

StudioTondi

Via P.G. Martini n° 38/F
40134 Bologna
Tel. - Fax: +39 051 6144617
Mob: +39 339 2587461
www.studio-tondi.it - luca@studio-tondi.it

COMUNE DI BOLOGNA

CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UNA PISCINA E DI UN
IMPIANTO DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE A
SERVIZIO DI UN EDIFICO SITO IN VIA DI CASAGLIA n° 49

STUDIO GEOLOGICO - SISMICO

Committente

Dr. TORTORICI GIANFRANCO

Redazione

DR. GEOLOGO LUCA TONDI

BOLOGNA – ottobre 2025

INDICE

PREMESSA	1
INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO.....	1
• Inventario dei fenomeni franosi verificatisi nel maggio 2023 (aggiornamento luglio 2024) a cura della Regione Emilia-Romagna	2
INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA	3
• Prove penetrometriche.....	3
• Stratigrafia e risultati delle indagini.....	3
INDICAZIONI SUI PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI	4
CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE.....	5
INDAGINI SISMICHE	5
• Esecuzione di misure di rumore sismico ambientale	5
• Generalità sulla tecnica di Nakamura	5
• Stratigrafia sismica.....	7
• Analisi dei risultati	7
CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DELL'AREA.....	8
• Classificazione sismica	8
• Coordinate geografiche del sito in esame	8
• Categoria topografica.....	8
• Storia sismica dell'area	9
• Zone e sorgenti sismogenetiche.....	9
• Pericolosità sismica da PTM	10
• Pericolosità sismica da PUG	11
SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI E RELATIVE VERIFICHE	11
• Verifica a liquefazione dei terreni	12
CATEGORIA DEI TERRENI.....	12
CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI SULLE STRUTTURE FONDALI	12

ALLEGATI A FINE TESTO

PREMESSA

A seguito di incarico professionale ricevuto è stata effettuata un'indagine geologica su terreno sito nel Comune di Bologna in via Casaglia n° 49.

Scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire il modello geologico del comparto, in quanto è prevista la realizzazione di una piscina e di un impianto di trattamento delle acque reflue a servizio degli edifici esistenti.

Le indagini sono state realizzate attraverso sopralluoghi atti a riconoscere il quadro geologico generale e sono proseguite mediante la realizzazione di n° 2 prove penetrometriche statiche C.P.T. (cone penetration test), spinte fino alla quota massima di 7,2 m di profondità dal p.c.

Per l'inquadramento della zona dal punto di vista sismico si è proceduto alla realizzazione di n° 1 indagine sismica passiva a stazione singola con tecnica HVSR.

In ultimo, si è proceduto con la consultazione del materiale utile disponibile on line (Cartografia geologica, ortofoto con CTR, P.S.C., P.T.M., P.T.P.R. ecc.).

Lo studio geologico è stato eseguito in accordo con le normative di seguito elencate:

- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (18A00716) (GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8) Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture.
- Circolare esplicativa 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
- Norme del PTM di Bologna

INQUADRAMENTO GEOLOGICO MORFOLOGICO

Il lotto oggetto di studio, rappresentato nella C.T.R. n. 220121, ricade all'interno dell'Unità di Paesaggio n° 14 - Collina Bolognese - del PTPR e all'interno dell'Unità di Paesaggio n° 7 - Collina bolognese - del PTCP. Dista circa 3,6 km verso SW dal comune di Bologna ad una quota di circa 215 m s.l.m. Il sito oggetto di studio si inserisce nelle prime propaggini dell'Appennino Settentrionale caratterizzato da una struttura geologica complessa e da una storia geologica articolata. Il paesaggio collinare si è originato da fenomeni tettonici di subduzione e compressione che hanno portato alla formazione di una serie di falde tettoniche e accavallamenti, responsabili dell'emersione delle successioni sedimentarie marine di età terziaria. Si caratterizza da una serie di rilievi allungati in direzione nord-sud, separati da valli ampie e pianeggianti. I pendii sono generalmente regolari e poco incisi, mentre la rete idrografica è caratterizzata da corsi d'acqua a regime effimero. Nello specifico l'area si caratterizza dalla presenza di rilievi di modesta altitudine con morfologia ondulata, delimitati da versanti ad acclività da media a medio-elevata e dal profilo irregolare, interrotti da numerosi impluvi e/o vallecole.

L'area è collocata su di un crinale che funge da spartiacque per il sistema idrogeologico del comparto. In particolare, i versanti sottostanti presentano un profilo circa rettilineo e una superficie planare, la pendenza media è di circa 15 °÷ 16° e i gradienti sono abbastanza omogenei lungo tutto il tratto. Il contesto geomorfologico in esame è stato in epoca recente condizionato dall'azione antropica, che ne ha modificato l'aspetto naturale attraverso diverse attività.

L'idrografia principale è governata dal Torrente Ravone che si trova posizionato a circa 600 m in direzione E dall'area di studio con direttrice circa N-S, mentre i reticolli idrografici minori sono governati da rii, scoli e fossi.

In questa zona il primo sottosuolo è costituito da materiali detritici eterogenei provenienti dall'alterazione diretta del substrato sotto forma di eluvio o da fenomeni gravitativi come il colluvio e che nelle forme più evolute si sono trasformati in suolo.

Al di sotto di tali sedimenti, in alcuni casi anche basse profondità, si trova il substrato roccioso che dapprima si presenta alterato, per poi passare, con una profondità variabile, allo stato intatto. Nell'area le litologie di superficie sono costituite da terreni coesivi a tessitura fine costituiti da argille limose talora sabbiose, che formano depositi più o meno spessi al di sopra del substrato roccioso e che in corrispondenza dei più importanti depositi di origine gravitativa possono assumere spessore plurimetrico.

Dai rilievi effettuati nella zona non si evidenziano fenomeni di instabilità gravitativa che possano interessare l'area di studio, avvalorato dalla consultazione della carta geologica della RER.

In particolare, la corte antistante gli edifici che risulta subpianeggiante, molto probabilmente è di origine antropica realizzata mediante sterri e riporti di terreno.

Ponendo l'attenzione invece sugli aspetti più strettamente geologici, è stata consultata la Carta Geologica regionale, di cui viene riportato uno stralcio nella Tav. 3, nel quale è possibile osservare come per la zona di studio sia indicata la presenza di unità geologiche appartenenti alla Formazione di Cigarello (CIG), che viene descritta come: "Marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere; sono presenti sia bioclasti che biosomi (Lamellibranchi, Gasteropodi, talora Echinidi). Stratificazione eneralmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di slump e di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con A/P < 1. Localmente, verso la base, possono esser presenti livelli discontinui di vulcanoclastiti ricche di cristalli millimetrici di biotite, o calcareniti grossolane giallastre in strati spessi. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 500 metri."

- **Inventario dei fenomeni franosi verificatisi nel maggio 2023 (aggiornamento luglio 2024) a cura della Regione Emilia-Romagna**

Facendo riferimento all'inventario dei fenomeni franosi verificatisi nel maggio 2023, rappresentante le perimetrazioni delle frane attivate a seguito degli eventi meteorologici di maggio 2023, rilevate sulla base di fotointerpretazione delle immagini aeree e satellitari ad alta risoluzione rese disponibili in fase post-evento, integrate localmente da rilevamenti specialistici e dati di Enti locali, per l'area oggetto di studio e nelle zone adiacenti a essa non sono stati cartografati ambiti di dissesto.

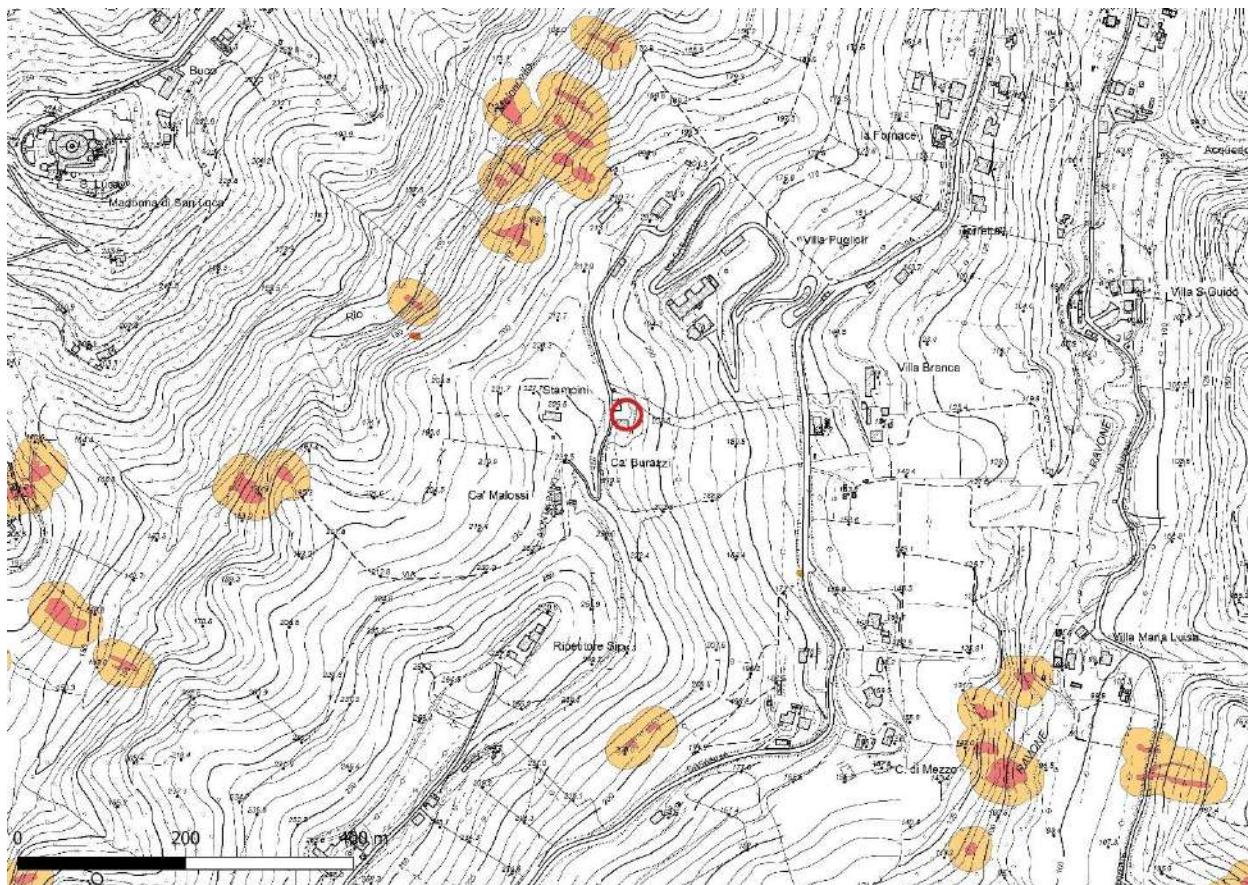


Figura 1: Carta dell'inventario dei fenomeni franosi verificatisi nel maggio 2023.

INDAGINI DI CAMPAGNA E STRATIGRAFIA

• Prove penetrometriche

Le indagini sono state ubicate in modo da essere rappresentative per la zona indagata (per l'ubicazione indagini vedi Tav. 4).

Le prove sono state eseguite con apparecchiatura statica di tipo "Gouda" (SP120C "Deep-Drill") dotata di punta standard tipo Begemann (punta conica con angolo di apertura di 60° ed una sezione di 10 cm²) e del manicotto di frizione "Friction Jacket", per la misura della resistenza di attrito laterale locale. I valori ottenuti sono riportati nei diagrammi a fine testo dove figurano:

La curva di resistenza alla punta **qc** che si riferisce ai valori della resistenza offerta dal terreno all'avanzamento della punta conica.

La curva **fs** che si riferisce alla resistenza di attrito locale misurata mediante il manicotto di frizione.

Dai risultati si può risalire alla litologia dei terreni attraversati secondo la teoria di Begemann in base ai rapporti tra **qc** e **fs** (vedi tabelle indicate a fine testo).

A tal riguardo si vuol sottolineare che tale teoria fa tendere ad una sottostima della granulometria dei depositi, ragion per cui nella sintesi del quadro litostratigrafico sotto riportato e nell'elaborazione delle prove, si è tenuto conto di tale fattore.

• Stratigrafia e risultati delle indagini

Dai risultati delle indagini effettuate e dalla situazione geologica del luogo si è desunta la seguente stratigrafia:

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO CPT 1				
Unità litostrat.	Litologia	Id. Prova	Profondità (m dal p.c.)	Qc MPa
T/R	Terreno di riporto costituito prevalentemente da limi sabbiosi con intercalazioni di limi e sabbie in subordine.	CPT1	0.0 ÷ -1.8	3.5 ÷ 6.7
A	Probabile detrito di copertura costituito da limi sabbiosi con intercalati limi e sabbie in subordine.	CPT1	-1.8 ÷ -2.8	7.1 ÷ 10.2
B	Substrato della formazione del CIG costituito da marne siltose sabbiose che da alterato passa a intatto, diventando impenetrabile alla strumentazione utilizzata.	CPT1	-2.8 ÷ -6.4	8.2 ÷ 35.3

ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO CPT 2				
Unità litostrat.	Litologia	Id. Prova	Profondità (m dal p.c.)	Qc MPa
T/R	Riporti costituiti da macerie misti a terreno, Materiali molto addensati.	CPT2	0.0 ÷ -1.4	8.2 ÷ 12.2
B	Substrato della formazione del CIG costituito da marne siltose sabbiose che da alterato passa a intatto, diventando impenetrabile alla strumentazione utilizzata.	CPT2	-1.4 ÷ -7.2	9.0 ÷ 35.3

Tabella 1: Interpretazione delle prove penetrometriche statiche.

Il quadro stratigrafico che emerge dall'elaborazione delle prove penetrometriche mostra un grado di buona correlazione tra la CPT 1 e CPT2 con variabilità circoscritta agli spessori e unità litologiche. La parte più superficiale vede la presenza di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore di circa 1,4-1,8 metri.

L'unità A, presente nella sola CPT 1, è caratterizzata dal detrito di copertura costituito da limi sabbiosi e intercalati limi e sabbie in subordine.

Passando alla successiva unità B i terreni appartengono al substrato della formazione del CIG costituito da marne siltose e sabbie che da alterato passa a intatto diventando impenetrabile alla strumentazione utilizzata.

INDICAZIONI SUI PARAMETRI GEOTECNICI DEI TERRENI

Nella seguente tabella vengono riassunti i principali parametri geotecnici. Visto il tipo di indagini eseguite, occorre tener presente che tali parametri sono stati desunti mediante correlazioni ai risultati delle C.P.T., dalla consultazione di bibliografia specialistica e tabelle (Bowles Fondazioni Progetto e analisi e Head e Jardine 1992). Si fa presente che nel corso di questo lavoro non sono state eseguite analisi di laboratorio su campioni di terreno.

PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1										
Unità litostr.	Descrizione litologica	Id.Prova	Quota (m)	γ (kN/m³)	Cu kPa	C' kPa	M₀ Mpa	ϕ (°)		
T/R	Terreno di riporto costituito prevalentemente da limi sabbiosi con intercalazioni di limi e sabbie in subordine.	CPT1	0.0 ÷ -1.8	18.0 ÷ 18.5	180 ÷ 200	1 ÷ 2	10.0 ÷ 16.0	28 ÷ 30		
A	Probabile detrito di copertura costituito da limi sabbiosi con intercalati limi e sabbie in subordine.	CPT1	-1.8 ÷ -2.8	18.0 ÷ 18.5	235 ÷ 280	4 ÷ 5	21.0 ÷ 27.0	26 ÷ 28		
B	Substrato della formazione del CIG costituito da marne siltose sabbiose che da alterato passa a intatto, diventando impenetrabile alla strumentazione utilizzata.	CPT1	-2.8 ÷ -6.4	18.5 ÷ 19.0	274 ÷ 515	6 ÷ 10	24.0 ÷ 95.0	28 ÷ 31		

PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2										
Unità litostr.	Descrizione litologica	Id.Prova	Quota (m)	γ (kN/m³)	Cu kPa	C' kPa	M₀ Mpa	ϕ (°)		
T/R	Riporti costituiti da macerie misti a terreno, Materiali molto addensati.	CPT2	0.0 ÷ -1.4	18.0 ÷ 18.5	200 ÷ 220	1 ÷ 2	24.0 ÷ 30.0	29 ÷ 33		
B	Substrato della formazione del CIG costituito da marne siltose sabbiose che da alterato passa a intatto, diventando impenetrabile alla strumentazione utilizzata.	CPT2	-1.4 ÷ -7.2	18.0 ÷ 18.5	300 ÷ 380	6 ÷ 10	27.0 ÷ 85.0	28 ÷ 31		

Tabella 2: Parametri geotecnici estrapolati dall'elaborazione delle indagini.

γ = peso di volume del terreno
drenata M_0 = modulo edometrico

C_u = coesione non drenata
 ϕ = angolo di attrito interno

C' = coesione

CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE

Nel foro di prova è stata effettuata un'apposita misura del livello piezometrico mediante freatometro, ottenendo i seguenti risultati:

MISURA DEL LIVELLO DI FALDA		
Posizione	Data	Livello da p.c. (m)
CPT1	18/09/2025	Assente
CPT2	18/09/2025	Assente

Tabella 3: Misure del livello di falda in situ.

Durante le indagini non è stata riscontrata la presenza di un livello freatico all'interno del foro di sondaggio. Questo anche perché la successione stratigrafica non è particolarmente compatibile con le dinamiche per cui si formano le falde superficiali

Non si esclude però a livello superficiale la presenza di venute idriche effimere e localizzate collegate direttamente alle condizioni meteoclimatiche

INDAGINI SISMICHE

• Esecuzione di misure di rumore sismico ambientale

Per le misure è stato utilizzato un tromografo digitale portatile (TROMINO), progettato specificamente per la registrazione del rumore sismico ambientale.

Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, e permette la registrazione nel campo di frequenze 0-200 Hz.

In sintesi, dopo che il segnale dei tre velocimetri è stato acquisito, per un determinato tempo t, e digitalizzato a 24 bit, viene trasmesso ad un software dedicato, denominato Grilla il quale, per ciascuna delle 3 componenti del moto, esegue le seguenti operazioni:

- divisione del tracciato in finestre la cui lunghezza è immessa dall'operatore;
- depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
- "taper" con una finestra di Bartlett;
- "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
- calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
- calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
- smoothing (lisciamento) dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni la cui scelta viene definita dall'operatore;
- calcolo del rapporto spettrale HVSR per ogni frequenza e per ogni finestra.

Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

• Generalità sulla tecnica di Nakamura

Il metodo si basa sulla misura del rumore sismico ambientale, il quale risulta prodotto sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10^{-15} (m/s²) in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino.

I metodi che si basano sull'acquisizione dei microtremori si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste è la tecnica di Nakamura dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

I primi studi furono effettuati da Kanai (1957) in seguito aggiornati e modificati da vari autori per ottenere informazioni dagli spettri del rumore sismico registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è la tecnica dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970) e poi da Nakamura (1989), per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Su questo punto non è però ancora stato raggiunto consenso, sebbene sia ampiamente riconosciuto che l'HVSR è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli, informazione che è comunque di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

- quelle orizzontali di superficie (H_s) e quelle orizzontali al bedrock (H_b);
- quelle verticali di superficie (V_s) e quelle verticali al bedrock (V_b).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori $A_s(\omega)$ (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = V_s(\omega) / V_b(\omega) \quad (1)$$

in cui $V_s(\omega)$ e $V_b(\omega)$ sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale $S_e(\omega)$:

$$S_e(\omega) = H_s(\omega) / H_b(\omega) \quad (2)$$

dove $H_s(\omega)$ e $H_b(\omega)$ sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Per compensare l'effetto di sito $S_e(\omega)$ dallo spettro di sorgente $A_s(\omega)$ viene calcolato il rapporto spettrale modificato $S_m(\omega)$ come:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse $Hb(\omega)/Vb(\omega) = 1$, basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi, l'effetto di sito modificato $Sm(\omega)$ è descritto da:

$$Sm(\omega) = Se(\omega) / As(\omega) = Hs(\omega)/Vs(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati.

- **Stratigrafia sismica**

Le misure di microtremori vengono anche utilizzate per valutazioni stratigrafiche o, alternativamente, di velocità delle onde di taglio (Vs). Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

Nel caso ideale di un sottosuolo formato da due soli strati (la copertura (1) ed il bedrock (2)), separati da una superficie orizzontale e distinguibili per un diverso valore di impedenza sismica, ovvero per differenti densità e/o velocità delle onde sismiche, un'onda che viaggia nel mezzo (1) viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze di oscillazione (condizione di risonanza), quando la sua lunghezza d'onda λ è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole, la frequenza fondamentale di risonanza f_r della copertura (mezzo (1)), relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1} / (4 h) \quad (5)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1} / (4 h) \quad (6)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati alle varie profondità. Questo, insieme ad una stima degli spessori degli strati, che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sulle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il problema principale di questa visione è che i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. Essi sono costituiti in misura molto maggiore da onde superficiali e in particolare da onde di Rayleigh; tuttavia, ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte dall'interferenza costruttiva di queste ultime.

Per affinare il risultato interpretativo in termini di sismostrati si procede creando curve sintetiche H/V simulando il campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in Aki (1964)¹ e Ben-Menahem e Singh (1981)². Il modello, opportunamente applicato, può essere considerato uno stimatore del profilo di Vs con errori confrontabili a quelli di metodi più tradizionali, per lo meno nei primi 30 metri di profondità³.

- **Analisi dei risultati**

I dati misurati dallo strumento sono stati elaborati e interpretati fornendo un report finale così strutturato:

¹ Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665-666

² Ben -Menahem A. e Singh S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York

³ Castellaro S., 2007. Un'introduzione all'inversione teorica delle curve H/V a fini stratigrafici. Micromed s.p.a.

Dati della misura.	Ora di inizio e fine registrazione, frequenza di campionamento, ecc.
Horizontal to vertical spectral ratio	Grafico H/V
H/V Time history	Grafico Time history del rapporto H/V
Directional H/V	Grafico Direzionalità del rapporto H/V
Single component spectra	Grafico delle singole componenti spettrali
Experimental vs. sintetic H/V	Sovrapposizione della curva sperimentale alla curva H/V e istogramma Velocità/Profondità

Nel sito di indagine è stata effettuata una misura di sismica passiva a stazione singola della durata di 20' allo scopo di individuare le frequenze di risonanza fondamentali dei terreni e il profilo di velocità delle onde di taglio, per poter procedere all'identificazione della categoria di sottosuolo (D.M. 17/01/2018). L'utilizzo di un appropriato programma di inversione ha permesso di ricostruire il profilo di velocità in onde S del sottosuolo sulla base del confronto tra stratigrafia e curve H/V e spettrali.

La traccia acquisita mostra un andamento distinto nei 3 differenti domini di frequenza: alta, media e bassa, nel quale si è proceduto all'interpretazione considerando 3 diversi massimi locali registrati nei differenti domini di frequenze.

Nel dominio delle alte frequenze la curva vede un massimo in corrispondenza dei 30 Hz con rapporto H/V di circa 3.

Alle medie-alte frequenze la curva presenta un massimo in concomitanza della frequenza dei 6.7 Hz con rapporto H/V di circa 1,5.

Passando a frequenze più basse si trova un altro picco importante registrato ad una frequenza di circa 1,6 Hz, con un valore di H/V di circa 2.

In sintesi:

- Alle frequenze di interesse ingegneristico (1Hz-11 Hz), si pone l'attenzione al massimo in corrispondenza delle basse frequenze (1,6 Hz) e relativo intorno, nel quale si potrebbero generare fenomeni di doppia risonanza.
- In corrispondenza del sito i terreni presentano velocità V_{s30} di 456 m/s. Si fa riferimento al parametro V_{s30} , perché il *bedrock* sismico è posto a profondità superiori ai 30 m.

CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DELL'AREA

• Classificazione sismica

Secondo la classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n° 3274, poi rivista ed aggiornata nel DGR n°146 del 06/02/2023 della Regione Emilia-Romagna, il Comune di Bologna viene classificato in Zona 3.

• Coordinate geografiche del sito in esame

Per trovare lo spettro di progetto necessario per i calcoli geotecnici si potrà fare riferimento alle seguenti coordinate geografiche del sito:

Coordinate sistema WGS84	Latitudine	44.476132	Longitudine	11.306322
Coordinate sistema ED50	Latitudine	44.477072	Longitudine	11.307315

Tabella 4: Coordinate geografiche del sito in due sistemi di riferimento.

• Categoria topografica

Visto il contesto geologico e morfologico dell'area, come coefficiente per gli effetti di amplificazione topografica, si potrà far riferimento ad una categoria T2

• Storia sismica dell'area

Dalla consultazione della mappa interattiva rappresentante la sismologia storica e macrosismica d'interesse per l'Italia, nella finestra temporale dall'anno 1000 al 2017 (tratta da "Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV") si evince che l'area in oggetto di studio non è stato interessato storicamente da terremoti di alta intensità.

Di seguito è riportata la mappa degli eventi sismici più importanti con magnitudo maggiore di 4,75 Mw, avvenuti in un raggio di 30 km dall'area oggetto di studio.

Viene anche esposto in forma tabellare, l'elenco di tali eventi definiti da data, magnitudo, area epicentrale e distanza di quest'ultimi dall'area in oggetto.

Dall'elenco dei terremoti storici si deduce che il terremoto più significativo è avvenuto nel Bolognese nel 1505, registrando una magnitudo di 5.62 (Mw), ad una distanza di circa 7 km.

Passando all'analisi della situazione sismica recente (dal 2000 al 2017) il terremoto più significativo si è avvenuto nell'Appennino bolognese nel 2003, registrando una magnitudo di 5.24 (Mw), ad una distanza di circa 25 km.

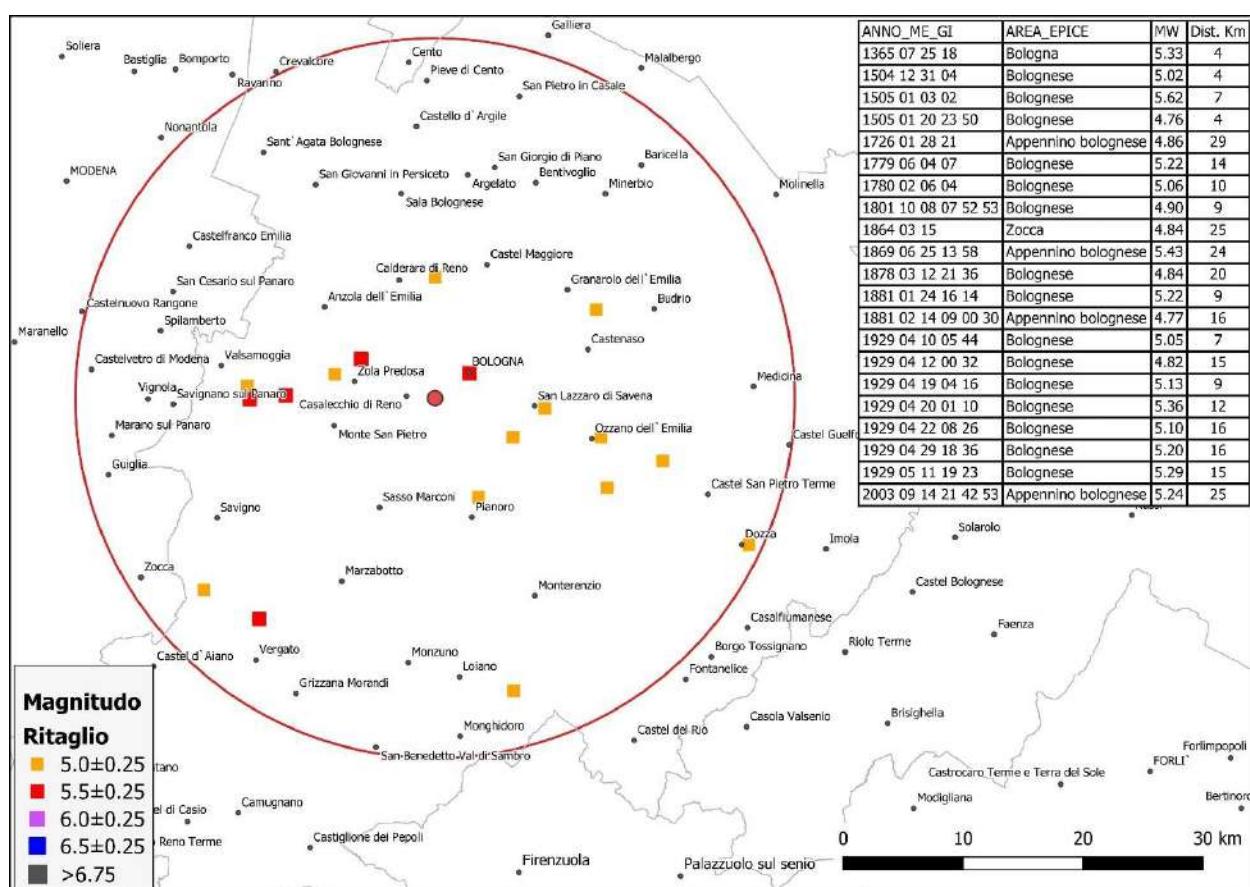


Figura 2: Mappa delle aree epicentrali storiche e recenti, nel raggio di 30 km dalla zona di studio (tratto da CPTI15 v2.0. dell'INGV).

• Zone e sorgenti sismogenetiche

Dalla consultazione della on line della mappa sismogenetica (zonazione sismogenetica ZS9 e distribuzione delle sorgenti sismogenetiche DISS 3) si evince che l'area oggetto di studio ricade all'interno della struttura sismogenetica a carattere regionale denominata "ITCS047: Castelvetro di Modena - Castel San Pietro Terme" la cui massima magnitudo attesa è di 6,0 nelle vicinanze delle sorgenti sismogenetiche "ITIS091 – Casalecchio di Reno" e "ITIS103 – Crespellano". Di seguito viene riportata l'ubicazione geografica delle strutture sismogenetiche.

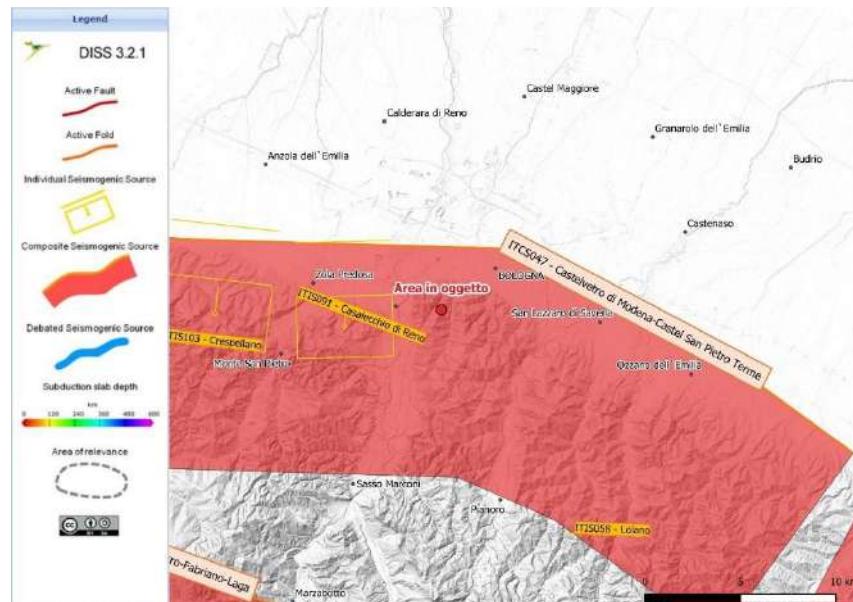


Figura 3: Mappa delle zone (ITCS) e sorgenti (ITIS) sismogenetiche collocate nell'intorno del comune oggetto di intervento.

• Pericolosità sismica da PTM

Al fine di offrire una più completa connotazione sismica del contesto in cui ricade l'area in oggetto, si è proceduto alla consultazione dello studio di riduzione del rischio sismico (Art. 28), messo a disposizione dalla Provincia di Bologna con la recente revisione del PTM.

In particolare, è stata consultata la cartografia di Tavola 4 “Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali”. In questa tavola l'area in oggetto ricade all'interno di zona omogenea, nel quale gli effetti locali attesi sono definiti dalla dicitura: “N - Substrato non rigido affiorante/subaffiorante”.

Con questa campitura si intende: substrato prevalentemente pelitico o poco consolidato o alterato o fratturato, affiorante o sub-affiorante (spessore delle coperture $H < 3m$) con inclinazione del pendio $i \leq 15^\circ$ e identificate come aree suscettibili di amplificazione stratigrafica.

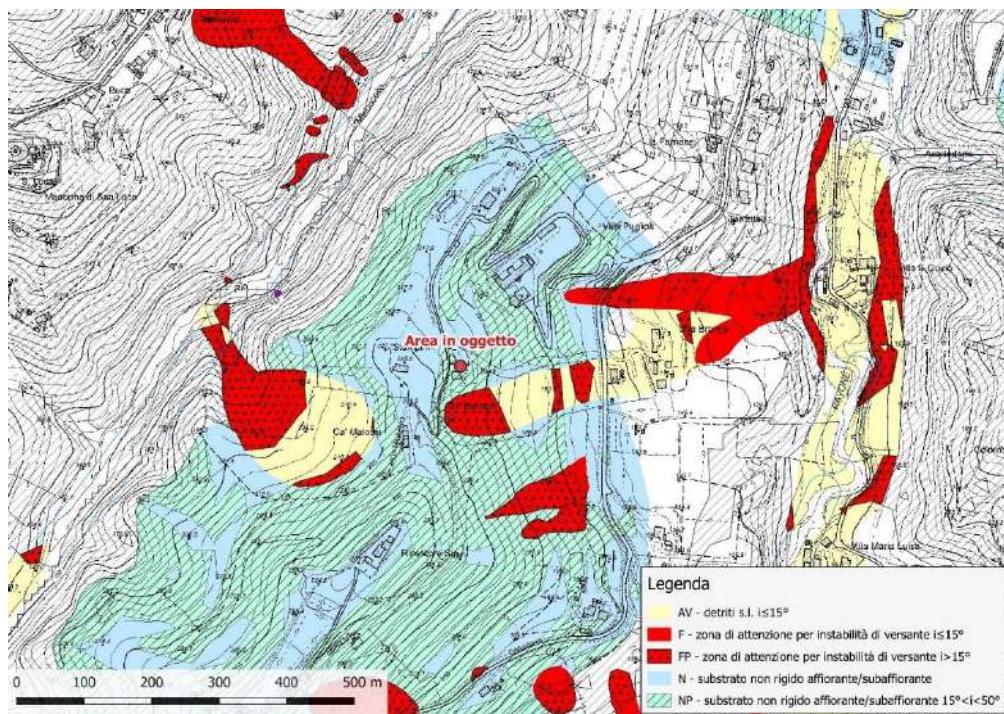


Figura 4: Estratto della carta di “Riduzione del rischio sismico” (Tav. 4 del PTM).

- **Pericolosità sismica da PUG**

Un'ulteriore analisi sismica è stata fatta consultando lo studio di microzonazione sismica di II livello, messa a disposizione dal PUG di Bologna, che concorre alla riduzione del rischio sismico secondo DGR 630/2019.

In particolare, è stata consultata la Tavola dei vincoli e si è fatto riferimento alla cartografia del rischio sismico.

In questa tavola l'area in oggetto ricade all'interno di un'ampia zona omogenea, nel quale gli effetti locali attesi sono definiti come "Aree suscettibili di effetti locali del PTM".

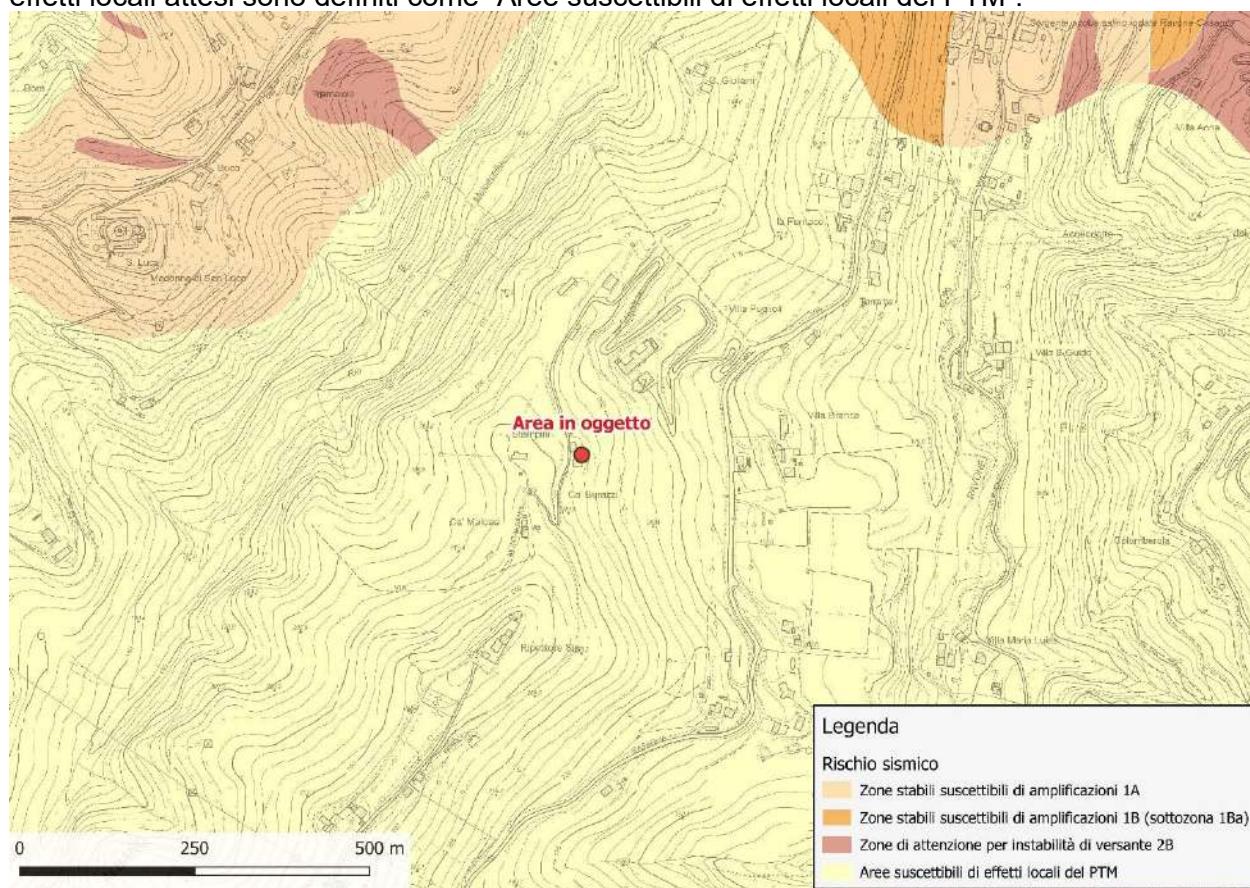


Figura 4: Estratto della carta di "Rischio sismico" del PUG di Bologna.

SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI E RELATIVE VERIFICHE

In condizioni sismiche, il termine "liquefazione" comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono collegati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una riduzione della tensione media efficace presente nel terreno e, quindi, una riduzione della resistenza a taglio. La riduzione della resistenza può rappresentare solo una condizione temporanea, seguita da un successivo recupero, o può indurre nel terreno una condizione di collasso generalizzata e definitiva.

L'avvenuta liquefazione si manifesta, in condizioni di *free-field* (cioè in assenza di manufatti sulla superficie del deposito), attraverso la formazione di vulcanelli di sabbia, rotture o spostamenti laterali del terreno, ovvero in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati sedimenti e rotazioni.

Durante l'evento sismico, se la superficie del piano campagna è orizzontale questo può subire oscillazioni di grande ampiezza. Al termine della sollecitazione, la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e il conseguente riassestamento dei grani possono dar luogo a fenomeni di subsidenza. I fattori principali che rendono i terreni suscettibili alla liquefazione sono legati alle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche del territorio.

In base alla normativa vigente la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata ($N1$) $60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove ($N1$) 60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $Uc < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $Uc > 3,5$.

- **Verifica a liquefazione dei terreni**

Nel caso in esame, non si ravvisa la presenza di tutti gli elementi predisponenti il fenomeno.

CATEGORIA DEI TERRENI

Sulla base dei risultati delle prove e delle verifiche effettuate è possibile inserire il terreno indagato in una categoria di sottosuolo con approccio semplificato.

Nel caso specifico si può considerare il suolo ascrivibile alla categoria di B (NTC 2018 Tab. 3.2.II). La definizione riportata nella vigente normativa la descrive come: "B - 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".

CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI SULLE STRUTTURE FONDALI

Dallo studio eseguito è emersa una situazione stratigrafica caratterizzata nei primi 1.4 ÷ 1.8 m di spessore da riporti consolidati, costituiti da terreno nella posizione della prova CPT1 e da terreno misto frammenti di laterizio nella posizione della CPT 2..

Più in profondità sono presenti alternanze di limi e sabbie limose compatti, che sovrastano il substrato della formazione del CIG costituito da marne siltose sabbiose che da alterato passa a intatto, diventando impenetrabile alla strumentazione utilizzata

Viste le condizioni riscontrate e tenendo conto che la piscina risulta collocata nelle immediate vicinanze del ciglio di scarpata, si consiglia di ricorrere all'adozione di fondazioni di tipo profondo (pali o micropali trivellati) di lunghezza di circa 5/6 m dalla base della piscina, in modo da impostarsi nell'unità B che mostra buone caratteristiche geotecniche.

Questo non tanto per i carichi che la struttura trasmetterà al terreno, ma per evitare sedimenti differenziati che poterebbero dare problemi alla piscina. Infatti, anche piccole lesioni nella struttura potrebbero causare perdite localizzate di acqua che, in contesti geologici come quello in oggetto, sarebbero in grado di innescare fenomeni di instabilità locale.

Per quanto riguarda le vasche degli impianti di depurazione delle acque reflue, vista la posizione e le litologie riscontrate, ritengo sia sufficiente l'adozione di fondazioni dirette.

Relativamente agli sbancamenti per la realizzazione delle opere, le pareti di scavo dovranno mantenere angoli di scarpa non superiori a 60° (rispetto al piano orizzontale) e dovranno essere protette in caso di pioggia.



Al riguardo delle condizioni sismiche, facendo riferimento alla vigente normativa, si potrà considerare:

- | | |
|---------------------------|---------------|
| ➤ Classificazione sismica | Zona3. |
| ➤ Categoria dei terreni | B |
| ➤ Categoria topografica | T2 |

Alla luce di quanto precedentemente enunciato, si può ritenere che le opere in progetto non andranno ad interferire in maniera significativa né con l'attuale equilibrio geostatico dell'area, né con le condizioni idrogeologiche presenti; tali opere quindi si potranno ritenere fattibili e compatibili con il sito oggetto d'intervento.

I movimenti di terreno necessari alla realizzazione delle opere non andranno ad influire sulla stabilità generale del versante e sulle condizioni idrogeologiche presenti.

Bologna, li 22 ottobre 2025

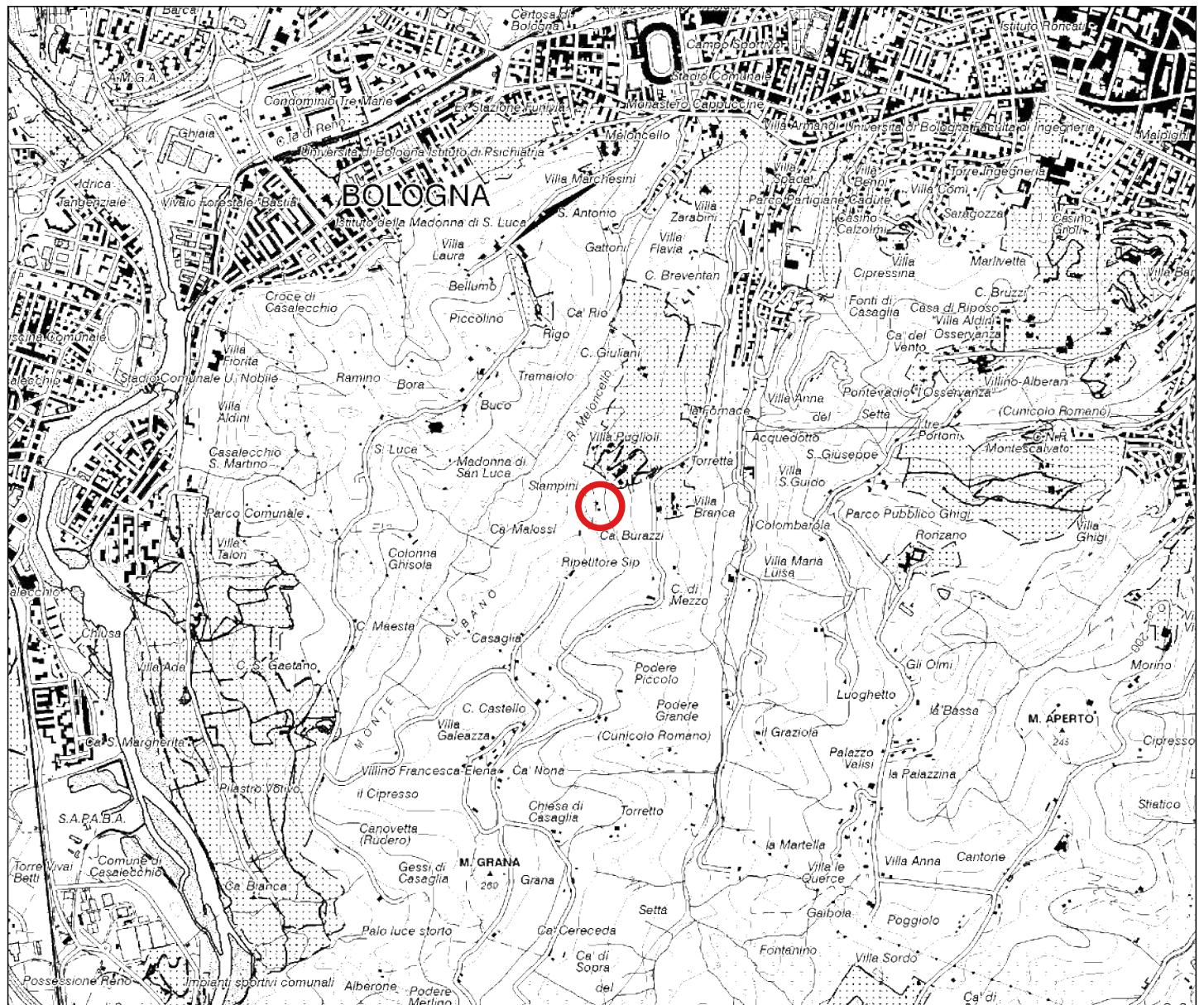
Dott. Luca Tondi

TAVOLE

- **Tav. 1 Corografia 1:25.000**
- **Tav. 2 Corografia 1:5.000**
- **Tav. 3 Carta geologica 1:5.000**
- **Tav. 4 Ubicazione indagini planimetria**

Tavola 1

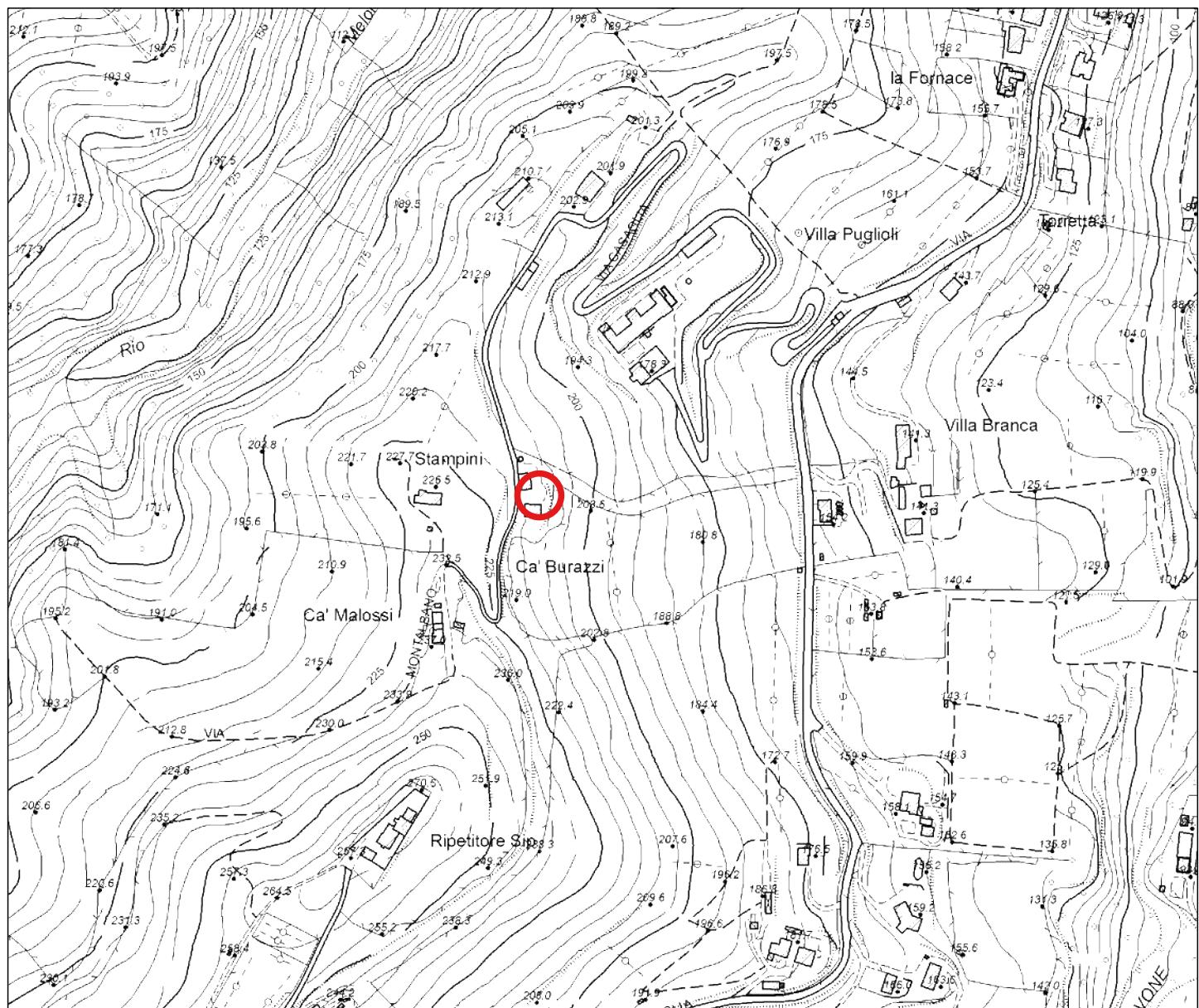
Stralcio C.T.R. n° 220 SE
Scala 1:25.000



Legenda



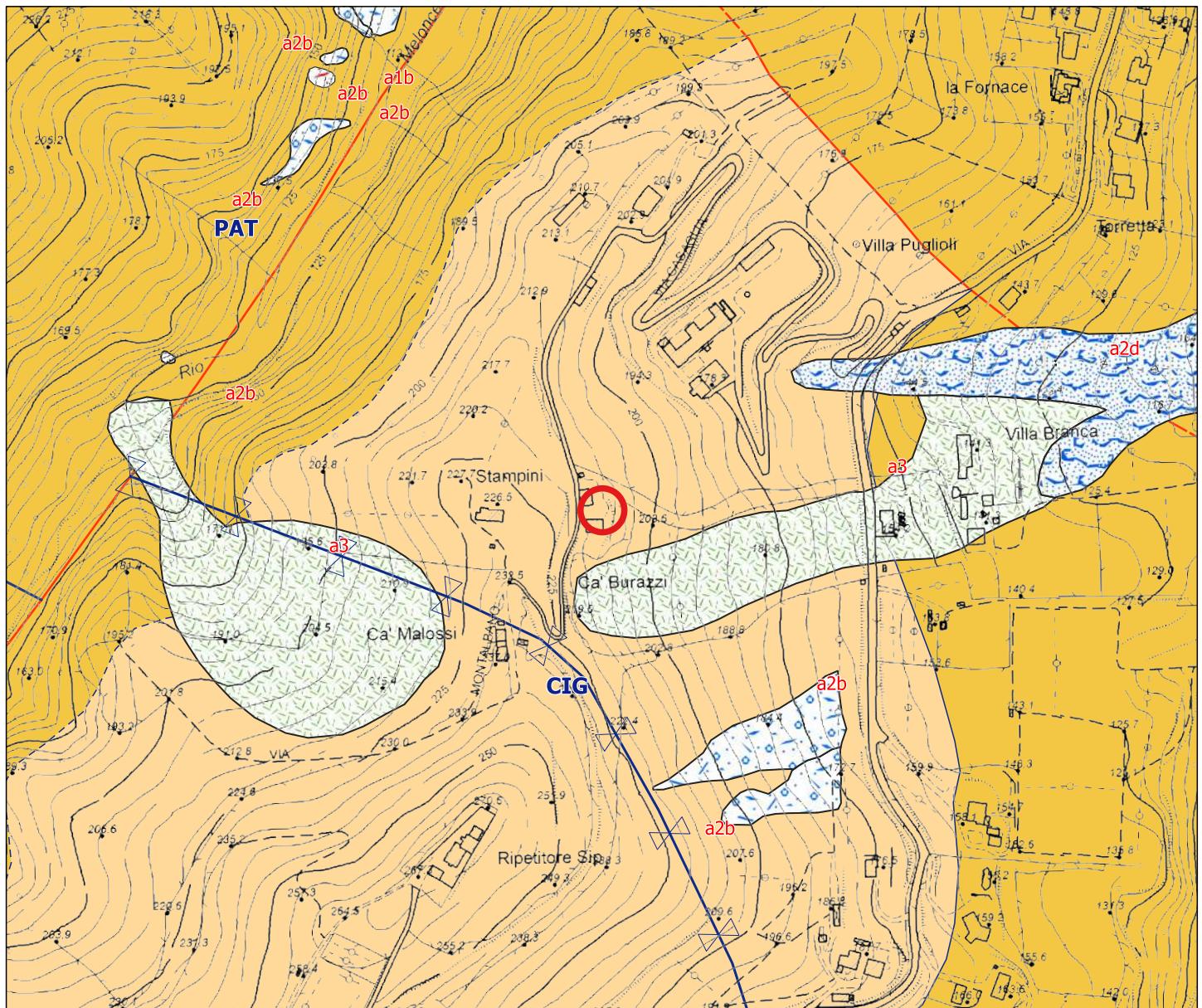
Area in oggetto



Legenda

Area in oggetto

Tavola 3
INQUADRAMENTO GEOLOGICO
Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna
Scala 1:5.000



Legenda

Area in oggetto

Elementi strutturali

- traccia di superficie assiale antiforme con asse orizzontale certa
- traccia di superficie assiale siniforme con asse orizzontale certa

Coperture Quaternarie

- a1b - Deposito di frana attiva per scivolamento
- a2b - Deposito di frana quiescente per scivolamento
- a2d - Deposito di frana quiescente per colamento di fango
- a3 - Deposito di versante s.l.

Limiti di unità geologiche

- contatto stratigrafico o litologico certo
- contatto stratigrafico o litologico incerto
- faglia certa
- faglia incerta

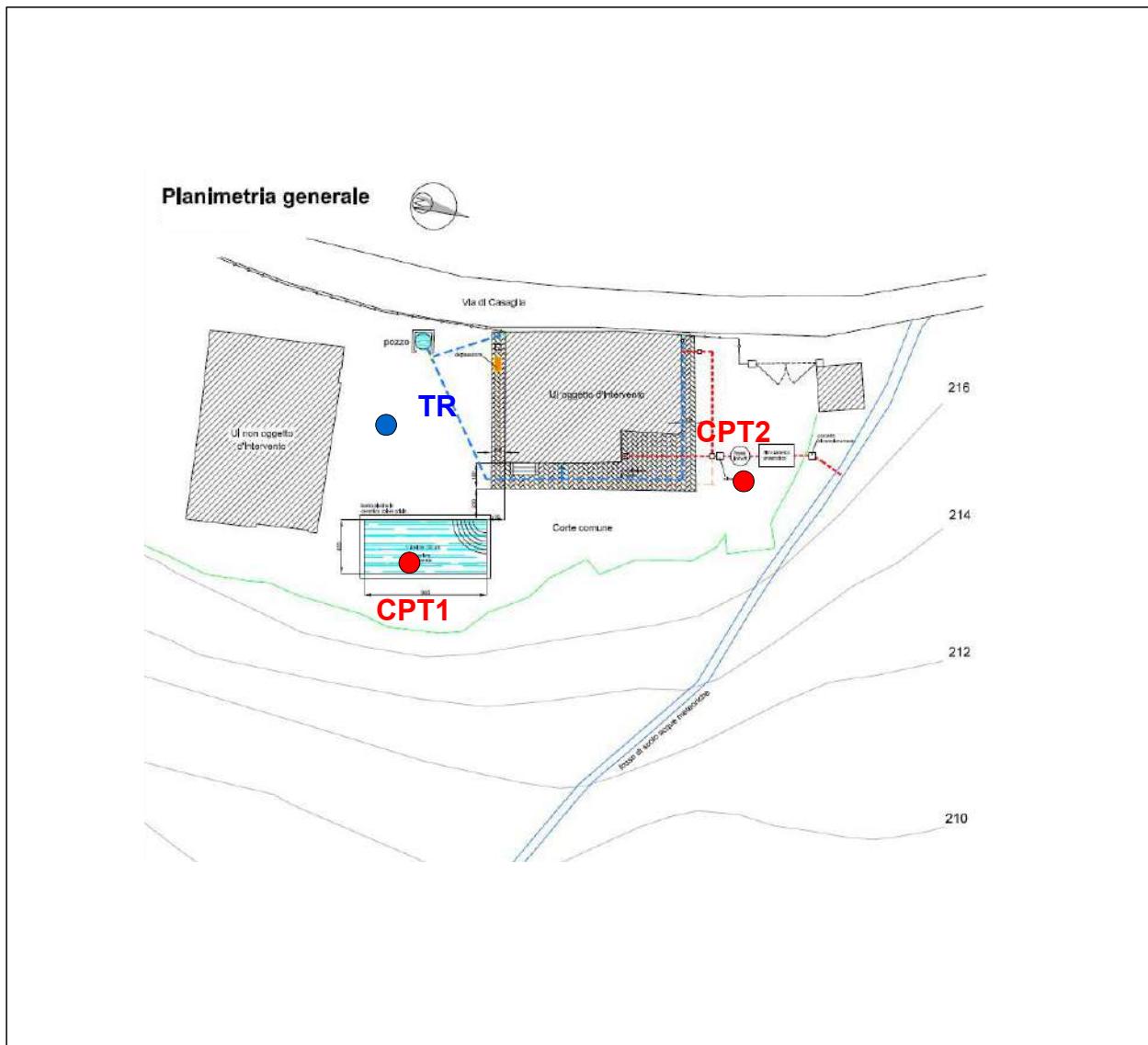
Unità Geologiche

- CIG - Formazione di Cigarello
- PAT - Formazione di Pantano

UBICAZIONE INDAGINI

STRALCIO PLANIMETRIA

SCALA 1:500



Legenda

- **CPT1** Prove penetrometriche statiche
- **TR** Indagine geofisica con tromografo digitale

INDAGINI GEOGNOSTICHE

PROVE PENETROMETRICHE

CONE PENETRATION TEST (C.T.P.)

PENETROMETRO STATICO SP120-C (DEEP-DRILL)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Lettura	Punta-Laterale
Baricentro punta lungo l'altezza	30 cm
Area punta	10 cm ²
Area interna punta cono	8.5 cm ²
Angolo di apertura punta	60°
Diametro punta conica meccanica	35.7 mm
Altezza manicotto laterale	13.3 cm
Sistema di misura:	Meccanico
Passo:	20 cm
Peso manicotto ancoraggio	2 Kg
Superficie manicotto	150 cm ²
Anello allargatore:	Sì
Costante di trasformazione	10

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (qc / fs)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Validi in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = qc / fs$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 15 \text{ kg/cm}^2$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 30 \text{ kg/cm}^2$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 \text{ kg/cm}^2 < F \leq 60 \text{ kg/cm}^2$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60 \text{ kg/cm}^2$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di qc e di FR = $(fs / qc) \%$:

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- 1/3 ± - 1/2 di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

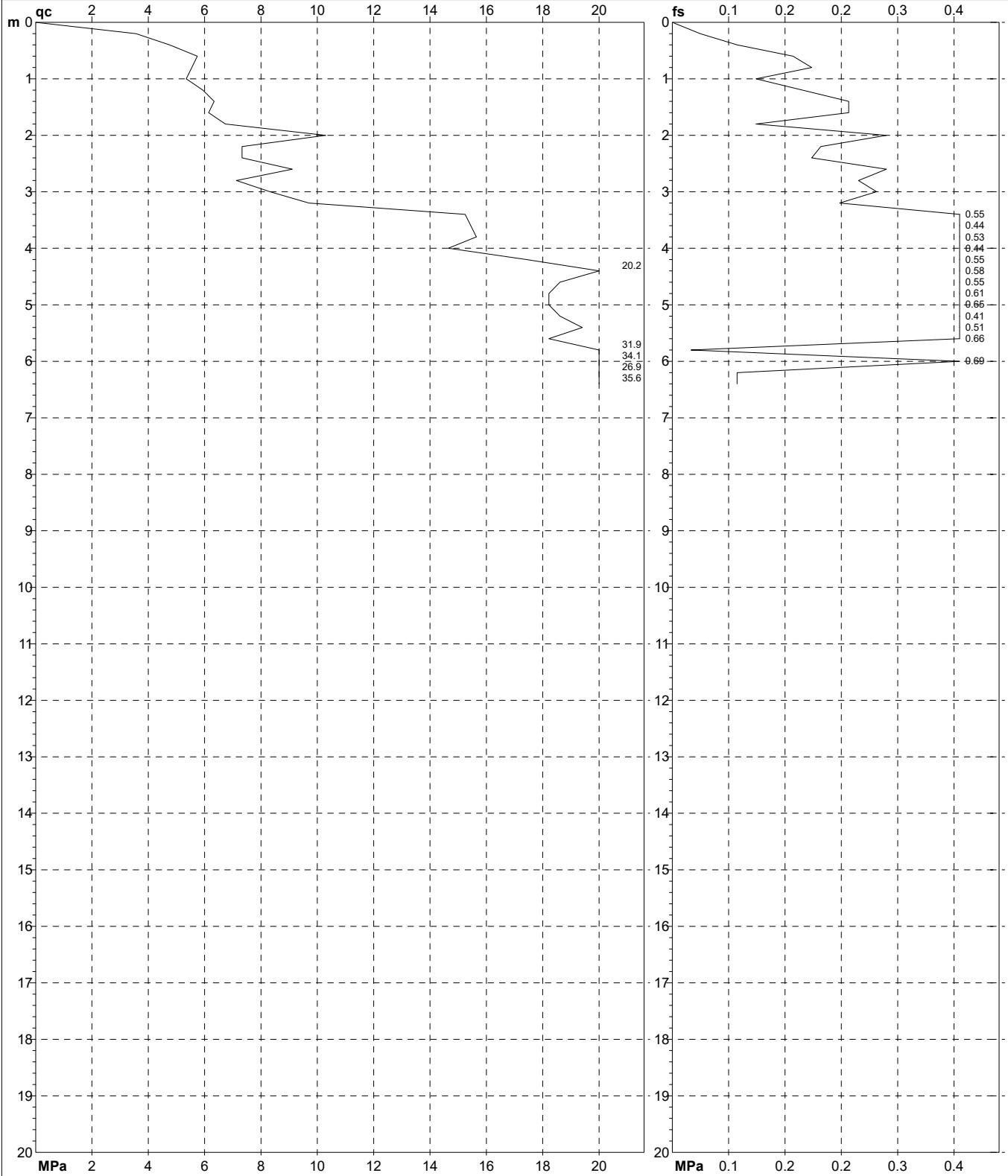
PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA**DIAGRAMMI DI RESISTENZA****CPT****1**

riferimento

042-2025

Committente: Tortorici
 Cantiere: Via di Casaglia 49
 Località: Bologna

U.M.: MPa Data esec.: 18/09/2025
 Scala: 1:100
 Pagina: 1 Quota inizio:
 Elaborato: Falda: Assente



Penetrometro: SP200	Preforo: m
Responsabile:	Corr.astine: kN/ml
Assistente:	Cod. punta:

PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**1**

riferimento

042-2025

Committente: **Tortorici**
 Cantiere: **Via di Casaglia 49**
 Località: **Bologna**

U.M.: **MPa** Data esec.: **18/09/2025**
 Pagina: **1** Elaborato:
 Falda: Assente

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	18.0	27.0		3.5	40.00	90	1.1
0.40	24.0	27.0		4.7	93.00	52	1.9
0.60	29.0	36.0		5.7	173.00	34	3.0
0.80	28.0	41.0		5.5	200.00	28	3.6
1.00	27.0	42.0		5.3	120.00	45	2.2
1.20	30.0	39.0		5.9	187.00	32	3.1
1.40	32.0	46.0		6.3	253.00	25	4.0
1.60	31.0	50.0		6.1	253.00	25	4.1
1.80	34.0	53.0		6.7	120.00	57	1.8
2.00	52.0	61.0		10.2	307.00	34	3.0
2.20	37.0	60.0		7.3	213.00	35	2.9
2.40	37.0	53.0		7.3	200.00	37	2.7
2.60	46.0	61.0		9.0	307.00	30	3.3
2.80	36.0	59.0		7.1	267.00	27	3.7
3.00	42.0	62.0		8.2	293.00	29	3.5
3.20	49.0	71.0		9.6	240.00	41	2.4
3.40	77.0	95.0		15.1	560.00	28	3.6
3.60	78.0	120.0		15.3	440.00	35	2.8
3.80	79.0	112.0		15.5	533.00	30	3.4
4.00	74.0	114.0		14.5	440.00	34	3.0
4.20	88.0	121.0		17.2	560.00	31	3.2
4.40	102.0	144.0		20.0	587.00	35	2.9
4.60	94.0	138.0		18.4	560.00	34	3.0
4.80	92.0	134.0		18.0	613.00	30	3.3
5.00	92.0	138.0		18.0	653.00	28	3.5
5.20	94.0	143.0		18.4	413.00	46	2.2
5.40	98.0	129.0		19.2	520.00	38	2.7
5.60	92.0	131.0		18.0	667.00	28	3.6
5.80	161.0	211.0		31.6	27.00	1193	0.1
6.00	172.0	174.0		33.7	693.00	50	2.0
6.20	136.0	188.0		26.7	93.00	292	0.3
6.40	180.0	187.0		35.3	93.00	387	0.3

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
--------	---------	---------	---------	-----------	-----------	--------	---------

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 20.00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
 fs = resistenza laterale calcolata
 alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

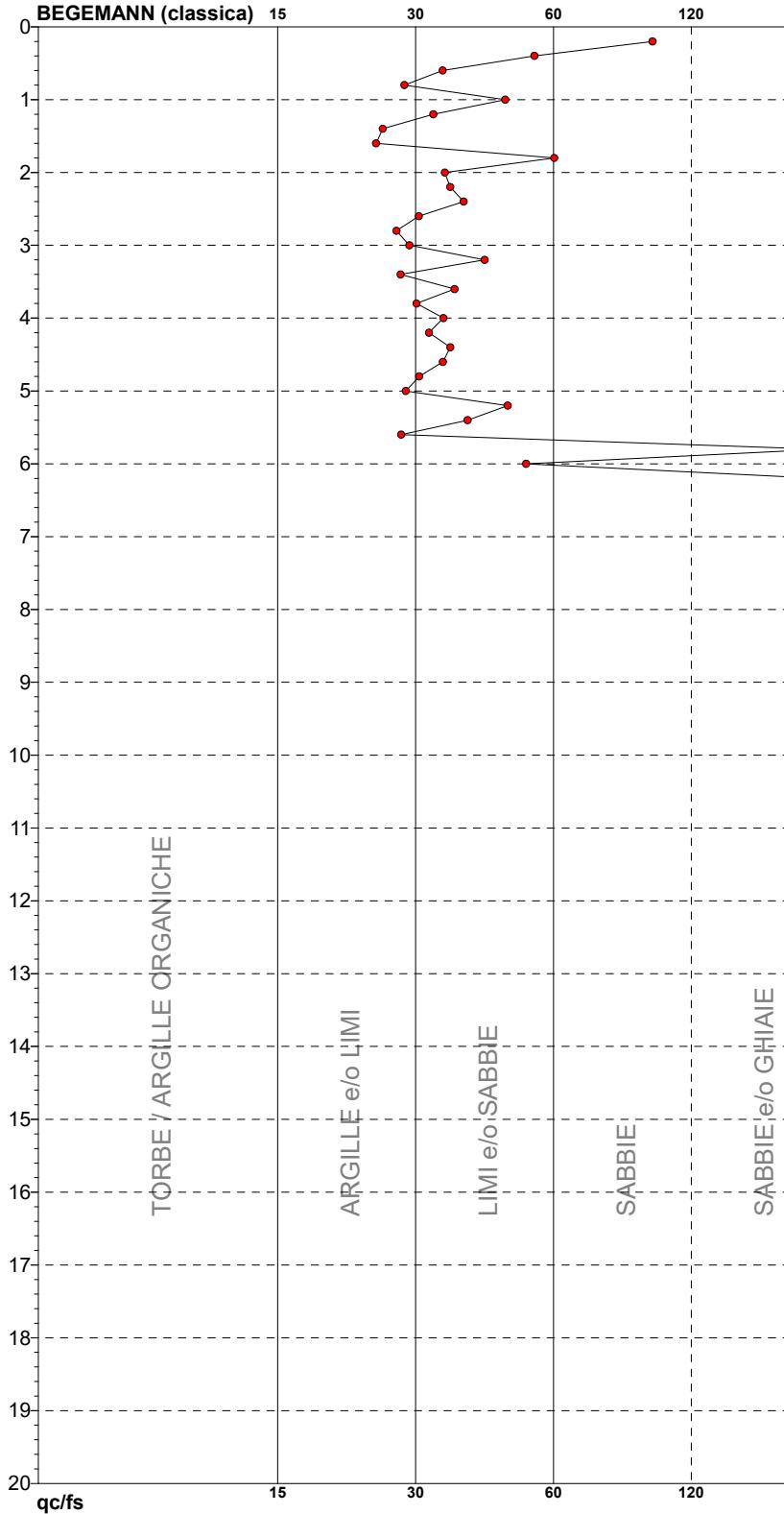
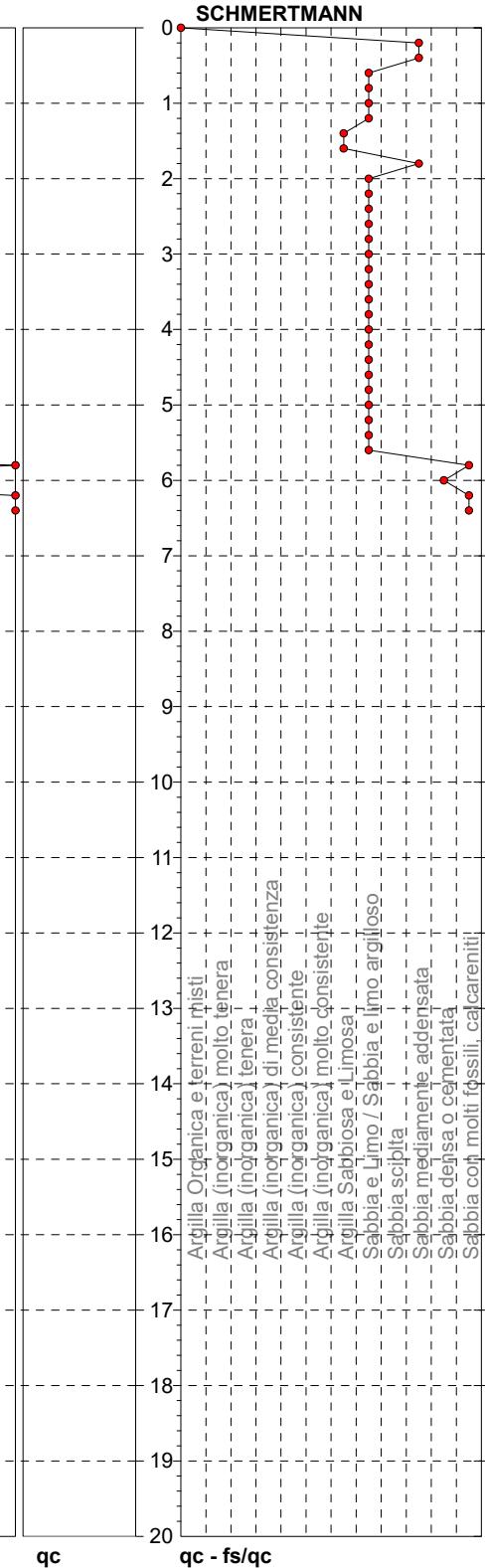
PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA**DIAGRAMMI LITOLOGIA****CPT****1**

riferimento

042-2025

Committente: Tortorici
 Cantiere: Via di Casaglia 49
 Località: Bologna

U.M.: MPa
 Scala: 1:100
 Pagina: 1
 Elaborato:
 Falda: Assente

BEGEMANN (classica)**SCHMERTMANN**

Torbe / Argille org.: 68 punti, 68.69%
 Argille e/o Limi : 10 punti, 10.10%
 Limi e/o Sabbie : 18 punti, 18.18%
 Sabbie: 1 punti, 1.01%
 Sabbie e/o Ghiaie : 3 punti, 3.03%

Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.: 23 punti, 23.23%
 Sabbia mediamente addensata: 3 punti, 3.03%
 Sabbia densa o cementata: 1 punti, 1.01%
 Sabbia con molti fossili, calcareniti: 3 punti, 3.03%

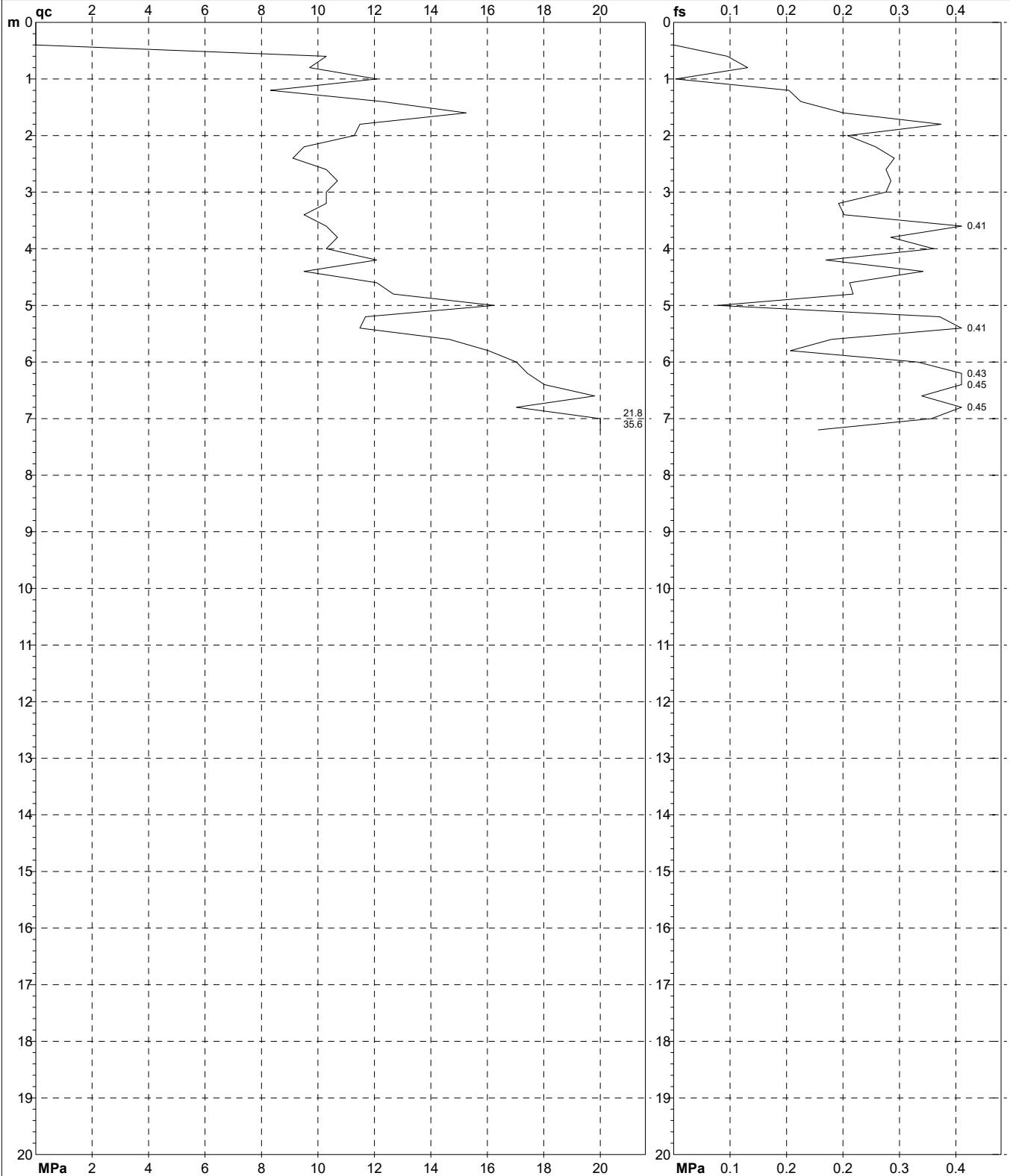
PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA**DIAGRAMMI DI RESISTENZA****CPT****2**

riferimento

042-2025

Committente: Tortorici
 Cantiere: Via di Casaglia 49
 Località: Bologna

U.M.: MPa Data esec.: 18/09/2025
 Scala: 1:100
 Pagina: 1 Quota inizio:
 Elaborato: Falda: Assente



	Penetrometro: SP200 Responsabile: Assistente:	Preforo: 0.40 m Corr.astine: kN/ml Cod. punta:
--	---	--

PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA
LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**2**

riferimento

042-2025

Committente: Tortorici
 Cantiere: Via di Casaglia 49
 Località: Bologna

U.M.: MPa Data esec.: 18/09/2025
 Pagina: 1 Elaborato:
 Falda: Assente

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	
0.20	0.0	0.0		0.0	0.00											
0.40	0.0	0.0		0.0	0.00											
0.60	52.0	58.0		10.2	77.00	135	0.7									
0.80	49.0	57.0		9.6	106.00	92	1.1									
1.00	61.0	61.0		12.0	3.00	4067	0.0									
1.20	42.0	54.0		8.2	165.00	51	2.0									
1.40	62.0	76.0		12.2	182.00	68	1.5									
1.60	77.0	95.0		15.1	243.00	63	1.6									
1.80	58.0	87.0		11.4	383.00	30	3.3									
2.00	57.0	76.0		11.2	249.00	46	2.2									
2.20	48.0	70.0		9.4	289.00	33	3.0									
2.40	46.0	70.0		9.0	316.00	29	3.4									
2.60	52.0	75.0		10.2	304.00	34	2.9									
2.80	54.0	77.0		10.6	311.00	35	2.9									
3.00	52.0	75.0		10.2	304.00	34	2.9									
3.20	52.0	70.0		10.2	236.00	44	2.3									
3.40	48.0	66.0		9.4	244.00	39	2.5									
3.60	52.0	83.0		10.2	417.00	25	4.0									
3.80	54.0	77.0		10.6	311.00	35	2.9									
4.00	52.0	80.0		10.2	372.00	28	3.6									
4.20	61.0	77.0		12.0	218.00	56	1.8									
4.40	48.0	75.0		9.4	357.00	27	3.7									
4.60	61.0	80.0		12.0	252.00	48	2.1									
4.80	64.0	83.0		12.5	257.00	50	2.0									
5.00	82.0	87.0		16.1	63.00	260	0.4									
5.20	59.0	88.0		11.6	381.00	31	3.2									
5.40	58.0	89.0		11.4	417.00	28	3.6									
5.60	74.0	91.0		14.5	226.00	65	1.5									
5.80	81.0	94.0		15.9	167.00	97	1.0									
6.00	86.0	112.0		16.9	349.00	49	2.0									
6.20	88.0	121.0		17.2	436.00	40	2.5									
6.40	91.0	125.0		17.8	453.00	40	2.5									
6.60	100.0	127.0		19.6	355.00	56	1.8									
6.80	86.0	120.0		16.9	451.00	38	2.6									
7.00	110.0	138.0		21.6	369.00	60	1.7									
7.20	180.0	196.0		35.3	207.00	174	0.6									

H = profondità

qc = resistenza di punta

L1 = prima lettura (punta)

fs = resistenza laterale calcolata

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

alla stessa quota di qc

Lt = terza lettura (totale)

F = rapporto Begemann (qc / fs)

CT = 20.00 costante di trasformazione

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

**PROVA PENETROMETRICA STATICÀ MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA**

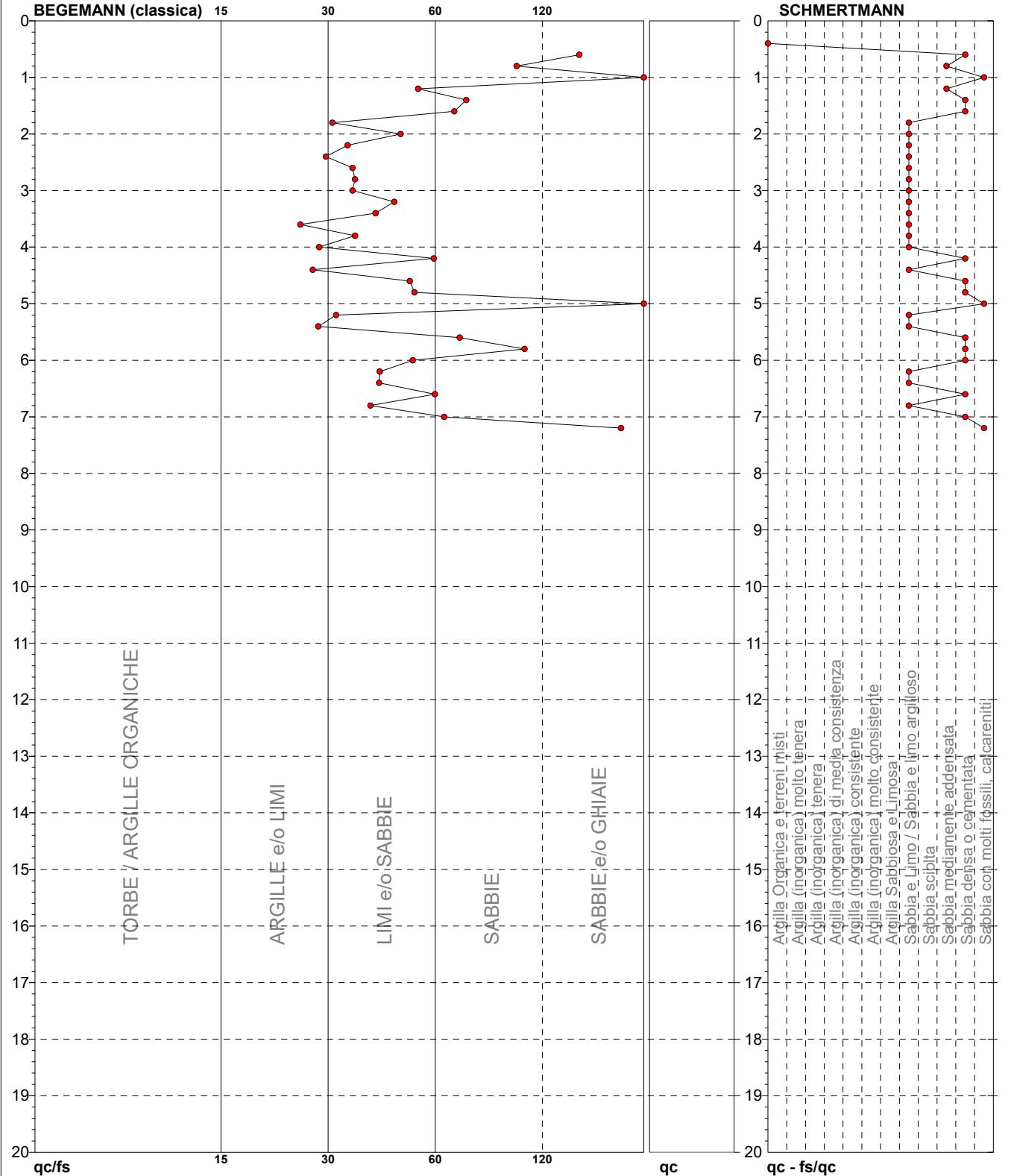
CPT**2**

riferimento

042-2025

Committente: Tortorici
Cantiere: Via di Casaglia 49
Località: Bologna

U.M.: MPa
Scala: 1:100
Pagina: 1
Elaborato:
Falda: Assente



Torbe / Argille org.: 66 punti, 66.67%
Argille e/o Limi : 5 punti, 5.05%
Limi e/o Sabbie : 20 punti, 20.20%
Sabbie: 5 punti, 5.05%
Sabbie e/o Ghiaie : 4 punti, 4.04%

Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.: 18 punti, 18.18%
Sabbia mediamente addensata: 2 punti, 2.02%
Sabbia densa o cementata: 11 punti, 11.11%
Sabbia con molti fossili, calcareniti: 3 punti, 3.03%

INDAGINI SISMICHE

- MISURE CON TROMOGRAFO DIGITALE

BOLOGNA, VIA DI CASAGLIA 49

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 17/09/25 13:50:08 Fine registrazione: 17/09/25 14:08:09

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h18'00".

Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

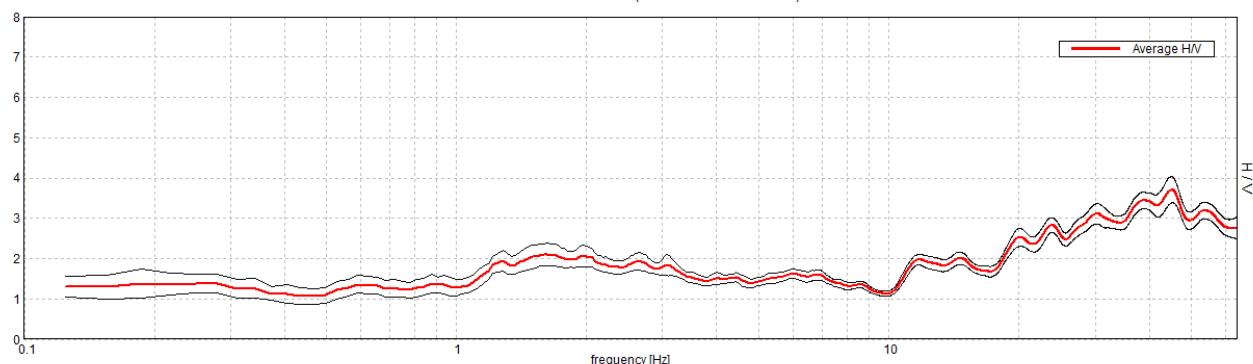
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

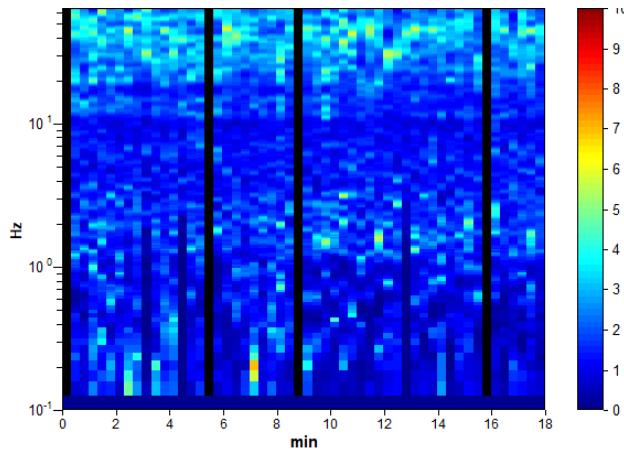
Lisciamento: 7%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

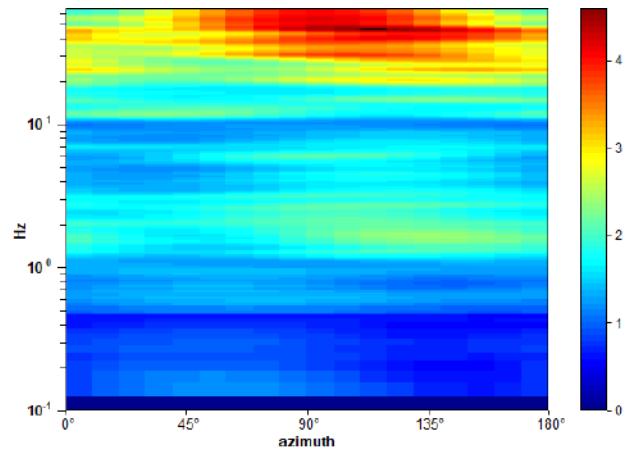
Picco H/V a 45.06 ± 5.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



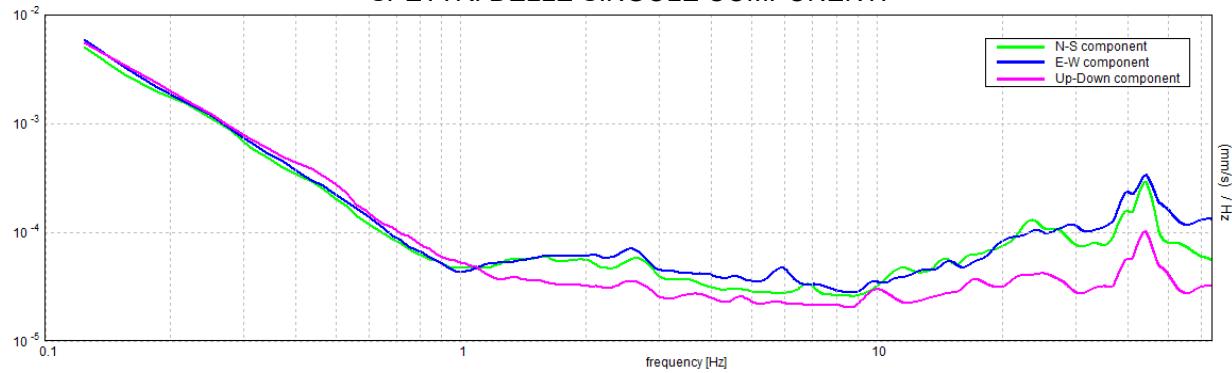
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

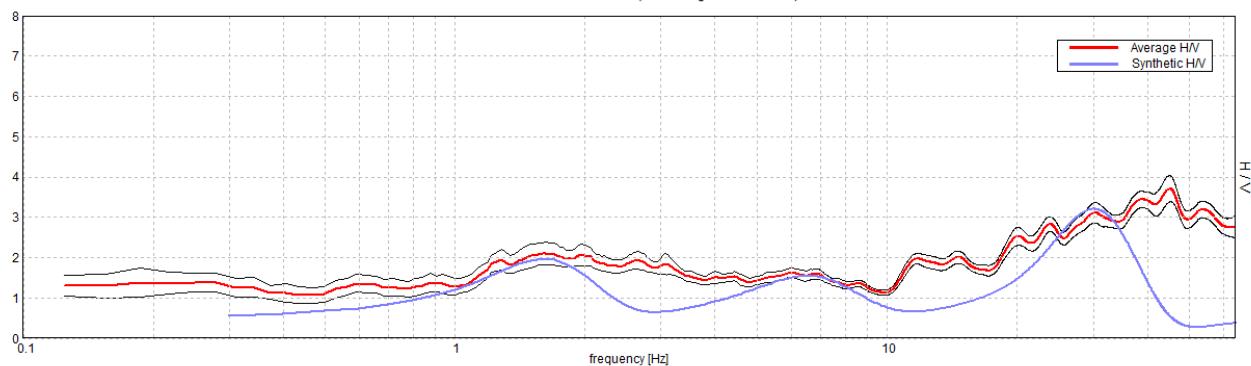


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V Sperimentale vs. H/V Sintetico

Max. H/V at 45.06 ± 5.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]

1.60
14.60
94.60
inf.

Spessore [m]

1.60
13.00
80.00
inf.

Vs [m/s]

190
390
640
1100

Rapporto di Poisson

0.44
0.43
0.42
0.41

$$Vs(0.0-30.0)=456\text{ m/s}$$

