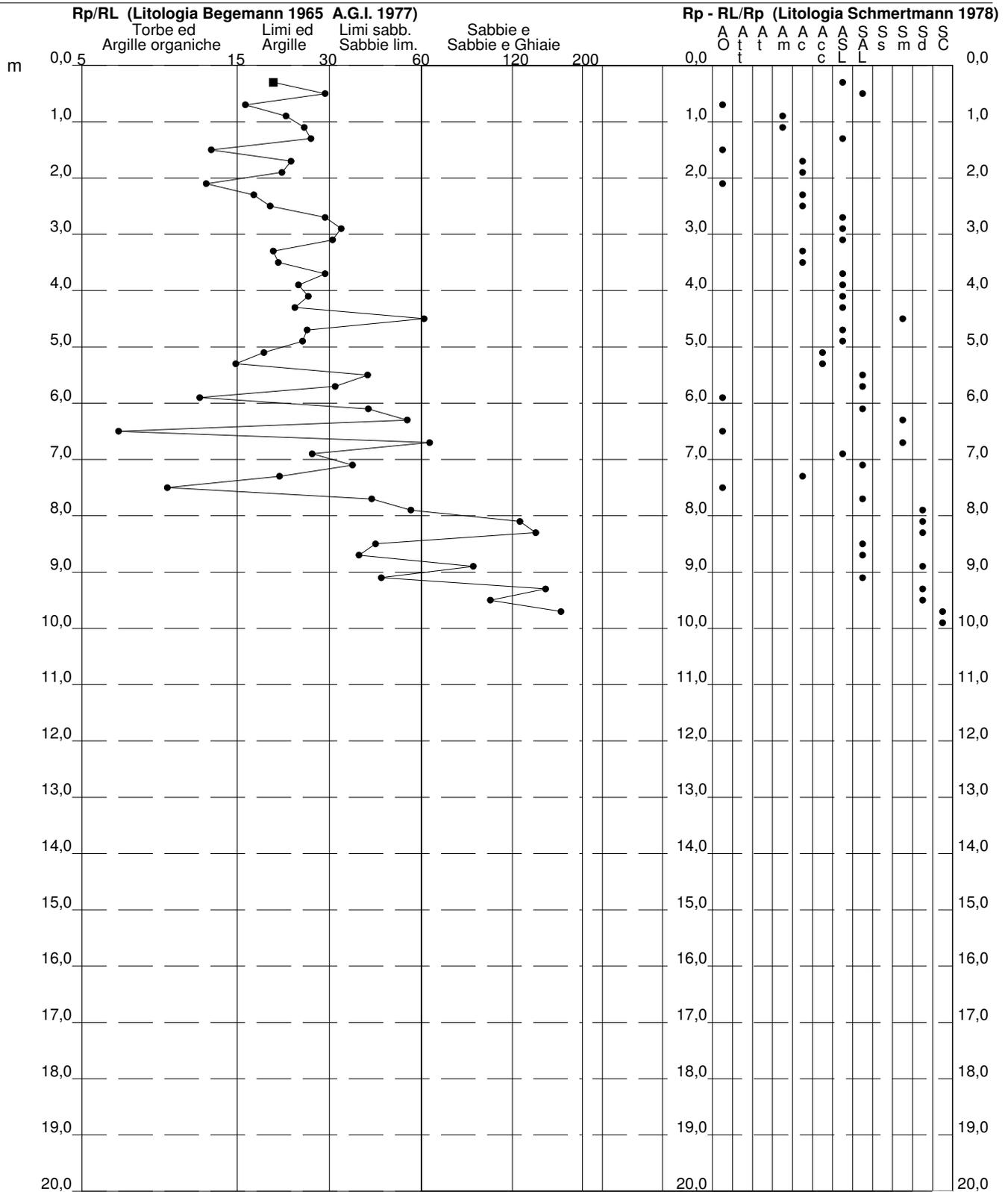
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 1**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari  
- lavoro : nuove vasche  
- località : Gea Depurazioni, Poggio Piccolo (BO)  
- note :

- data : 24/02/2021  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100



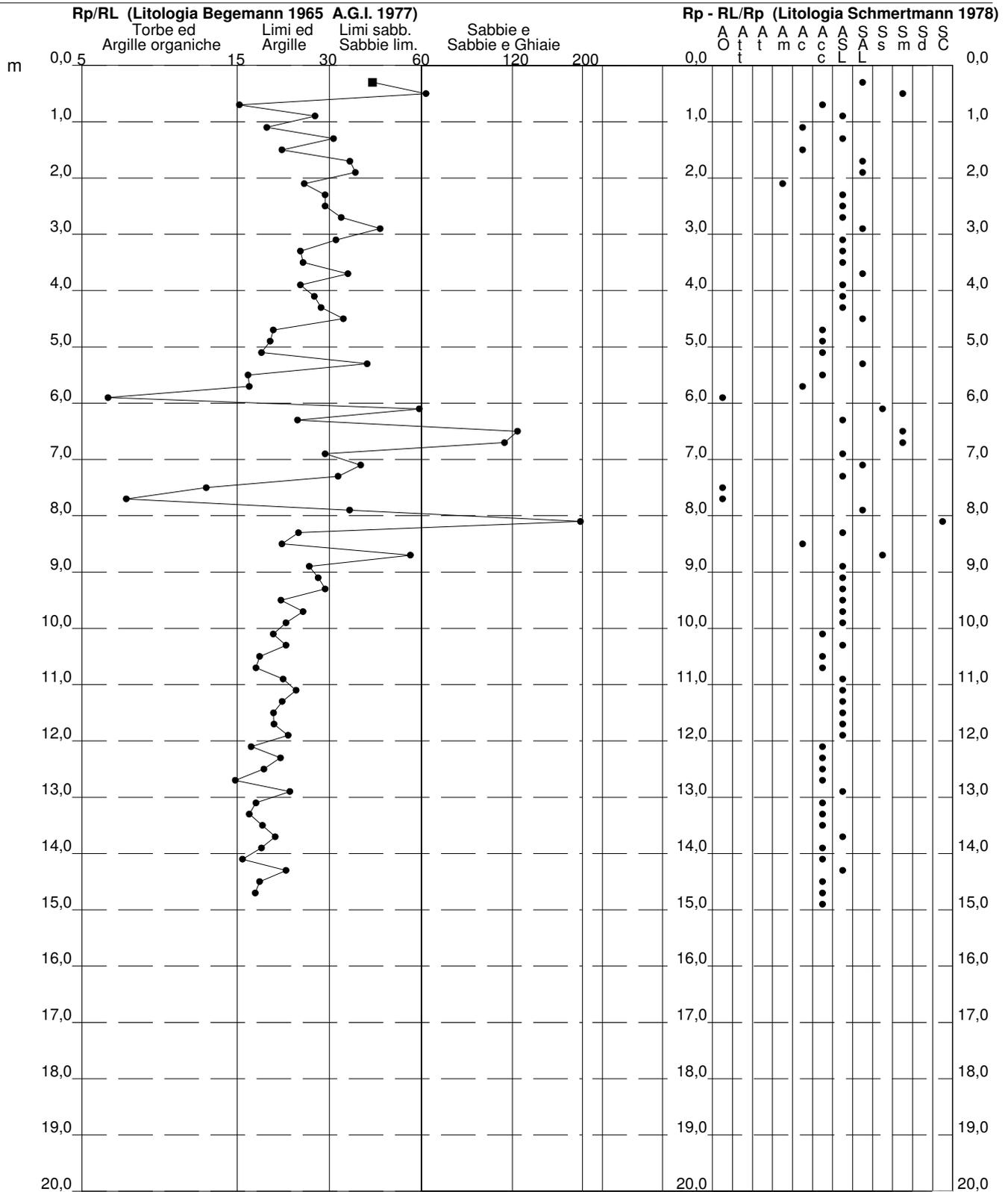
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
VALUTAZIONI LITOLOGICHE**

**CPT 2**

2.010496-071

- committente : Dott. Geol. Maurizio Castellari  
- lavoro : nuove vasche  
- località : Gea Depurazioni, Poggio Piccolo (BO)  
- note :

- data : 24/02/2021  
- quota inizio : Piano Campagna  
- prof. falda : 3,00 m da quota inizio  
- scala vert.: 1 : 100







**CA** studio  
associato

## **Allegato 2**

# **Indagine sismica**



**INDAGINE SISMICA mediante la tecnica del rapporto spettrale H/V a stazione singola eseguita con tromografo digitale TROMINO-Micromed ed elaborazione dei dati mediante software GRILLA-Micromed**

**CANTIERE: via dell'Agricoltura – Poggio Piccolo, Castel Guelfo (BO)**

**LAVORO: nuovi silos e vasche stoccaggio**

**COMMITTENTE: dr.geol. Maurizio Castellari**

*Faenza, Febbraio 2021*

*Dr. Geol. Bruno Gardegni*



## INDICE

Ubicazione indagine	3
Indagine geofisica e interpretazione	4
Parametri sismici e spettri di risposta	10
Spettri di risposta	12
Coefficienti di amplificazione sismica	15
Conclusioni	17

*Dr. Geol. Bruno Gardegni*



## UBICAZIONE INDAGINE

Scopo della presente relazione è la caratterizzazione sismica di un'area ubicata nel Comune di Castel Guelfo loc. Poggio Piccolo in via dell'Agricoltura dove è prevista la realizzazione di nuovi silos e vasche per stoccaggio di materiali di lavorazione industriale, pertanto è stata redatta una relazione geologica a cui verrà allegata la presente relazione sismica, inoltre sono state eseguite 2 prove penetrometriche statiche spinte fino alla profondità di 15 m, tali prove sono servite come supporto per l'interpretazione geofisica.

L'indagine è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale Tromino-Micromed, lo strumento è stato posizionato tra le prove penetrometriche eseguite.

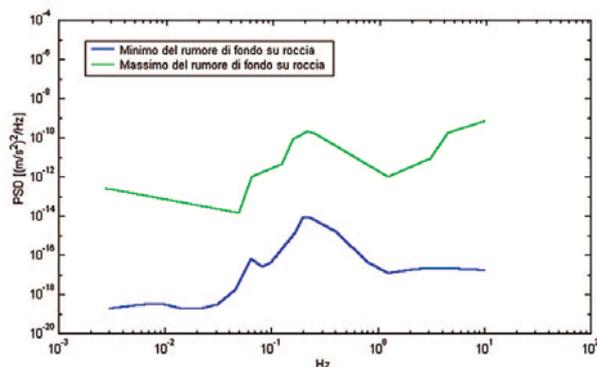
L'area è inquadrata nella carta topografica 1:25.000 della Regione Emilia-Romagna all'interno del quadrante 221 SE Medicina, nel C.T.R. 1:10.000 nella sezione 221160 Castel S. Pietro Nord e nel C.T.R. 1:5.000 è inquadrato nell'elemento 221164 Poggio.



● Ubicazione tromino - ● Prove CPT

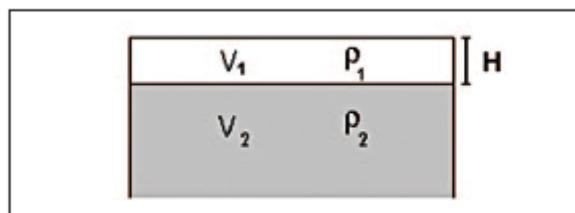
## INDAGINE GEOFISICA e INTERPRETAZIONE

Il rumore sismico ambientale o microtremore è generato da fenomeni atmosferici e attività antropica e riguarda oscillazioni molto piccole  $(10-15 \text{ m/s}^2)^2$  in termini di accelerazione. Nelle zone dove non è presente una sorgente di rumore locale o il terreno è roccioso o pianeggiante lo spettro in frequenza del rumore di fondo è rappresentato nel grafico sotto ed è costituito da un minimo, la curva blu, e da un massimo, la curva verde (secondo USGS).



Ai fini della caratterizzazione sismica del sottosuolo, l'indagine geofisica con apparecchio tromografico digitale **TROMINO**, avvalendosi del metodo di Nakamura sul rapporto spettrale H/V fornisce una valutazione diretta della  $V_{S30}$  in base all'individuazione delle discontinuità sismiche e della profondità della formazione rocciosa.

Le basi teoriche dell'H/V sono schematizzabili nel modello a seguire attraverso due strati, uno strato-tipo e lo strato bedrock o assimilabile al bedrock, gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e velocità delle onde ( $V_1$  e  $V_2$ ).



La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = V_{s1} / 4H$$

dove  $f$  è la frequenza e  $H$  lo spessore dello strato sismico.

Inoltre, questa tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) con apparecchio tromografico **TROMINO** permette anche di misurare la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro che è utilizzabile in termini di risposta sismica locale (RSL) per progettare edifici non con la stessa frequenza di risonanza del terreno, in modo da evitare l'effetto di doppia risonanza pericoloso per la stabilità degli edifici.

La  $V_{s30}$  viene calcolata o meglio stimata mediante un codice di calcolo apposito attraverso il software **GRILLA**, è necessario conoscere la profondità di un riflettore stratigrafico (prova penetrometrica o sondaggio) e riconoscibile dalla curva H/V.

La tecnica HVSR si basa in parte sulla sismica tradizionale dei microtrempi, cioè di oscillazioni molto piccole rispetto al sisma, il metodo di acquisizione dei dati è quindi detto passivo in quanto il rumore non è generato come nelle esplosioni della sismica attiva.

I dati sono stati acquisiti con un frequenza base di 128 Hz e convertiti in file ASCII mediante il software Grilla, il rumore sismico viene registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo di 20 o 30 minuti, suddiviso in intervalli della durata di 8 sec.

Successivamente si è operato alla costruzione di un modello teorico HVSR e, tramite un algoritmo, all'adattamento della curva sperimentale e quella teorica.

Le acquisizioni rispettano le indicazioni del processo SESAME 2006.

Lo strumento viene orientato a N oltre al posizionamento orizzontale ottenuto tramite la messa in bolla dello stesso, inoltre la base di appoggio dello strumento, ossia il terreno, deve essere anch'essa pianeggiante e occorre quindi rimuovere lo strato appena superficiale erboso.

Dalla registrazione del rumore sismico si ricavano:

1 - Le curve HVSR ottenute con il software Grilla secondo la procedura base (Castellaro et al. 2005) con i parametri:

a – larghezza delle finestre d'analisi 20 s

b – lisciamento triangolare con ampiezza 10%

c – rimozione automatica delle finestre di disturbo principale

d – rimozione manuale delle finestre di disturbo ancora presenti

2 – le curve dello spettro di velocità nelle 3 componenti del moto.

Di seguito si riportano i dati relativi all'acquisizione sismica:

Inizio registrazione: 19/02/21 08:54:30            fine registrazione: 19/02/21 09:14:30

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h 20' 00".            Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

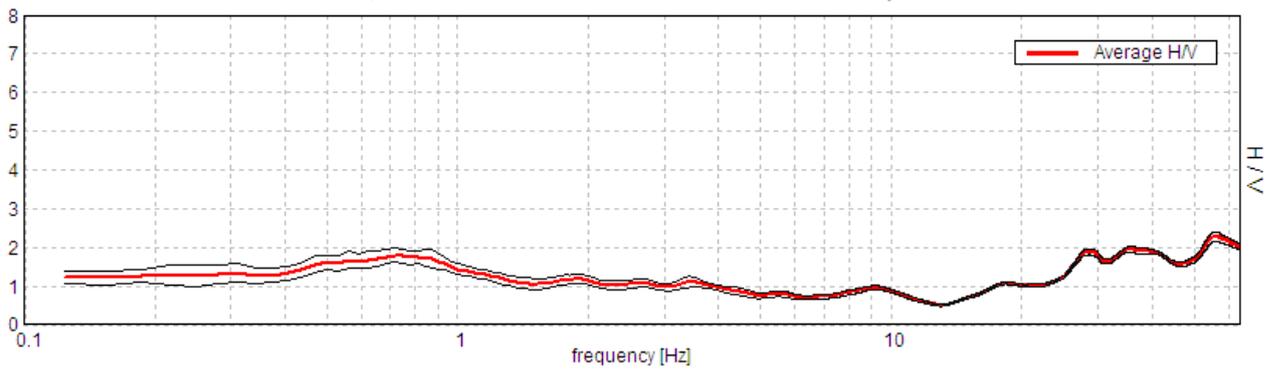
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

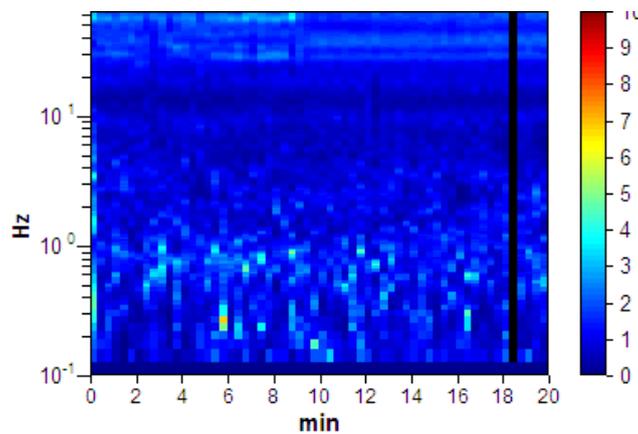
Lisciamento: 10%

Nel grafico che segue è rappresentata la curva sperimentale H/V frutto dell'elaborazione mediante algoritmo dei microtremori registrato dall'apparecchiatura, in ascissa la frequenza di risonanza del terreno, in ordinata il rapporto H/V:

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

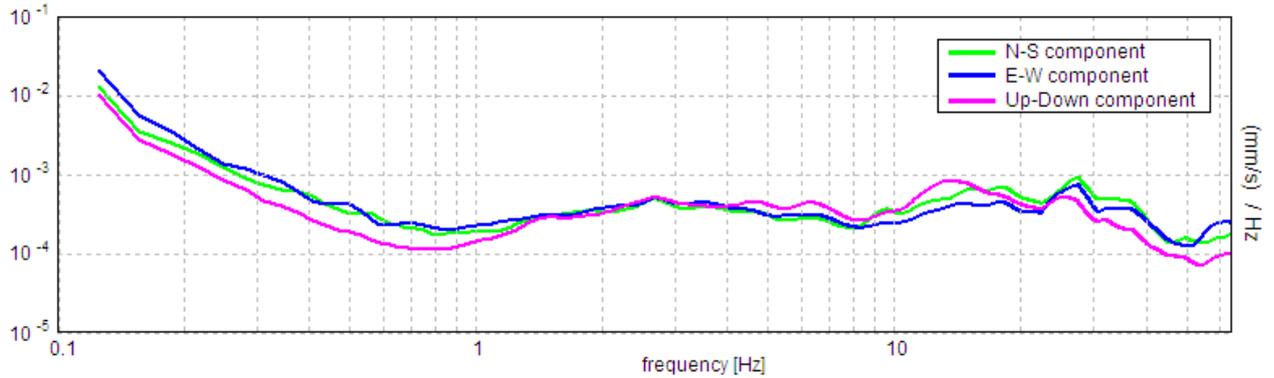


H/V TIME HISTORY

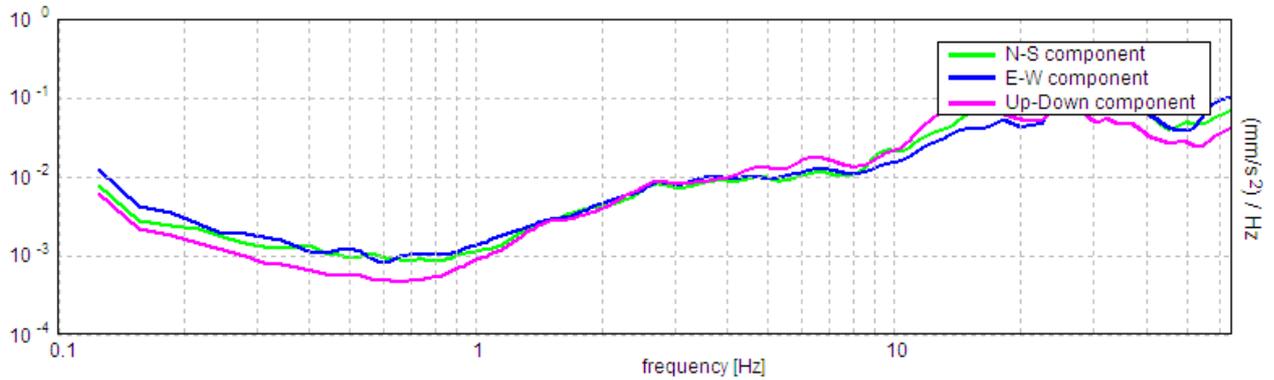


Nei grafici successivi l'andamento della traccia nelle 3 componenti N-S, E-W e verticale:

SINGLE COMPONENT SPECTRA (VELOCITA')

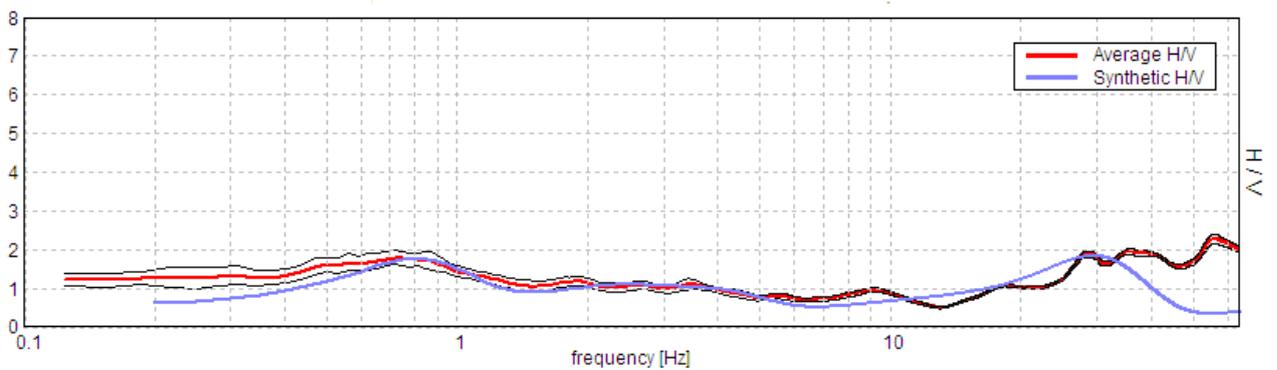


SINGLE COMPONENT SPECTRA (ACCELERAZIONE)



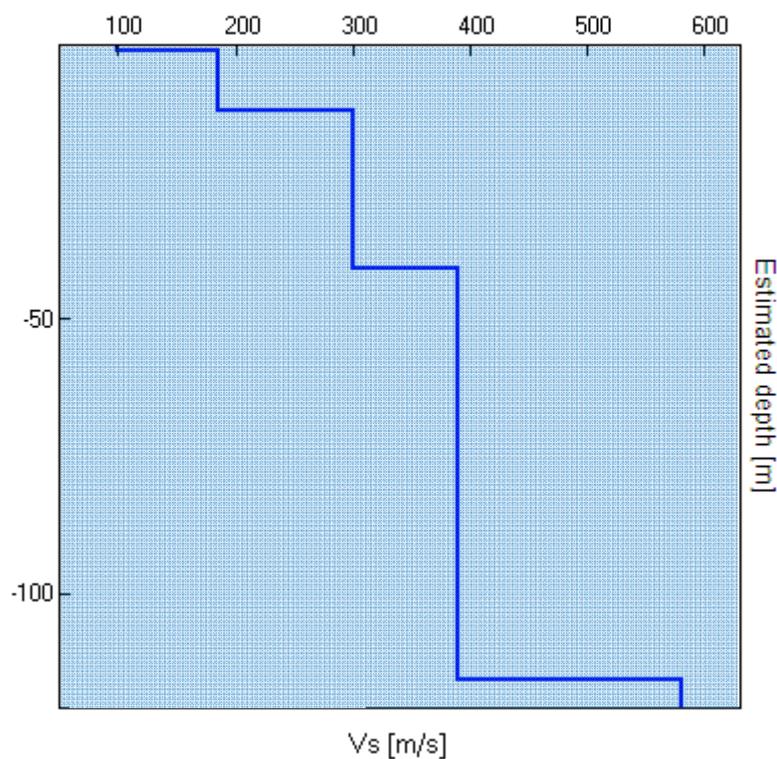
Il grafico sotto rappresenta l'elaborazione della traccia sperimentale da cui si ricava la Vs30 e relativa categoria di suolo, la curva blu è la curva teorica risultato dell'elaborazione, devono essere il più possibile coincidenti;

EXPERIMENTAL VS SYNTHETIC H/V



A seguire uno schema dei sismostrati nei quali è stato suddiviso il sottosuolo, ciascuno caratterizzato da uno specifico valore Vs, e quindi il relativo grafico dell'andamento della Vs in profondità,.

Litologia indicativa da tabella 1	Profondità totale [m]	Sismostrati [m]	Vs [m/s]
Terreno vegetale	0.80	0.80	100
Limi e argille tenere, ghiaie	11.80	11.00	185
Limi e argille medie	40.80	29.00	300
Limi e argille compatte	115.80	75.00	390
Substrato argilloso non rigido	inf.	inf.	580



Il valore medio risultante dall'elaborazione fornisce la seguente Vs30, valore che non va assunto come dato certo, ma considerando un margine di errore almeno del 20%.

$$V_{s30} = 254 \text{ m/s} \pm 55 \text{ m/s}$$

**Il valore ottenuto classifica il terreno come sito C.**

Trattasi di sabbie e ghiaie mediamente addensate e argille di media consistenza.

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borcherdt, 1994]

TIPO DI SUOLO	V <sub>s</sub> min [m/s]	V <sub>s</sub> media [m/s]	V <sub>s</sub> max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturati)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI</b> (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

Nella tabella sotto è illustrata la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi 3 parametri, mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti 5 parametri su 6.

<b>Max. H/V at 27.94 ± 1.24 Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).</b>			
<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	27.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	66006.3 > 200	OK	
$s_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $s_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1154	OK	
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	23.969 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.28 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02949  < 0.05$	OK	
$s_f < e(f_0)$	$1.24321 < 2.79688$	OK	
$s_A(f_0) < q(f_0)$	$0.1325 < 1.58$	OK	

**La frequenza di risonanza caratteristica o di riferimento del terreno è  $F_0 \cong 28$  Hz**

**La frequenza di risonanza secondaria del terreno è  $F_0 \cong 0,8$  Hz**

## PARAMETRI SISMICI da GEOSTRU

Tipo di elaborazione: FONDAZIONI

### Sito in esame: C

Coordinate espresse in ED50:            Latitudine: 44,443519°            Longitudine: 11,614646°

Coordinate espresse in WGS84:        Latitudine: 44.442581°            Longitudine: 11.613660°

### **Classe d'uso I: costruzioni con presenza occasionale di persone, edifici agricoli.**

Classe d'uso II: costruzioni con normale affollamento di persone, assenza di funzioni pubbliche e sociali importanti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti, strade e opere infrastrutturali non ricadenti in classe d'uso III e IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe d'uso III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi; industrie con attività pericolose per l'ambiente; reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV; ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza; dighe rilevanti per un loro eventuale collasso.

Classe d'uso IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della Protezione Civile in caso di calamità. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie di collegamento tra capoluoghi di provincia, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per le vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e centrali idroelettriche.

**Siti di riferimento:**

	<b>ID</b>	<b>Latitudine °</b>	<b>Longitudine °</b>	<b>Distanza</b>
Sito 1	17178	44,4198	11,6008	2855,156
Sito 2	17179	44,4209	11,6707	5113,809
Sito 3	16957	44,4709	11,6693	5296,384
Sito 4	16956	44,4698	11,5993	3166,896

Categoria suolo: **C**

Categoria topografica: **T1**

Vita nominale opera: 50 anni

Coefficiente Cu: 1,0

**Parametri sismici:**

	<b>P<sub>VR</sub> %</b>	<b>Tr (anni)</b>	<b>ag (g)</b>	<b>Fo (-)</b>	<b>Tc* (s)</b>
Operatività SLO	81	30	0,060	2,445	0,260
Danno SLD	63	35	0,064	2,438	0,263
Salvaguardia vita SLV	10	332	<b>0,170</b>	2,386	0,296
Prevenzione collasso SLC	5	682	0,218	2,412	0,309

P<sub>VR</sub> = probabilità di superamento nel periodo di riferimento V<sub>R</sub> = 35 anni

Tr = periodo di riferimento

ag = accelerazione di gravità

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orr.

Tc = periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orr.

**Coefficienti sismici:**

	<b>Ss (-)</b>	<b>Cc (-)</b>	<b>St (-)</b>	<b>Kh (-)</b>	<b>Kv (-)</b>	<b>Amax (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Beta (-)</b>
SLO	1,500	1,640	1,000	0,018	0,009	0,875	0,200
SLD	1,500	1,630	1,000	0,019	0,010	0,943	0,200
SLV	1,460	1,570	1,000	0,059	0,030	<b>2,428</b>	0,240
SLC	1,380	1,550	1,000	0,084	0,042	2,955	0,280

Ss = amplificazione stratigrafica

Cc = coeff. funz. categoria

St = amplificazione topografica

Amax = acc. max attesa al sito

Kh = coeff. sismico verticale

Kv = coeff. Sismico orizzontale

Beta = coeff. riduzione acc.max

Zona 1 = 0,35g

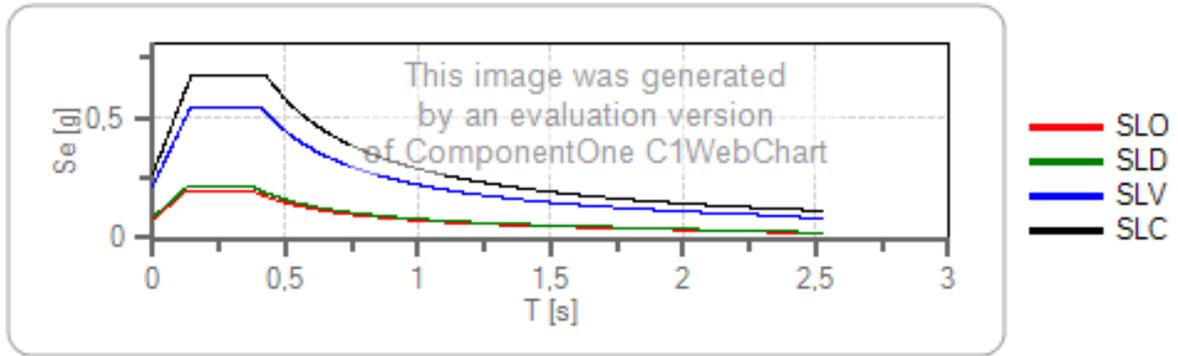
**Zona 2 = 0,25g**

Zona 3 = 0,15g

Zona 4 = 0,05g

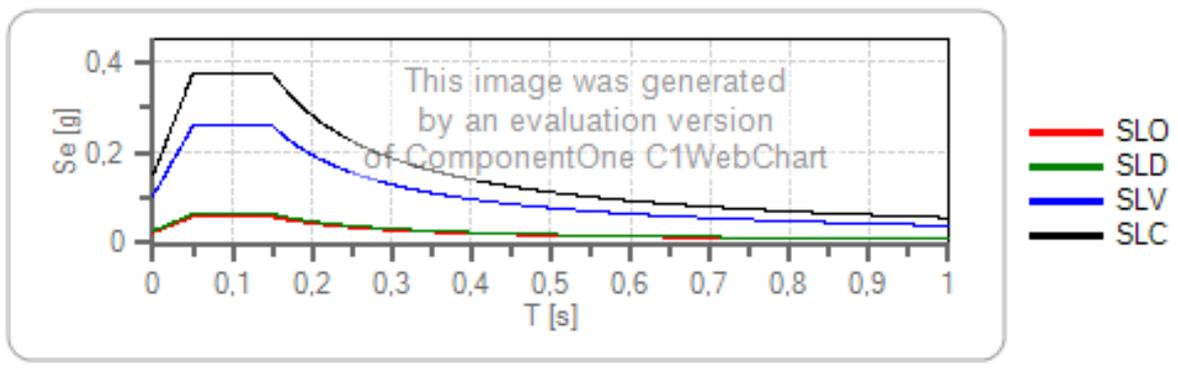
**SPETTRI DI RISPOSTA** da GEOSTRU

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



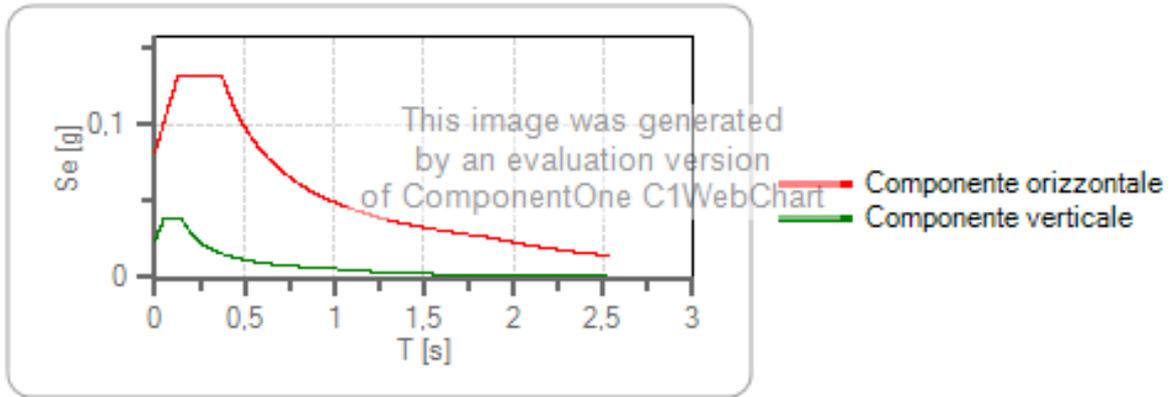
	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	0,7	0,060	2,445	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,838
SLD	0,7	0,064	2,438	0,263	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,143	0,429	1,856
SLV	0,7	0,170	2,386	0,296	1,460	1,570	1,000	1,460	1,000	0,155	0,465	2,278
SLC	0,7	0,218	2,412	0,309	1,380	1,550	1,000	1,380	1,000	0,159	0,478	2,473

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



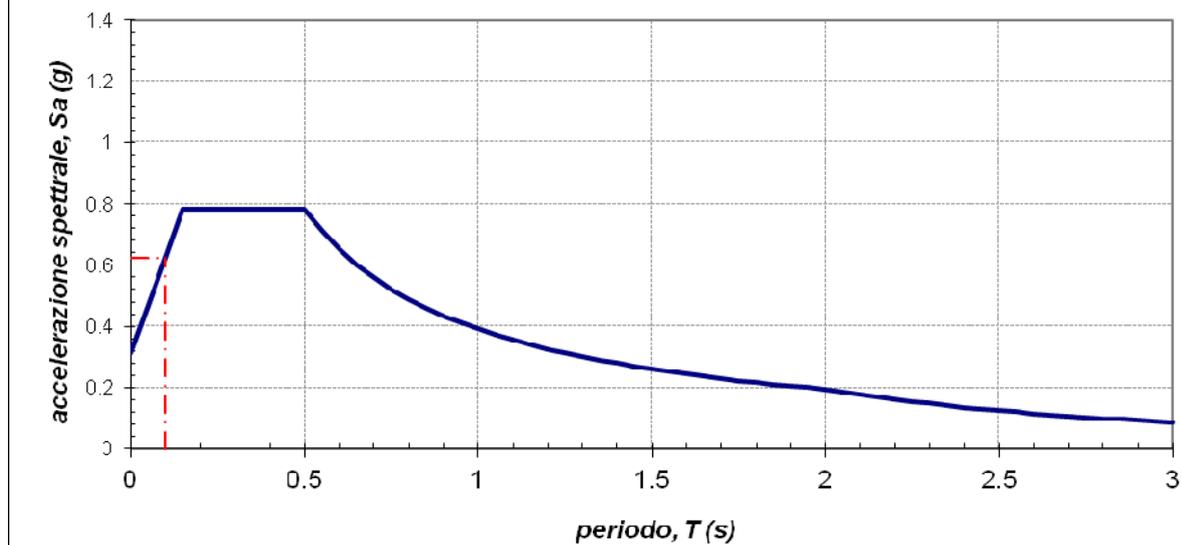
	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO	0,7	0,060	2,445	0,260	1,000	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	0,7	0,064	2,438	0,263	1,000	1,630	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	0,7	0,170	2,386	0,296	1,000	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	0,7	0,218	2,412	0,309	1,000	1,550	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

### Spettri di progetto per lo stato limite: SLO



	cu	ag	Fo	Tc	Ss	Cc	St	S	q	Tb	Tc	Td
SLO h	0,7	0,060	2,445	0,260	1,500	1,640	1,000	1,500	1,500	0,142	0,427	1,838
SLO v	0,7	0,060	2,445	0,260	1,500	1,640	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

**Spettro risposta elastico orizzontale su suolo rigido**



Zona 2	Tipo suolo	ag	S	Tb (s)	Tc (s)	Td (s)	piani	T	Sa	Struttura
<b>Margine B</b>	<b>C</b>	0.25	1.25	0.15	0.5	2	0	0,0	0,3125	vasche
<b>Margine B</b>	<b>C</b>	0.25	1.25	0.15	0.5	2	1	0,1	0,625	silos

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.

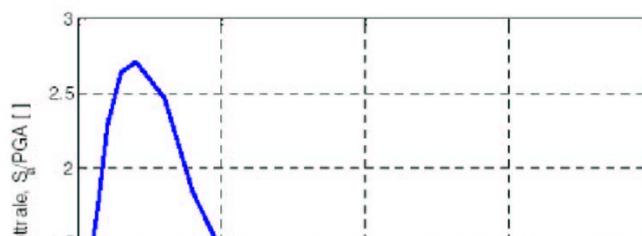


Figura - Spettro di risposta normalizzato (TR = 475 anni = 5% smorzamento) per l'Emilia-Romagna

T(s)	<b>0,00</b>	<b>0,10</b>	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
Sa/a <sub>ref</sub>	<b>1,0000</b>	<b>2,2100</b>	2,6080	2,6562	2,4033	1,9394	1,5050	0,9172	0,6359	0,3608	0,2462

Tabella - Valori che definiscono lo spettro normalizzato per l'Emilia-Romagna

**Valore di a<sub>refg</sub> per il comune di Castel Guelfo = 0,1987**

dove a<sub>refg</sub> = accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per T = 0, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a<sub>refg</sub>)

**Categorie topografiche del terreno**

<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolate con inclinazione media $i < 15^\circ$	St = 1
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	St = 1.2
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	St = 1.2
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	St = 1.4

**Categorie suolo di fondazione**

	Descrizione del profilo stratigrafico	V <sub>s30</sub> (m/s)
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180 – 360

**Parametri per il profilo stratigrafico**

S = 1,25, sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille media consistenza, Tipo C;

L'area di intervento è collocata nel territorio comunale di Castel Guelfo, l'area di indagine è morfologicamente classificabile come **Margine appenninico padano di tipo B**.

Si considerano i coefficienti di amplificazione sismica relativi alla fascia di velocità 250 m/s.

## ELEMENTI di MICROZONAZIONE SISMICA

**Tabella per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica** (DGR n.2193 del 21/12/2015)

**F.A. P.G.A.:** rapporto tra massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ( $a_{max,r}$ ) e massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ( $a_{max,s}$ ) alla frequenza  $f$ .

**F.A. S.I.:** Intensità spettrale di Housner, indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo velocità relative ai tre intervalli.

**MARGINE APPENNINICO-PADANO:** settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura, o la costa, caratterizzato da terreni alluvionali prevalentemente fini (argille, limi, sabbie) sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose); il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine o transizionali pleistoceniche (Sabbie Gialle) o dalla successione pelitica plio-pleistocenica (Argille Azzurre); il tetto del substrato geologico è a profondità indicativamente comprese tra 50 e 100 m;

**MARGINE di tipo B:** caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

Vs30	150	200	<b>250</b>	300	350	400
F.A. P.G.A.	1.6	1.6	<b>1.6</b>	1.6	1.6	1.5

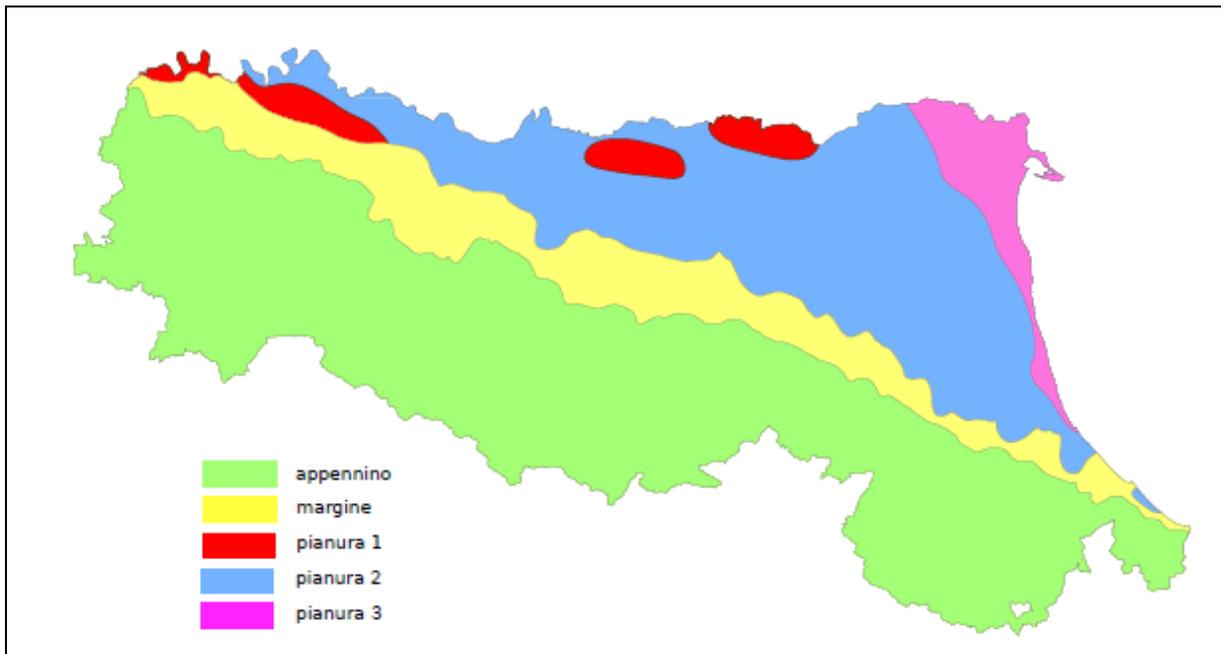
### Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs30	150	200	<b>250</b>	300	350	400
F.A. SI1	1.9	1.9	<b>1.9</b>	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	2.9	2.8	<b>2.5</b>	2.3	2.1	2.0
F.A. SI3	3.3	3.1	<b>2.7</b>	2.4	2.2	2.0

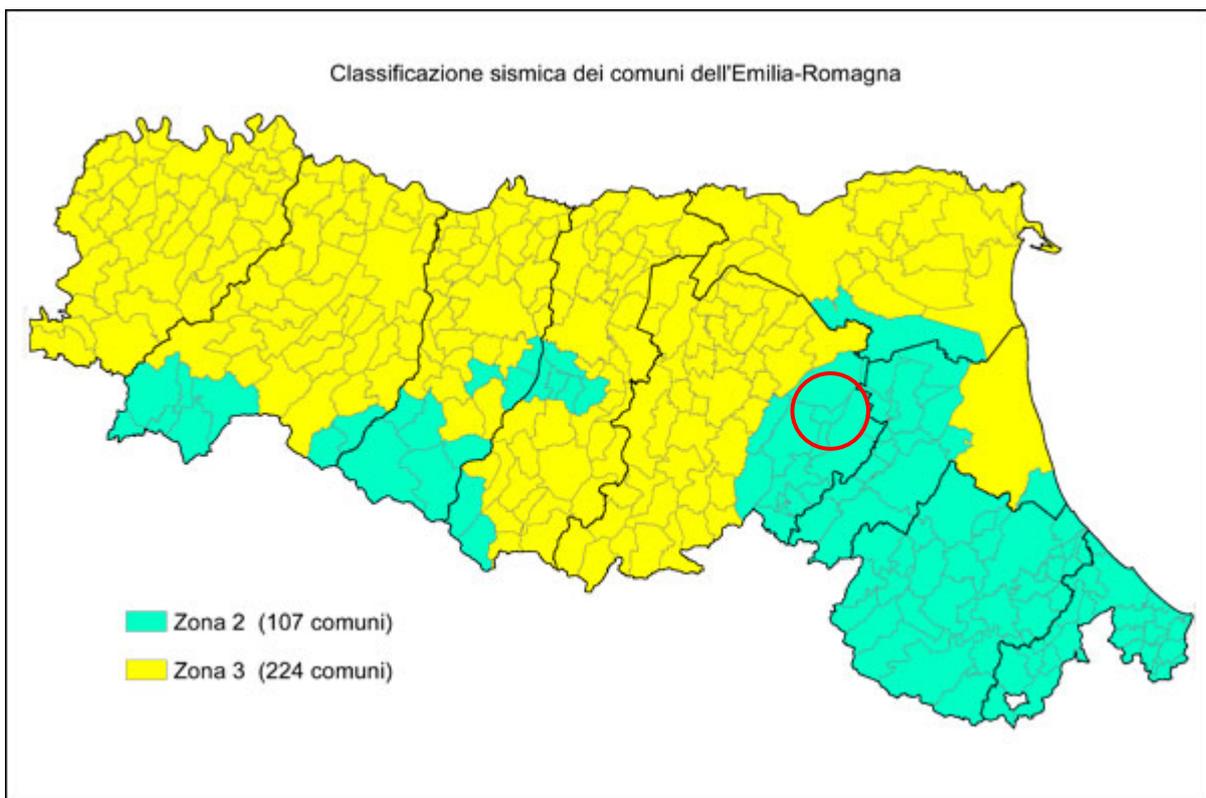
Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

Vs30	150	200	<b>250</b>	300	350	400
F.A. SA1	1,8	1,8	<b>1,8</b>	1,7	1,7	1,5
F.A. SA2	2,6	2,6	<b>2,3</b>	2,1	1,9	1,7
F.A. SA3	3,1	2,9	<b>2,7</b>	2,4	2,3	2,1
F.A. SA4	3,0	2,9	<b>2,6</b>	2,3	2,1	1,9

F.A. **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ) e **SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )



Localizzazione indicativa degli ambienti geomorfologici e litostratigrafici



Nuova classificazione sismica NTC 2018 – Comune di Castel Guelfo

## CONCLUSIONI

- Il terreno indagato è classificabile come sito **C**;
- La velocità stimata è pari a  **$V_{s30} = 254$  m/s**;
- Il manufatto previsto è classificato come classe d'uso **I**;
- La frequenza caratteristica del sito è  **$F_0 \cong 28$  Hz**;
- L'accelerazione di gravità del sito è  **$a_g = 0,170$  (SLV)**;
- L'accelerazione massima è  **$A_{max} = 2,428$  (SLV)**;
- L'accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per  $T = 0$ , espressa in frazione dell'accelerazione di gravità per Castel Guelfo è  **$g(a_{refg}) = 0,1987$** ;
- La categoria topografica è **T1**;
- L'area ricade in **Zona 2 = 0,25g**;
- L'area è classificabile come **Margine appenninico padano di tipo B**;
- Si assumono indicativamente come coefficienti di amplificazione sismica su base regionale quelli relativi alla fascia di velocità pari a 250 m/s;
- **tali coefficienti non sono vincolanti ai fini della progettazione:**

<b>PGA = 1,6</b>	<b>SA1 per l'intervallo <math>0,1s &lt; T_0 &lt; 0,5s = 1,8</math></b>
<b>SI1 per l'intervallo <math>0,1s &lt; T_0 &lt; 0,5s = 1,9</math></b>	<b>SA2 per l'intervallo <math>0,4s &lt; T_0 &lt; 0,8s = 2,3</math></b>
<b>SI2 per l'intervallo <math>0,5s &lt; T_0 &lt; 1,0s = 2,5</math></b>	<b>SA3 per l'intervallo <math>0,7s &lt; T_0 &lt; 1,1s = 2,7</math></b>
<b>SI3 per l'intervallo <math>0,5s &lt; T_0 &lt; 1,5s = 2,7</math></b>	<b>SA4 per l'intervallo <math>0,5s &lt; T_0 &lt; 1,5s = 2,6</math></b>

*Faenza, Febbraio 2021*

*Dr. Geol. Bruno Gardegni*

