



Analisi Sistemi Integrati Terra Acqua Ambiente

Dott. Geol. Alberto Antinori

analysisistemi@gmail.com

Via Mamiani 2, 61030 Cartoceto - tel. e fax 0721 898273 - cell. 368 7492585

cod.fisc. NTN LRT 59T18 H721X - p.iva 01175050416 - iscriz. ORG: 271 sezione A

Analisi Sistemi Integrati Terra Acqua Ambiente

Comune di Fano

(Provincia di Pesaro e Urbino)

*Polo museale di Vitruvio e della romanità
con riqualificazione funzionale dell'ex
Filanda Bosone.*

Relazione Geologica

DATA: giugno 2026

il geologo

(firmata digitalmente da Alberto Antinori)



Sommario

PREMESSA	2
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
1. UBICAZIONE E DESCRIZIONE DELL'AREA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
4. ANALISI IDROGEOLOGICA.....	7
5. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	9
6. ACQUISIZIONE DATI LITO-STRATIGRAFICI E GEOTECNICI.....	12
6.1 Dati bibliografici.....	12
6.2 Indagini geognostiche integrative	14
6.2.1 Prove penetrometriche statiche CPTu.....	16
6.2.2 Prova penetrometrica dinamica DPSH	18
7. MODELLO LITO-STRATIGRAFICO E GEOTECNICO	19
8. MODELLAZIONE SISMICA	20
8.1 Velocità delle onde S	20
8.2 Categoria di sottosuolo	20
8.3 Categoria topografica.....	21
8.4 Parametri sismici NTC 2018	21
8.5 Liquefazione del terreno	22
9. INDICAZIONI PROGETTUALI.....	23

Allegati:

- Corografia
- Ubicazione indagini
- Elaborazione prove penetrometriche
- Sezioni litostratigrafiche
- Relazione di calcolo verifica liquefazione

Inserito:

- Report GECO S.r.l. indagini geofisiche e geotecniche

DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI		Pagina 1
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969	Giugno 2026



PREMESSA

La presente relazione espone metodologia e risultati dello studio geologico a corredo del progetto: ***“Realizzazione del polo museale di Vitruvio e della romanità con riqualificazione funzionale dell'ex Filanda Bosone a Fano”***

CUP D34H23000770001

Lo studio è stato svolto con le seguenti modalità:

1. Individuazione dell'assetto geologico-geomorfologico generale della zona d'indagine e delle aree circostanti.
2. Programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche e geofisiche.
3. Ricostruzione del modello geologico generale sulla base dei dati bibliografici.
4. Analisi dei dati ottenuti e definizione del modello geologico-tecnico del sito.
5. Stesura della relazione geologica con le risultanze delle indagini e le indicazioni progettuali.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme di riferimento sono:

Le norme nazionali e regionali di riferimento sono:

- ***L.R. n°34 del 5 agosto 1992*** – “Norme in materia urbanistica, paesaggistica e di assetto del territorio”
- ***D.P.R. 160 del 7 settembre 2010*** “Regolamento per la semplificazione ed il riordino della disciplina sullo sportello unico per le attività produttive”
- ***L.R. n°22 del 23 novembre 2011*** - “Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico”
- ***Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018*** - “Nuove norme tecniche per le costruzioni 2018”.
- ***Circolare del Ministro dei LL.PP. n. 21 del gennaio 2019***
Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI		Pagina 2
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969	Giugno 2026

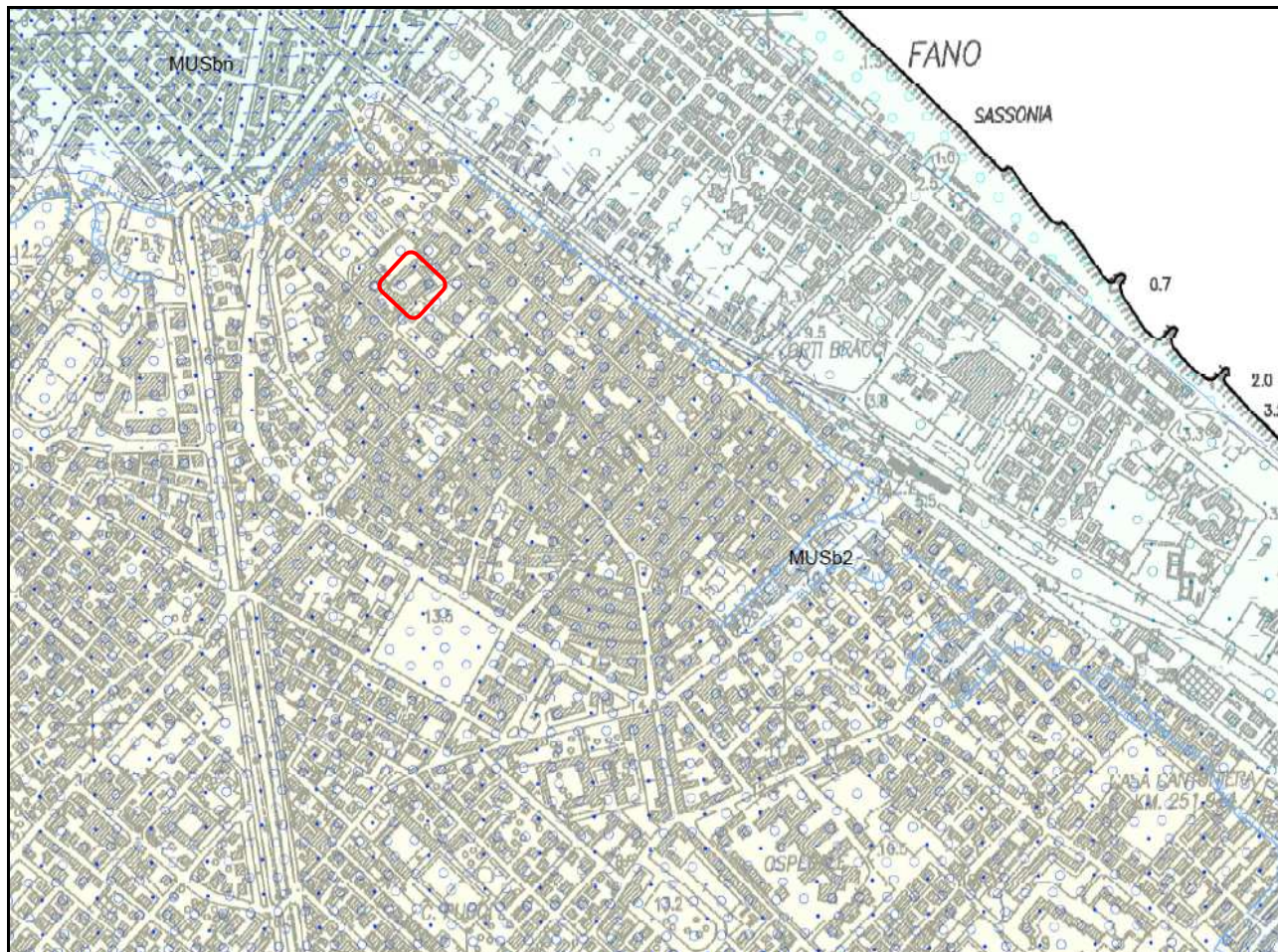
L'area di studio è situata all'interno del centro storico di Fano, su area pianeggiante, alla quota di circa 13 m sul livello del mare.



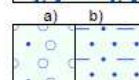
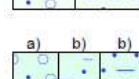
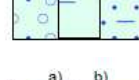
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio del Comune di Fano appartiene al Bacino Marchigiano Esterno o Avanfossa Marchigiana, confinata tra la catena appenninica a ovest e il Mare Adriatico a est.

La zona ricompresa nell'area di studio insiste su depositi alluvionali i quali si appoggiano a un substrato di argille molto compatte e sabbie, appartenenti alla Formazione delle Argille Azzurre del Pliocene.



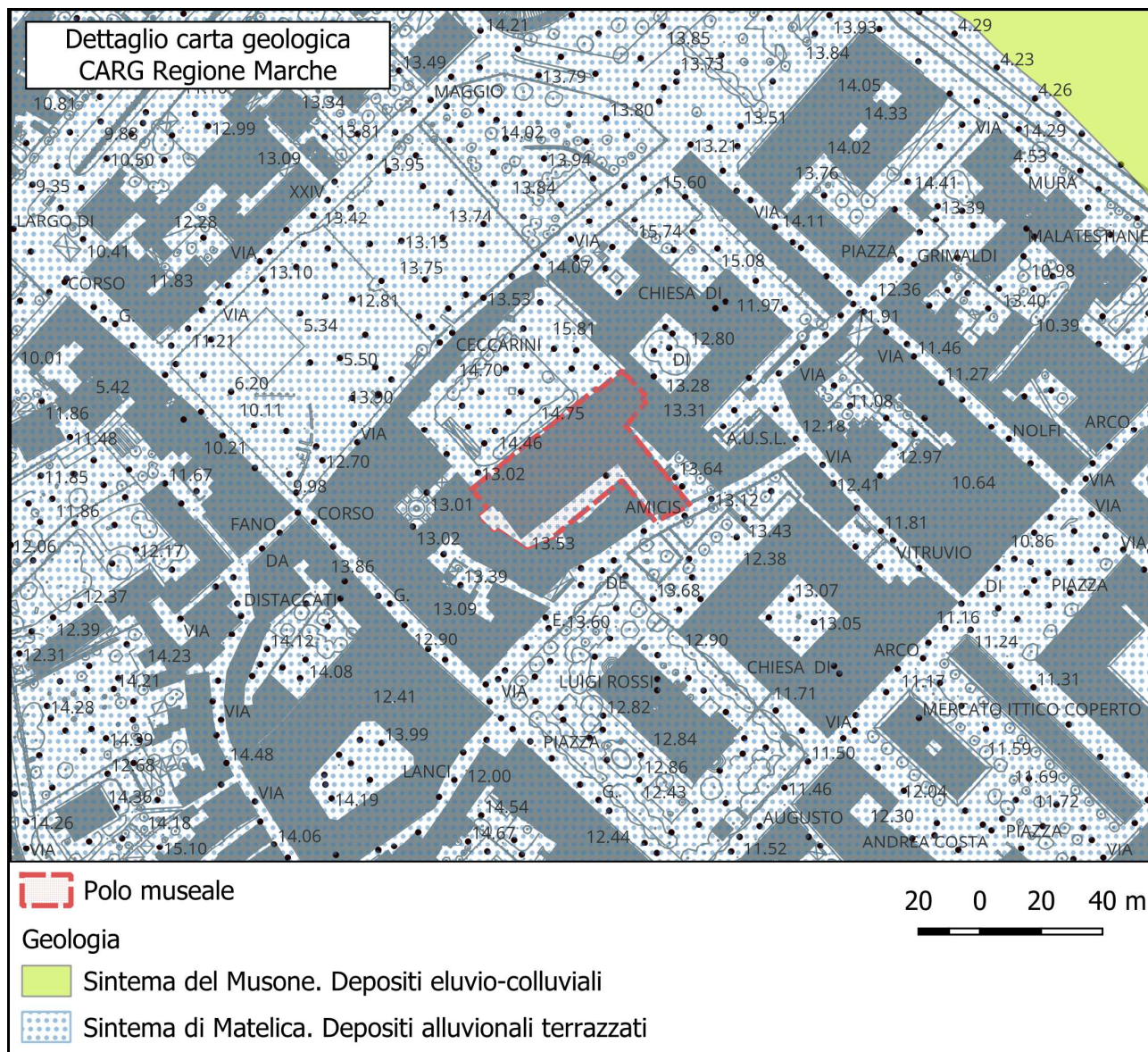
Estratto CARG carta geologica in scala 1:100.000 – Regione Marche.

	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
	MUSb	Depositi alluvionali attuali a) ghiaie e sabbie prevalenti con lenti sabbioso- limoso- argillose b) sabbie limi e argille con subordinate lenti ghiaiose
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie
	MTIbn	Depositi alluvionali terrazzati a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie
		Zona oggetto di studio

DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI	Pagina 4
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969 Giugno 2026

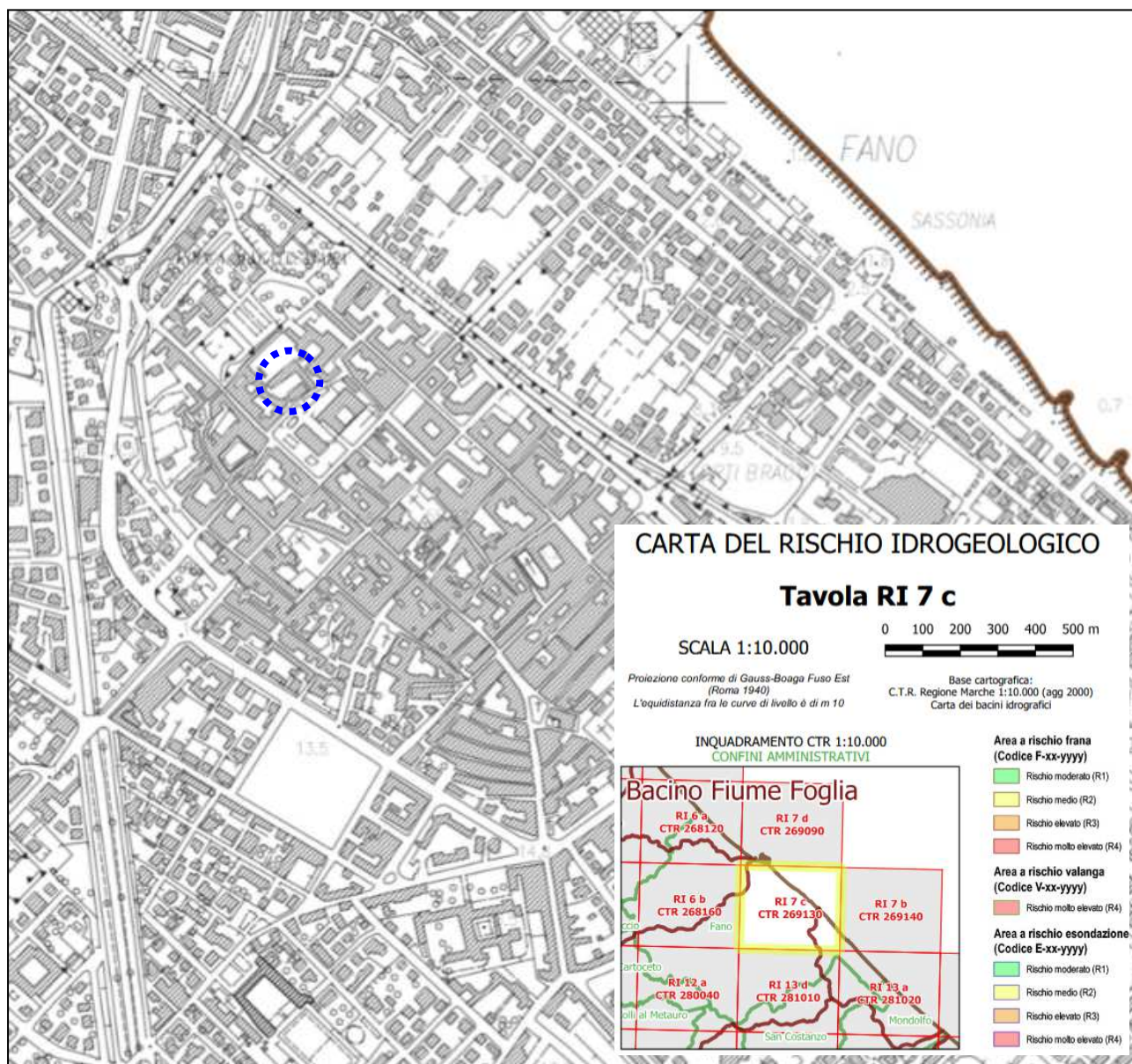
I depositi continentali sui quali insiste l'area urbana di Fano sono costituiti da:

- Alluvioni terrazzate: prevalgono le litologie incoerenti sabbioso-ghiaiose, strutturate in complessi lenticolari di diversa potenza e con una notevole variabilità laterale. Occupano una buona porzione della piana alluvionale e rappresentano, assieme ai depositi di spiaggia, la gran parte dello spessore dei sedimenti continentali che ricoprono il sub-strato pliocenico.



3. ANALISI GEOMORFOLOGICA

Il centro storico di Fano inclusa la zona dove dovrà sorgere il polo museale non è interessato da processi geomorfologici degni di nota; l'area urbana non è soggetta a dinamiche fluviali né a fenomeni gravitativi. Questa condizione di stabilità geomorfologica è rimarcata dalla cartografia del PAI (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico), del quale si riporto lo stralcio.


Polo museale

4. ANALISI IDROGEOLOGICA

L'area è caratterizzata dalla presenza di una falda idrica freatica la cui superficie è collocabile alla profondità di 10 – 12 metri. L'acquifero è costituito dai depositi continentali di origine alluvionale. La composizione varia dalle ghiaie sabbiose alle sabbie limose alle argille limose. Le permeabilità di questi depositi quaternari più superficiali sono state stimate mediante i risultati delle due prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono, applicando, in base alla carta SBT(Robertson 2010) di classificazione dei terreni, le seguenti formule:

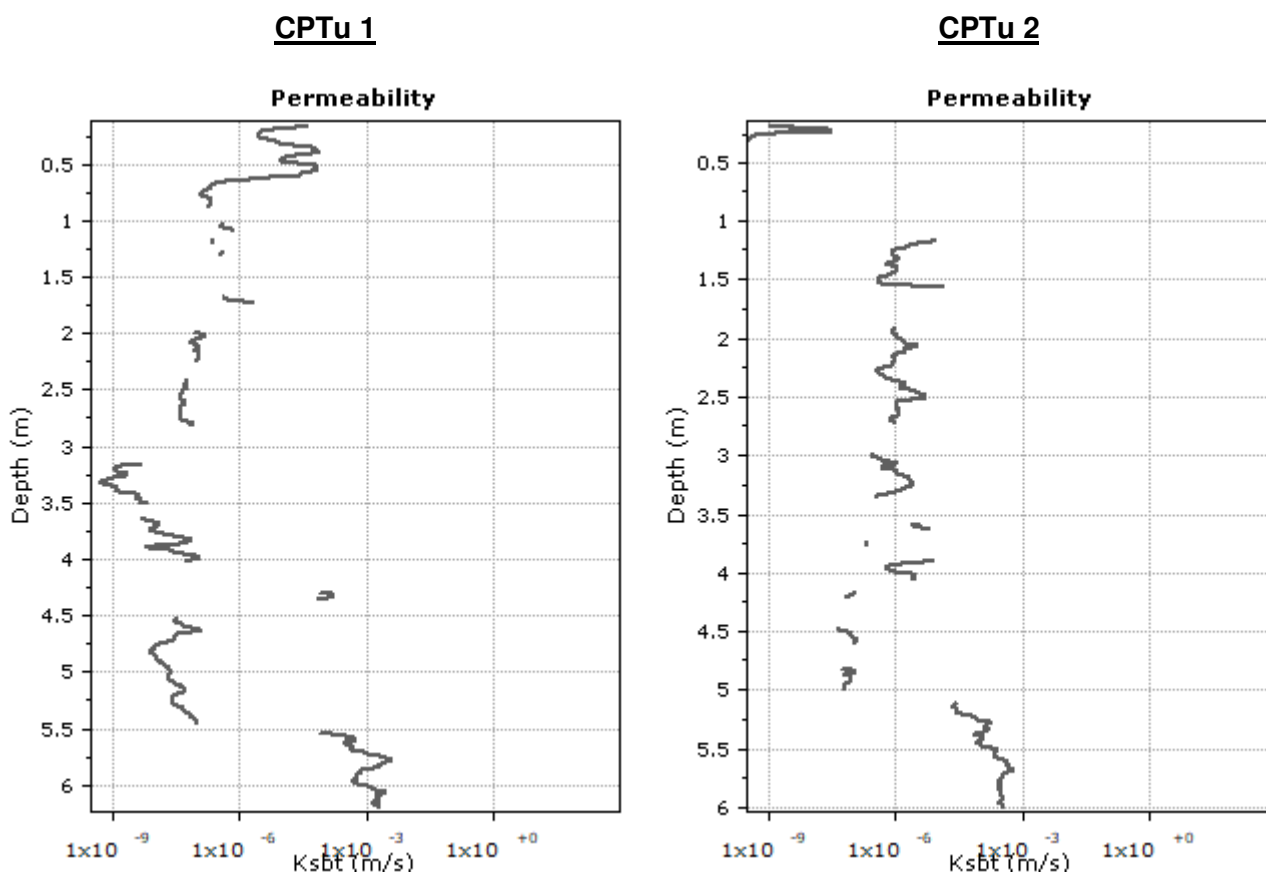
$$1.0 < I_c \leq 3.27$$

$$k = 10^{(0.952 - 3.04 I_c)} \quad \text{m/s}$$

$$3.27 < I_c < 4.0$$

$$k = 10^{(4.52 - 1.37 I_c)} \quad \text{m/s}$$

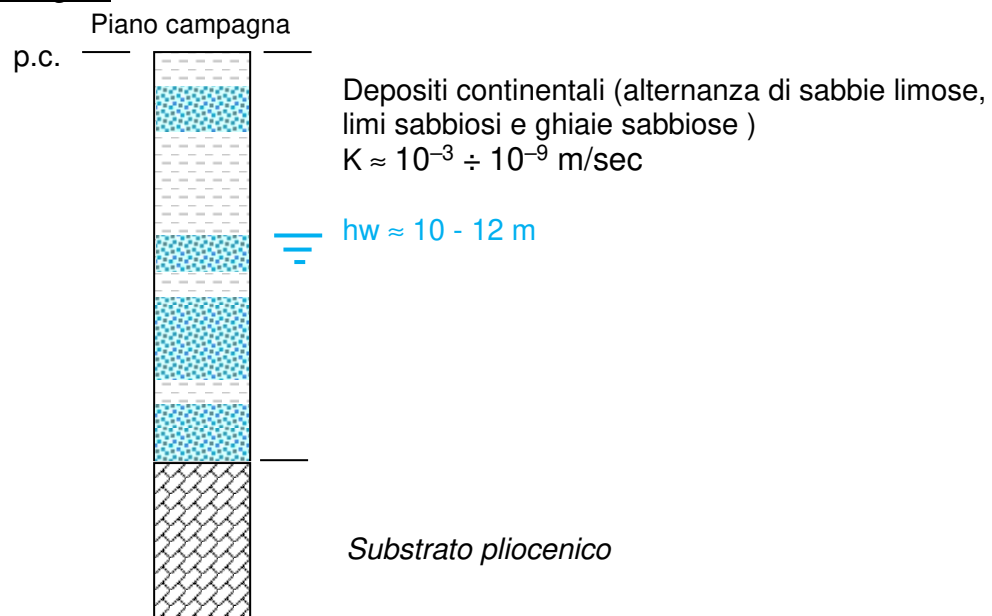
I valori ottenuti sono riportati nei seguenti diagramma:



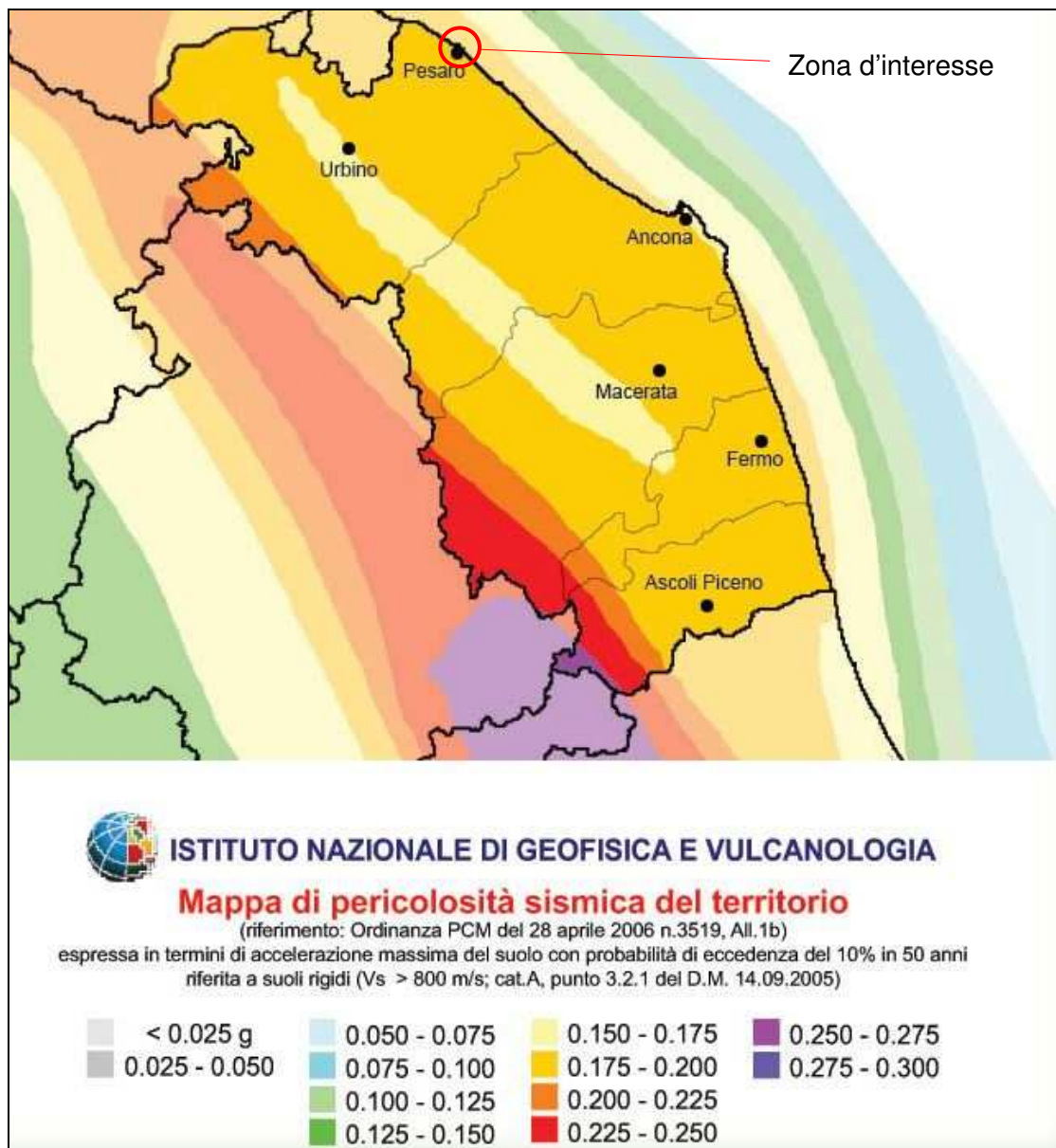
I valori di permeabilità, espressi in m/s, variano da minimi di E-9 (strati argillosi) a massimi di E-3 (strati composti da ghiaie e sabbie); escludendo i valori estremi, per la maggior parte dei sedimenti, le permeabilità oscillano mediamente tra E-6 e E-7 m/s.

Lo schema idrogeologico di riferimento è quindi il seguente:

Schema idrogeologico



DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI		Pagina	9
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969	Giugno 2026	

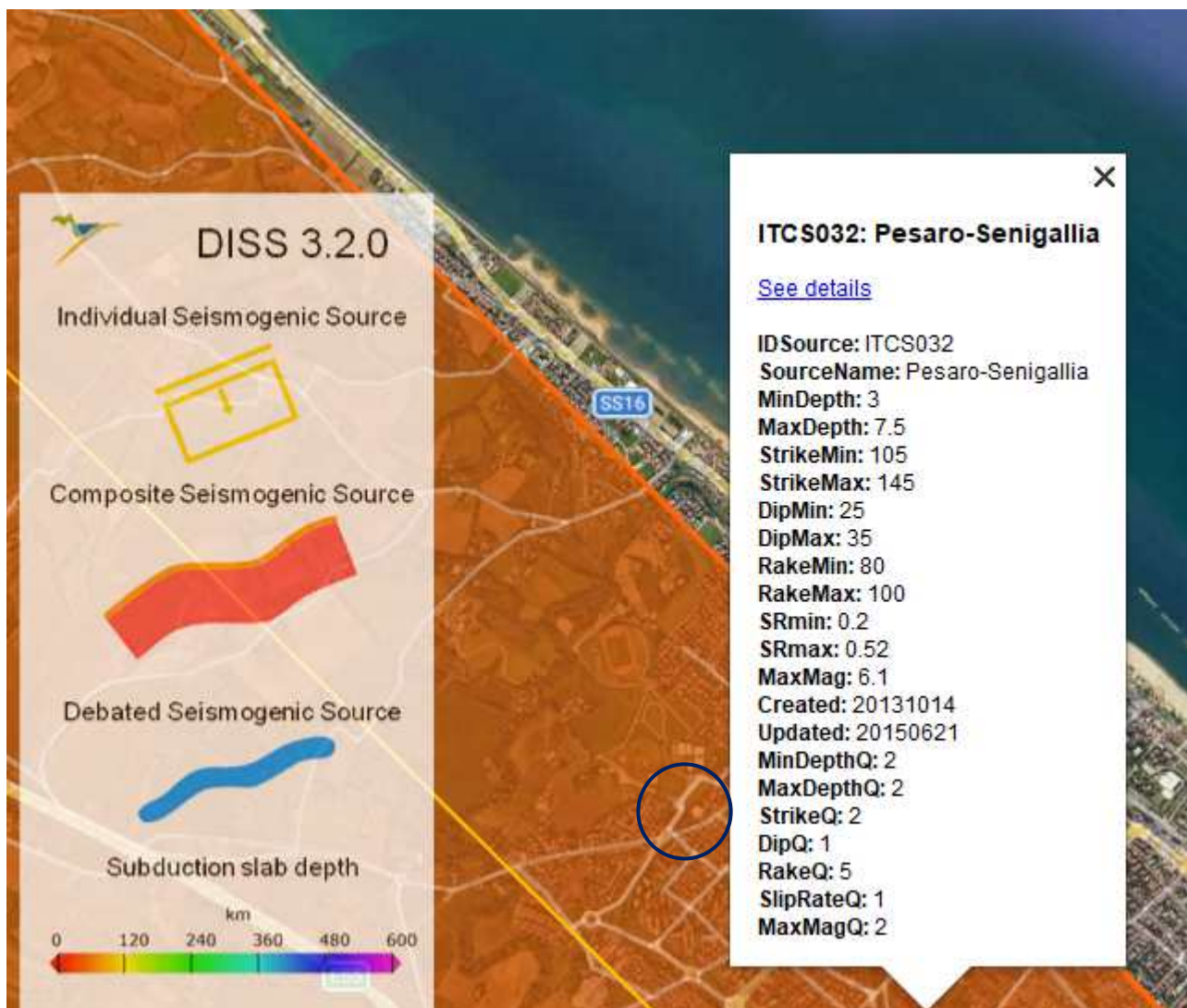


Pericolosità sismica in termini di accelerazioni massime al suolo (rif. O.P.C.M. 28/04/06 n° 3519 all.1b).

Con l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b, la quale ha definito la pericolosità sismica del territorio nazionale, di cui alla sottostante mappa che rappresenta la pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita ai suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s), al territorio comunale è attribuita un'accelerazione (a_g) orizzontale massima convenzionale sul suolo di tipo A, compresa tra 0,175 e 0,200 g.



L'area ricade sulla struttura sismogenetica identificata con codice ITCS032 (Pesaro Senigallia).



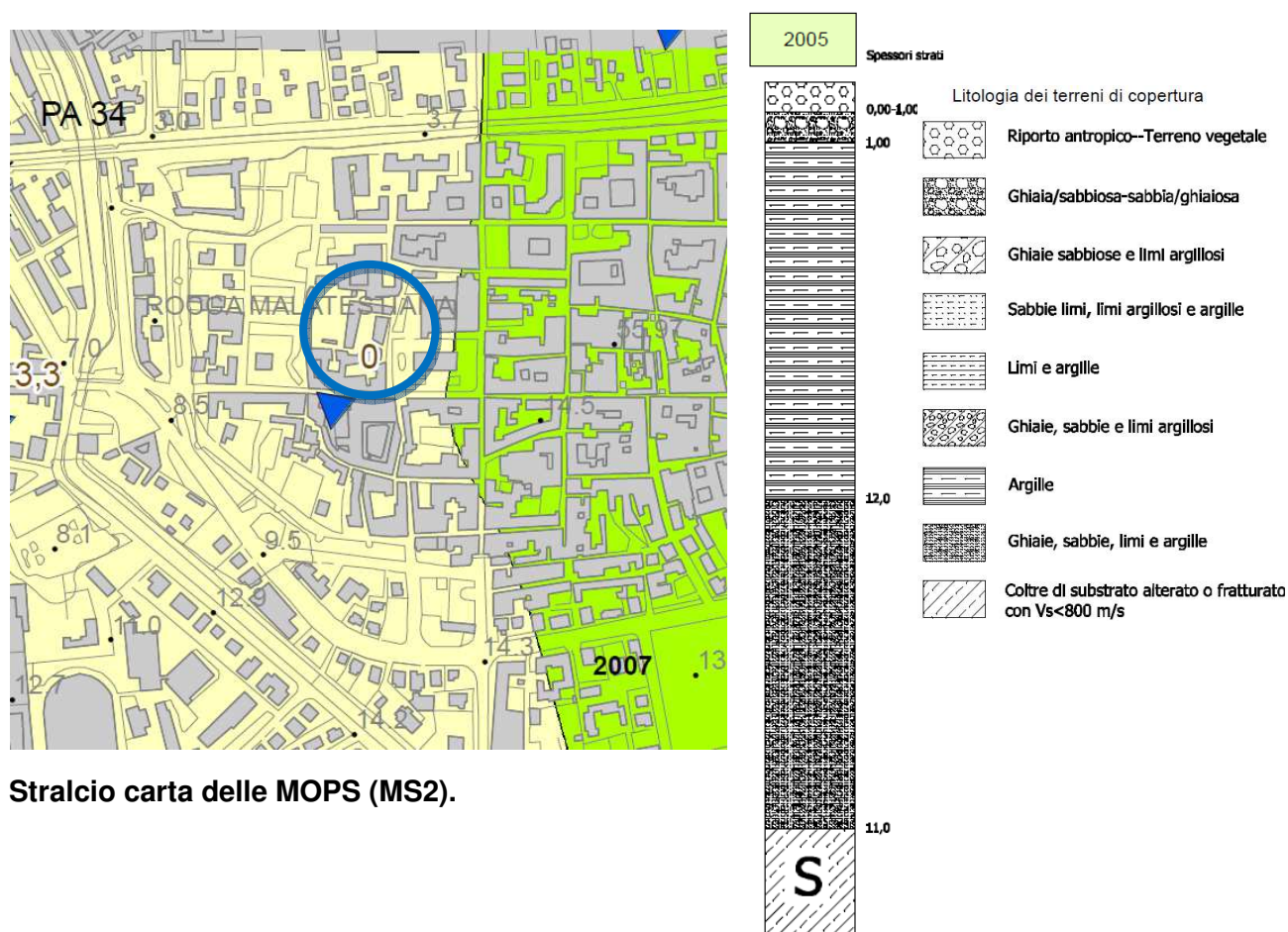
Zona d'indagine

6. ACQUISIZIONE DATI LITO-STRATIGRAFICI E GEOTECNICI

La definizione del modello lito-stratigrafico e geotecnico è basata su dati bibliografici, quali lo studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di Fano e indagini geognostiche precedenti eseguite nell'ex filanda Bosio, integrati con prove in sito, in particolare prove penetrometriche statiche e dinamiche.

6.1 Dati bibliografici

In base alla microzonazione sismica l'area insiste nella microzona (MOPS) 2005, composta da limi e argille in superficie e sabbie e ghiaie più in profondità.



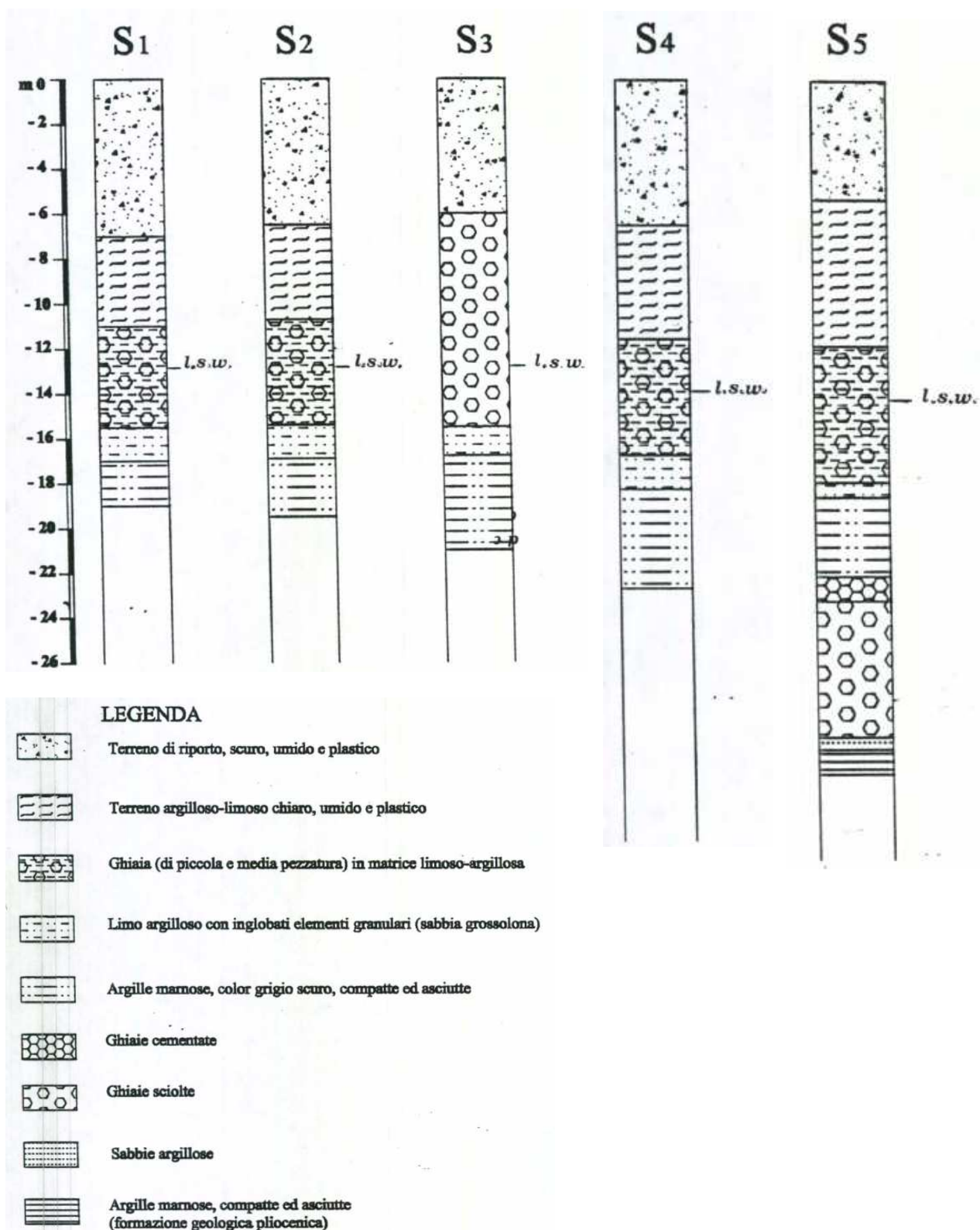
Stralcio carta delle MOPS (MS2).

In base alla stratigrafia media assegnata alla MOPS 2005 i depositi continentali hanno uno spessore di circa 25 metri e si appoggiano ad un substrato pliocenico alterato e fratturato.

Dati puntuali sulla stratigrafia locale sono presenti nella Indagine geologico-tecnica a corredo del "Progetto di ristrutturazione edilizia dell'ex area industriale I.CO.MA.S." della ditta Filanda s.r.l. a firma del dott.geol. Longhini Vittorio (maggio 2000), dove sono incluse le stratigrafie di sondaggi eseguiti internamente ai locali dell'ex filanda Bosio.

Tali stratigrafie sono qui riportate (per l'ubicazione vedere la planimetria allegata):

DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI	Pagina 12
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969 Giugno 2026



Rispetto alla stratigrafia media della MOPS 2005 i sondaggi indicano per la copertura antropica uno spessore sensibilmente superiore (6 – 7 metri), seguita da depositi alluvionali dominati da strati di argille limose e limi argillosi, con sabbie e ghiaie .

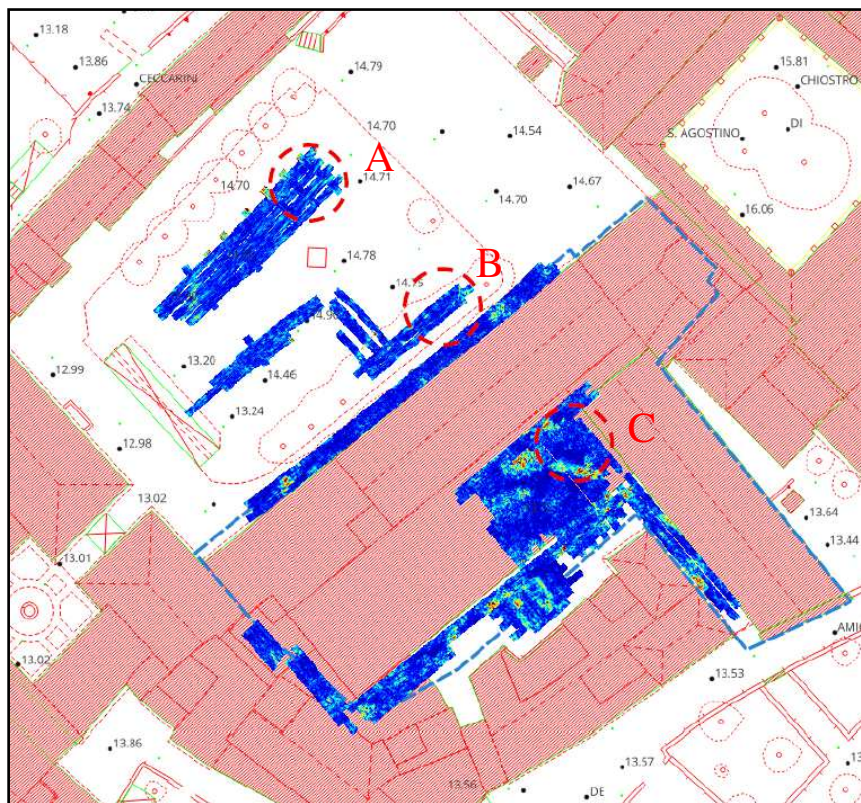
6.2 Indagini geognostiche integrative

In riferimento al Piano di Indagine trasmesso in data 4 febbraio 2026 e aggiornato con integrazione del 9 febbraio 2026, nonché alla relativa autorizzazione all'esecuzione delle indagini trasmessa dalla Soprintendenza competente del 12 febbraio 2026, il posizionamento definitivo delle prove penetrometriche è stato individuato sulla base degli esiti delle indagini geofisiche preliminari (georadar e indagine magnetometrica).

Queste prospezioni hanno permesso, oltre il riconoscimento preventivo dei possibili ordigni bellici sepolti, l'individuazione di quegli elementi antropici sepolti, quali sottoservizi, strutture murarie ed elementi metallici di dimensioni centimetriche o superiori, la cui presenza poteva impedire l'esecuzione delle prospezioni geognostiche (prove penetrometriche CPT). L'esito di queste prospezioni geofisiche è così sintetizzabile (per maggiori dettagli si rimanda al report allegato):

- La zona è caratterizzata da una diffusa presenza di terreni di riporto antropico eterogeneo, inglobanti una notevole quantità di frammenti antropici e non di dimensioni centimetriche e decimetriche, dispersi in una matrice terrosa. All'interno di questo strato si riconoscono elementi lineari associabili a sottoservizi a profondità mediamente comprese tra 0,1 e 1,3 metri;
- di questi i più significativi sono presenti esternamente all'edificio 2 (area Montanari) con orientazioni Nord Est – Sud Ovest e in misura minore con orientazione ortogonale alla precedente, mentre tra gli edifici 1 e 2 la direzione prevalente è Nord Est – Sud Ovest. Qui è presente una probabile vasca e/o cavità in prossimità dell'edificio 2 (è possibile che si tratti di una fossa settica o simile).
- le interferenze metalliche rilevate non sono di interesse per la verifica bellica; si tratta in particolare di coperchi metallici e griglie dei sottoservizi, essenzialmente di fognatura, tubature, reti metalliche elettrosaldate e cisterne che contenevano combustibile da riscaldamento.

Alla luce di quanto sopra sono state individuate tre aree prive di elementi interferenti, sulle quali effettuare le prospezioni geognostiche.



Planimetria area d'indagine



Prospezioni geofisiche

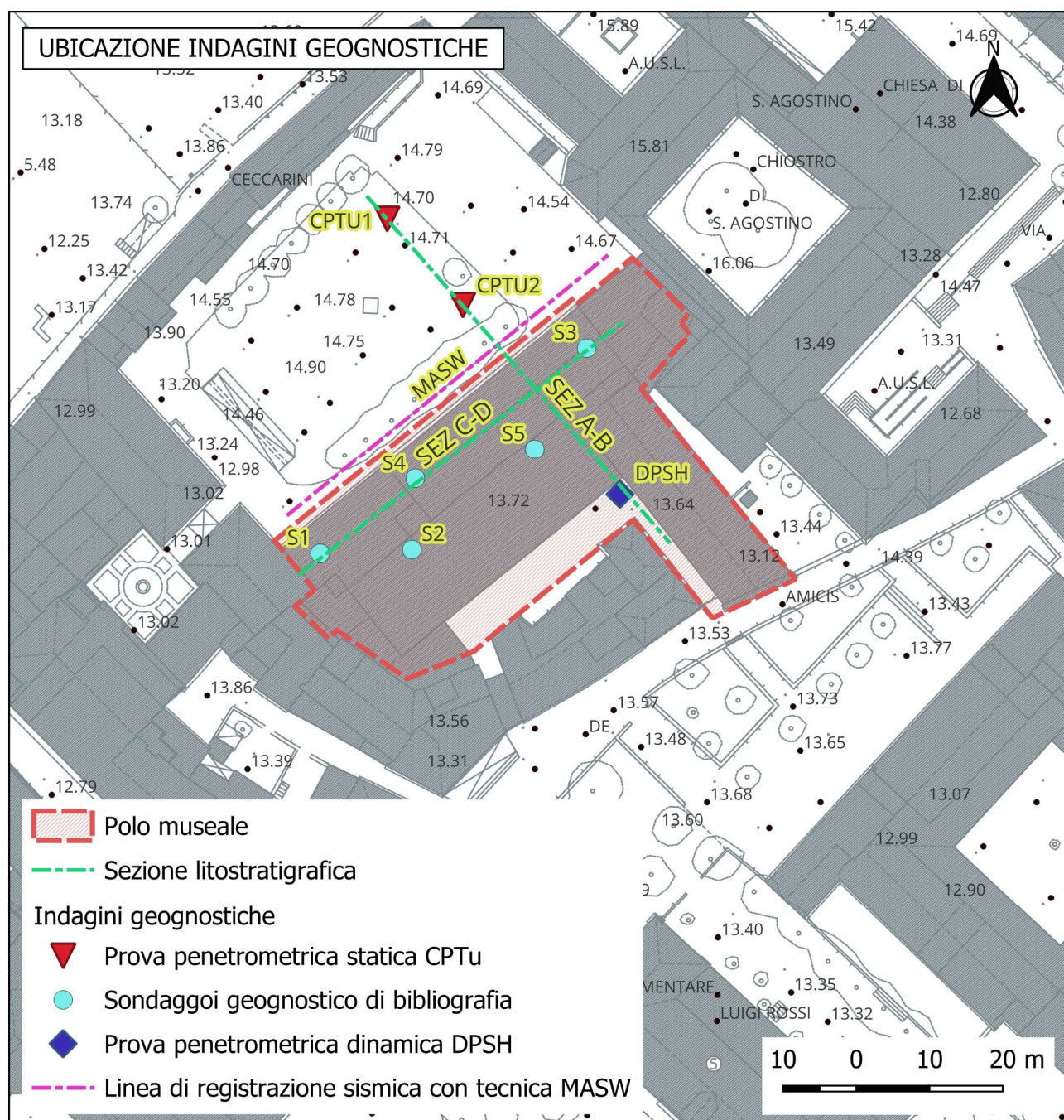


Aree idonee

DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI		Pagina 14
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità		Rif: 1969 Giugno 2026

Mentre sulle aree idonee **A** e **B** (proprietà Montanari) la presenza del prato per l'ancoraggio del penetrometro consentiva l'esecuzione delle prove statiche CPTu, sull'area **C** lo strato ghiaioso grossolano rinvenuto sotto la pavimentazione non permetteva l'ancoraggio e si è quindi deciso di effettuare una prova dinamica di tipo DPSH.

Per l'esecuzione delle indagini geofisiche e geotecniche è stata incaricata la ditta sub affidataria GECO S.r.l. di Falconara Marittima (AN). Le attività di campo sono state eseguite a partire dal 23 febbraio 2026 con le indagini geofisiche e terminate in data 25 marzo con l'esecuzione delle prospezioni penetrometriche.



6.2.1 Prove penetrometriche statiche CPTu

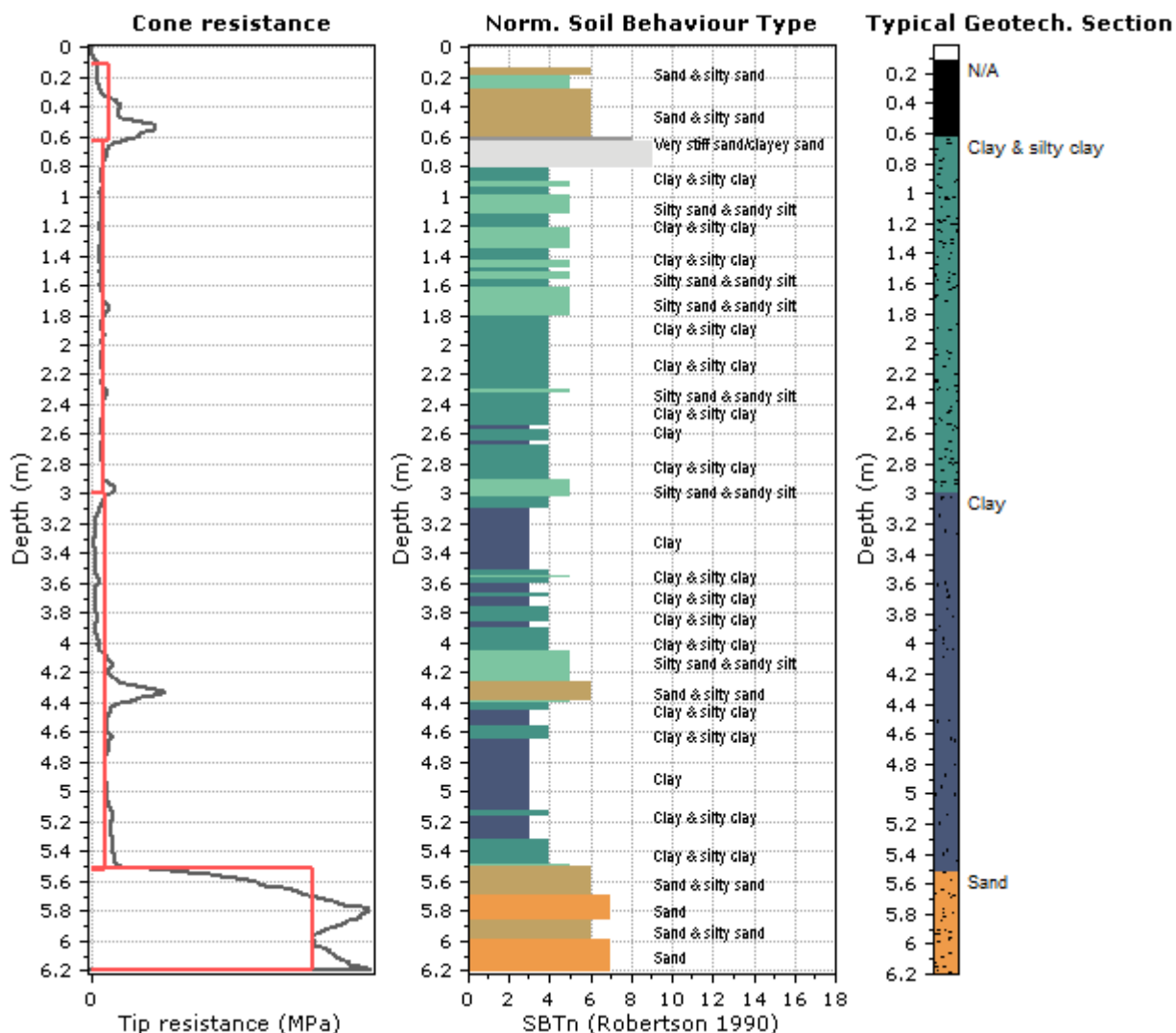
Questo tipo di prova consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità.

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste alla cui estremità è collegata la punta. Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta RP) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale.

Di seguito si riporta l'interpretazione litostratigrafica, mentre per i dettagli sui dati sperimentali e sui risultati interpretativi, si rimanda agli allegati rapporti di prova.

CPTu 1

Stratigrafia



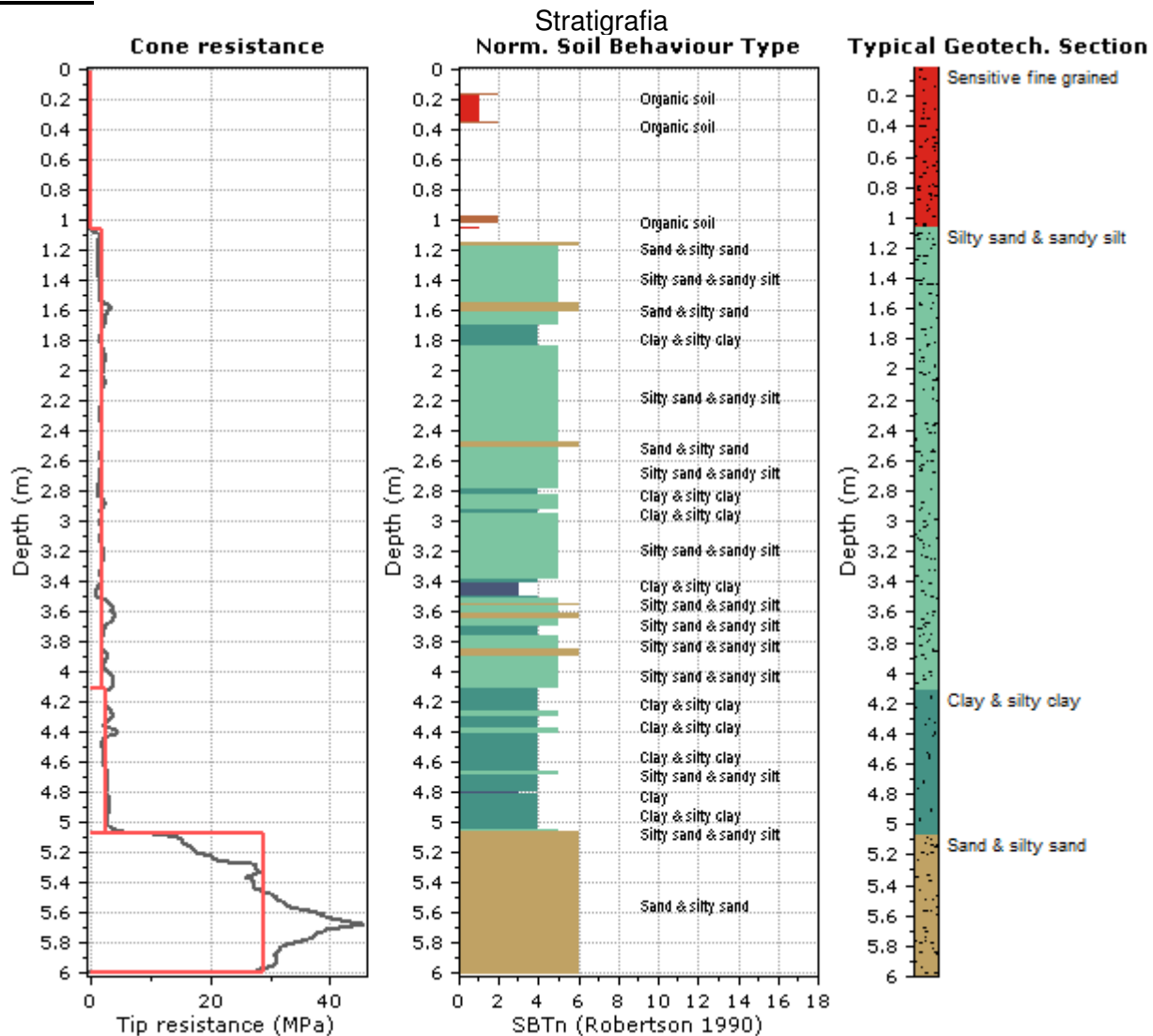
Parametri geotecnici

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.11 0.63	0.52	1.59E-05 (±2.55E-05)	6.5 (±6.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	19.0 (±23.2)	21.4 (±26.1)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	17.3 (±1.9)
0.63 3.00	2.37	1.21E-07 (±3.07E-07)	6.2 (±1.2)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	34.3 (±1.2)	12.4 (±3.1)	35.4 (±8.1)	103.1 (±17.4)	2.1 (±1.7)	14.1 (±11.5)	17.9 (±0.6)
3.00 5.53	2.53	4.26E-06 (±2.38E-05)	8.0 (±4.8)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	14.2 (±12.3)	49.5 (±29.0)	106.2 (±63.3)	1.0 (±0.5)	6.3 (±3.4)	17.4 (±1.7)
5.52 6.20	0.68	9.47E-04 (±9.86E-04)	54.7 (±8.2)	119.1 (±15.4)	93.5 (±8.6)	33.6 (±1.5)	149.3 (±19.3)	159.7 (±23.4)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	0.0 (±0.0)	20.0 (±0.4)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

CPTu 2





Parametri geotecnici
Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.01	1.05	1.39E-09	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	0.3	16.0
1.06		(±1.13E-08)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.1)	(±0.4)	(±4.0)	(±0.1)	(±0.6)	(±2.6)
1.06	3.05	1.10E-06	5.7	22.8	32.3	23.1	13.9	24.0	0.0	0.0	0.0	16.4
4.11		(±1.68E-06)	(±1.7)	(±5.4)	(±3.6)	(±1.6)	(±4.6)	(±8.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)
4.11	0.97	8.17E-08	10.4	0.0	0.0	0.0	19.7	63.0	172.9	1.5	10.1	18.4
5.08		(±2.28E-08)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.2)	(±11.4)	(±23.8)	(±0.2)	(±1.3)	(±0.4)
5.07	0.93	1.70E-04	58.4	147.9	90.4	33.3	183.0	205.3	0.0	0.0	0.0	20.7
6.00		(±1.54E-04)	(±11.1)	(±19.9)	(±9.2)	(±1.5)	(±28.3)	(±30.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

6.2.2 Prova penetrometrica dinamica DPSH

La prova penetrometrica dinamica DPSH consiste nell'infissione, mediante un maglio battente, di una punta conica (per tratti consecutivi **d**), misurando il numero di colpi **N** necessari all'avanzamento del tratto **d** della punta. I dati sperimentali sono convertiti in valori equivalenti del numero di colpi **N_{spt}** mediante la seguente formula:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui **Q** è l'energia specifica per colpo e **Q_{spt}** è quella riferita alla prova **SPT**.
L'energia specifica per colpo è calcolata come segue formula:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M** = peso massa battente;
- M'** = peso aste;
- H** = altezza di caduta;
- A** = area base punta conica;
- d** = passo di avanzamento.

Altro dato importante che si ottiene è la resistenza dinamica alla punta **R_{pd}**, calcolata mediante la formula degli Olandesi:

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

- R_{pd}** = resistenza dinamica punta (area A);
- e** = infissione media per colpo (**d**/ **N**);
- M** = *peso massa battente* (altezza caduta **H**);
- P** = *peso totale aste e sistema battuta*.

I risultati della prova sono sintetizzati nella seguente tabella:

SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI													
Strato			Nspt	Cu	Ey	Mo	Classificazione	Puv	PuvS	Dr	Φ1	Φ2	Φ3
Nr.	Prof.	Tipo	-	Kg/cm²	Kg/cm²	Kg/cm²		t/m³	t/m³	%	(°)	(°)	(°)
1	1.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4.60	I-C	4.5	0.6	45.1	20.7	RIPORTO	1.7	1.9	19.2	21.3	22.9	28.4
3	9.60	I	29.6	-	295.6	135.6	CONSISTENTE	2.2	2.3	59.9	28.4	35.4	35.9
4	11.80	I-C	9.9	1.2	99.0	45.4	MOLTO CONSISTENTE	2.0	2.1	32.7	22.8	27.1	30.0
5	14.80	I	31.6	-	316.0	145.0	ESTREM. CONSISTENTE	2.2	2.4	64.4	29.0	36.6	36.5

7. MODELLO LITO-STRATIGRAFICO E GEOTECNICO

L'insieme dei dati bibliografici e quelli ottenuti dalle prove penetrometriche delineano un quadro litostratigrafico caratterizzato da uno strato superficiale di origine antropica di deposizione antica e recente, costituito da limi sabbiosi e sabbie limose con abbondanti frammenti lapidei e resti di laterizi, dello spessore mediamente compreso tra 5 e 7 metri; seguono i depositi continentali limoso-sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi, con intercalati strati o lenti discontinue di ghiaia sabbiosa, fino a profondità di 25 – 30 metri.

Al disotto è presente il substrato geologico rappresentato dalle argille azzurre plio-pleistoceniche. Al terreno di fondazione si può applicare il seguente modello litostratigrafico e geotecnico medio:

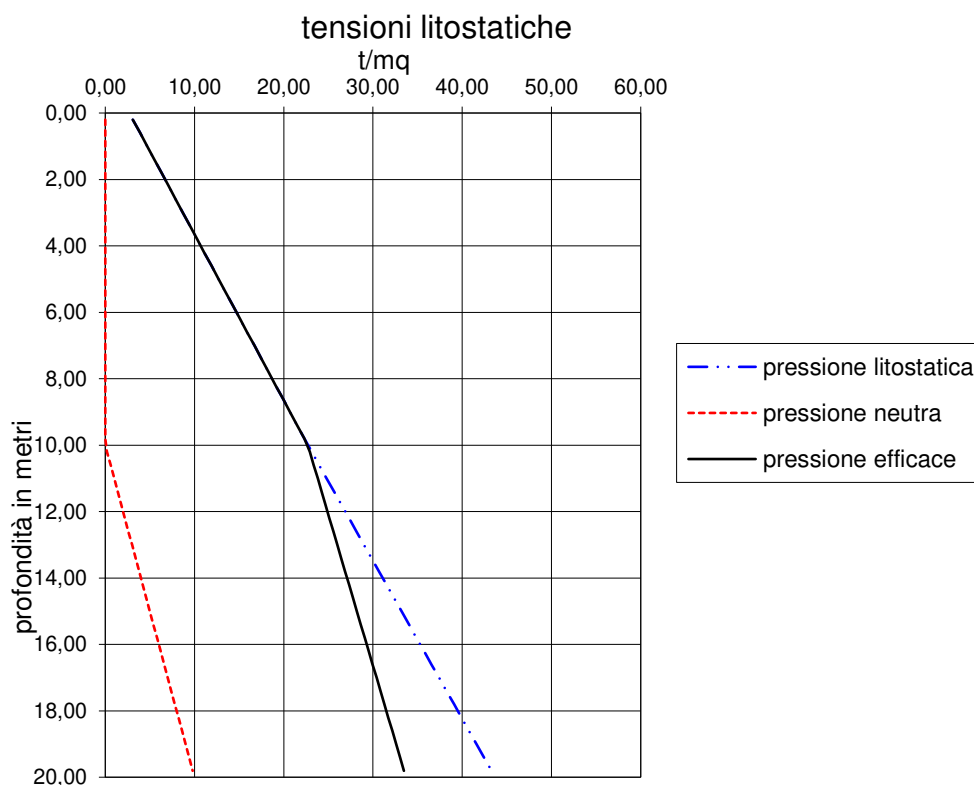
Modello litostratigrafico-geotecnico

Litologia	Intervallo stratigrafico (m)	γ (KN/m ³)	C_u (kPa)	ϕ (°)
Riporto antropico eterogeneo	da p.c. a $\approx$ 5/7	17	-	22
Alternanza di limi argilloso-sabbiosi, sabbie limose e ghiaie, distribuiti in strati e livelli discontinui di spessore variabile, con passaggi laterali eteropici tra le varie litologie.	da $\approx$ 6/7 a $\approx$ 16	19,6	150	33-38

Con: γ = peso di volume

C_u = coesione non drenata

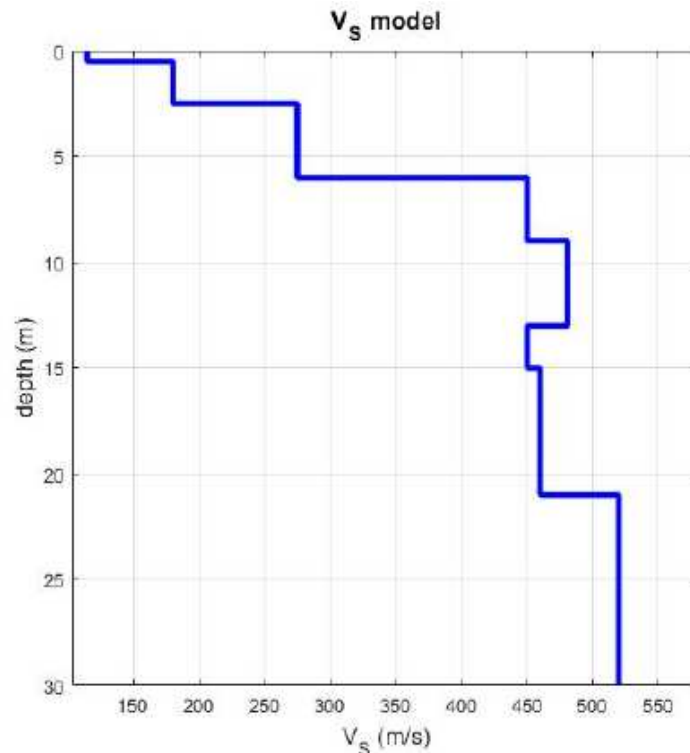
ϕ = angolo di resistenza al taglio



8. MODELLAZIONE SISMICA

8.1 Velocità delle onde S

Il profilo di velocità delle onde S nei primi 30 m di profondità, è stato stimato mediante una registrazione geofisica con tecnica **MASW** (per maggiori dettagli sulla prova sismica, consultare l'allegato rapporto), ottenendo i seguenti valori:



Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)
1	115	0.5	0.5
2	180	2.0	2.5
3	275	3.5	6.0
4	450	3.0	9.0
5	481	4.0	13.0
6	450	2.0	15.0
7	460	6.0	21.0
8	520	9.0	30.0

Stima dei valori Vs nei primi 30 metri di profondità

8.2 Categoria di sottosuolo

Applicando la formula indicata dalla norma e ipotizzando una profondità di imposta della fondazione di un metro, si ottiene la seguente velocità media equivalente:

DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI	Pagina 20
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969 Giugno 2026

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad V_{s,eq} = 409 \text{ m/sec}$$

a cui corrisponde la categoria di sottosuolo **B**.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	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.
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.
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.
D	Depositi 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.
E	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.

8.3 Categoria topografica

Il polo museale insiste su area pianeggiante, pertanto la categoria topografica risulta essere **T1**:

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 $i > 30^\circ$

8.4 Parametri sismici NTC 2018

Strategia progettuale: Classe d'uso II Vita nominale 50 anni

Latitudine (WGS84) : 43°.8456 Longitudine (WGS84) : 13°.0155

Latitudine (ED50) : 43°.8465 Longitudine (ED50) : 13°.0164

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
Tempo di ritorno [anni]	475	975	50	30
Accelerazione sismica [g]	0.181	0.235	0.06	0.046
Coefficiente Fo	2.468	2.508	2.582	2.433
Periodo Tc*[sec]	0.296	0.309	0.276	0.275

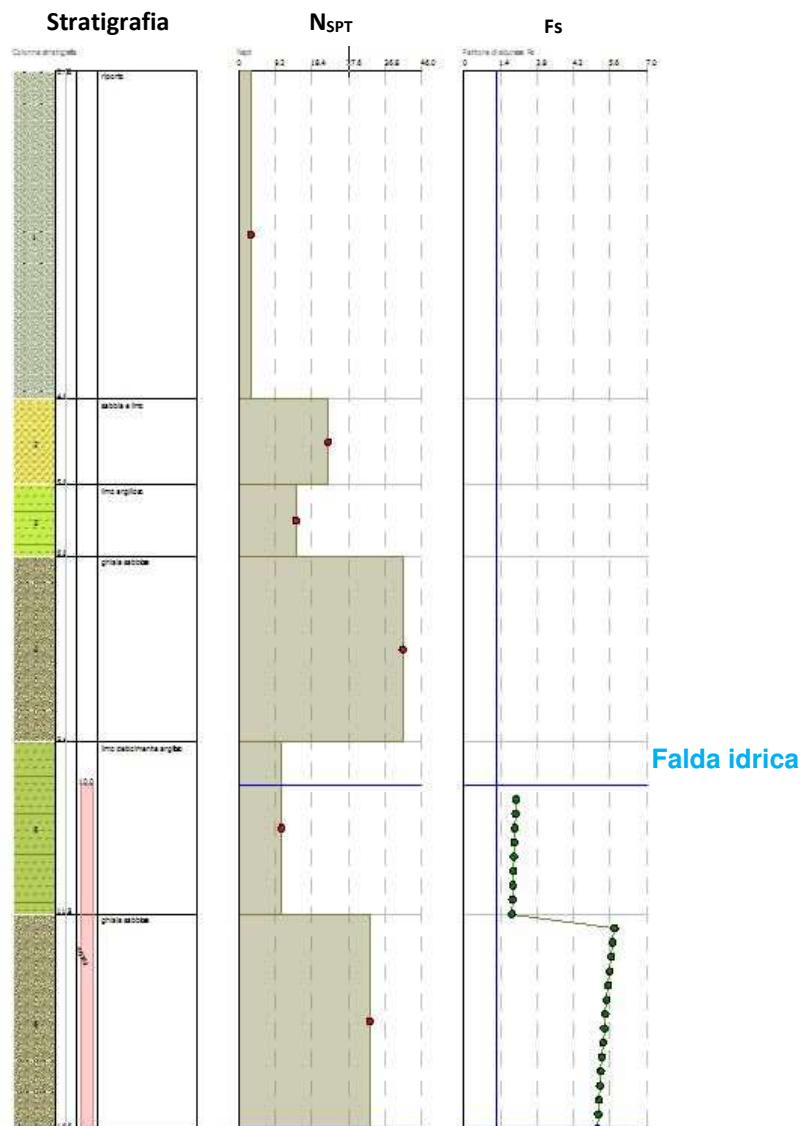
DITTA: MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI	Pagina 21
OGGETTO: Polo museale di Vitruvio e della romanità	Rif: 1969 Giugno 2026

8.5 Liquefazione del terreno

La verifica alla liquefazione del terreno in caso di evento sismico severo è stata effettuata sulla base dei risultati della prova DPSH convertiti in N_{SPT} equivalenti, mediante il metodo EC8, come di seguito schematizzato (per i dettagli consultare l'allegata relazione di calcolo):

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (N_{spt})
1	riporto	0	4.6	13.6	18.28	3.16
2	sabbia e limo	4.6	5.8	15.92	19.71	22.56
3	limo argilloso	5.8	6.8	15.03	19.16	14.5
4	ghiaia sabbiosa	6.8	9.4	17.58	20.74	41.27
5	limo debolmente argilloso	9.4	11.8	14.59	18.89	10.82
6	ghiaia sabbiosa	11.8	14.8	16.92	20.33	33

I risultati indicano una non liquefacibilità degli strati ($F_s > 1,3$):



9. INDICAZIONI PROGETTUALI

In relazione a quanto sopra esposto, ai fini progettuali si evidenzia quanto segue:

- a. *Considerato il contesto storico, la natura e composizione dei terreni, si consiglia l'adozione di fondazioni profonde.*
- b. *La presenza iniziale di uno strato di terreno di riporto antropico di bassa consistenza, il cui spessore è compreso tra i 5 metri indicati dalle prove penetrometriche e i 7 metri delle stratigrafie dei sondaggi, determina la probabile insorgenza di attrito negativo sul fusto dei pali/micropali di fondazione, la cui entità è stimata, per diametri di 25, 40 e 60 centimetri, un angolo di resistenza al taglio di 22°, un peso unitario di volume del terreno di 17 kN/m³ e una lunghezza massima del tratto interessato di 7 metri, come segue:*

Micropalo diametro 25 cm:

Area laterale 5,5 m²

Tensione verticale media efficace $\sigma' = \gamma \times (L/2) = 59,5 \text{ kN/m}^2$

Coefficiente di attrito negativo ($k_o \times \tan \phi'$) $\beta = 0,25$

Attrito negativo $F = A_s \times \sigma' \times \beta = \mathbf{82,6 \text{ kN}}$

Palo diametro 40 cm:

Area laterale 8,8 m²

Tensione verticale media efficace $\sigma' = \gamma \times (L/2) = 59,5 \text{ kN/m}^2$

Coefficiente di attrito negativo ($k_o \times \tan \phi'$) $\beta = 0,25$

Attrito negativo $F = A_s \times \sigma' \times \beta = \mathbf{132,2 \text{ kN}}$

Palo diametro 60 cm:

Area laterale 13,2 m²

Tensione verticale media efficace $\sigma' = \gamma \times (L/2) = 59,5 \text{ kN/m}^2$

Coefficiente di attrito negativo ($k_o \times \tan \phi'$) $\beta = 0,25$

Attrito negativo $F = A_s \times \sigma' \times \beta = \mathbf{198,3 \text{ kN}}$

- c. *I dati geognostici indicano una discontinuità marcata degli strati sabbioso-ghiaiosi (vedere sezioni litostratigrafiche) come anche degli strati limoso-argillosi nel tratto compreso tra lo strato antropico e il tetto dello strato sabbioso-ghiaioso. Si consiglia quindi di effettuare, in fase di progetto esecutivo, sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza delle fondazioni della nuova struttura museale, al fine di integrare e affinare il modello litostratigrafico e geotecnico.*
- d. *La soggiacenza della falda può variare anche di alcuni metri in funzione delle dinamiche stagionali e/o dei prelievi da pozzi situati nelle vicinanze; pertanto, il suo livello dovrà essere verificato sia in fase di indagine geognostica integrativa sia subito prima della realizzazione delle fondazioni profonde.*

COROGRAFIA

Stralcio CTR in scala 1:10000 - Regione Marche



 Polo museale

200 0 200 400 m

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE



Polo museale



Sezione litostratigrafica

Indagini geognostiche



Prova penetrometrica statica CPTu



Sondaggio geognostico di bibliografia



Prova penetrometrica dinamica DPSH



Linea di registrazione sismica con tecnica MASW



Analisi Sistemi Integrati Terra Acqua Ambiente
Dott. Geol. Alberto Antinori

Studio di Geologia Applicata e Ambientale

Via Mamiani 2 - 61030 Cartoceto (PU)

0721 898273

analisi sistemi@gmail.com

CPT: CPTu2

Total depth: 6.00 m, Date: 01/04/2026

Surface Elevation: 0.00 m, Est. GWL: 10.00 m

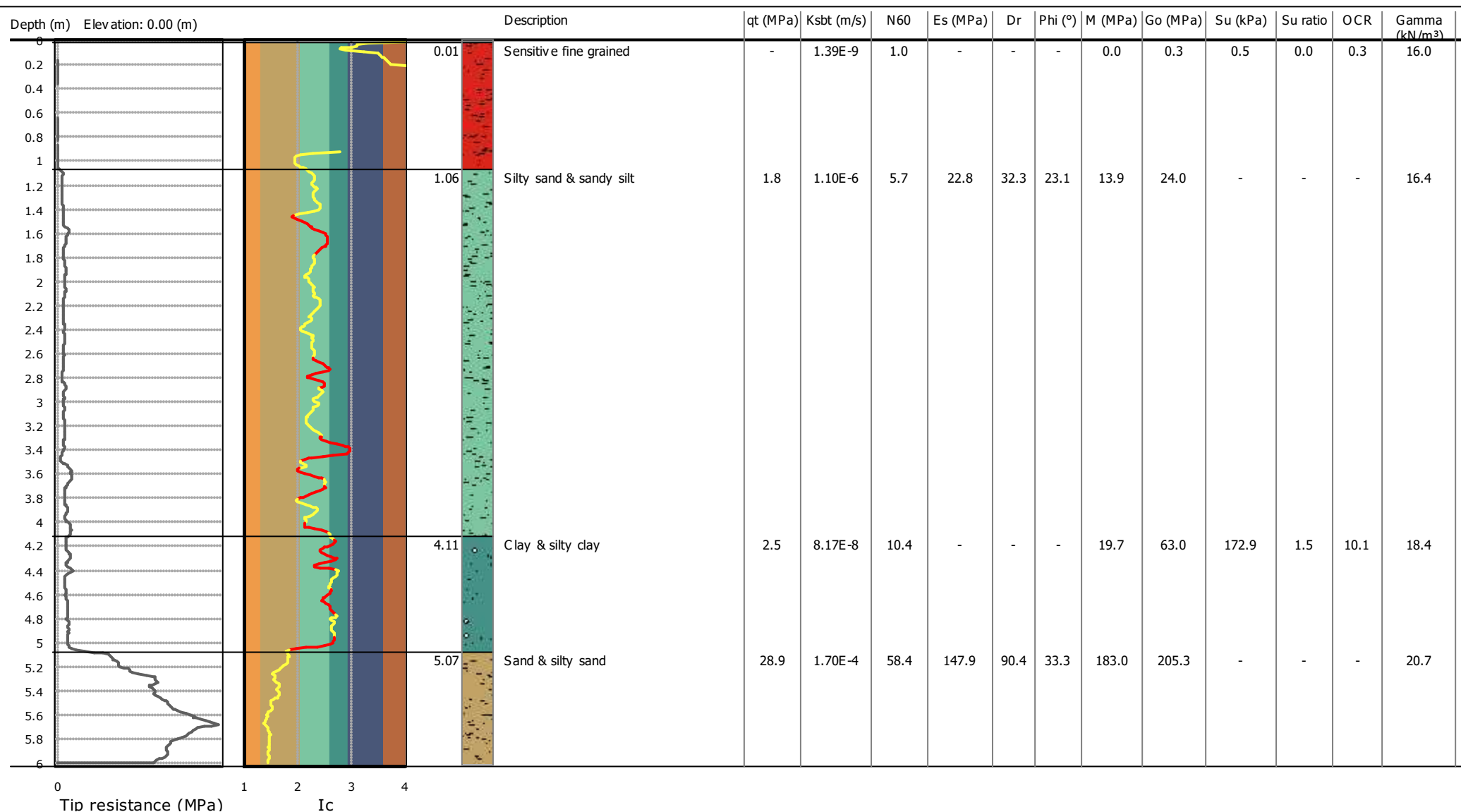
Coords: X:0.00, Y:0.00

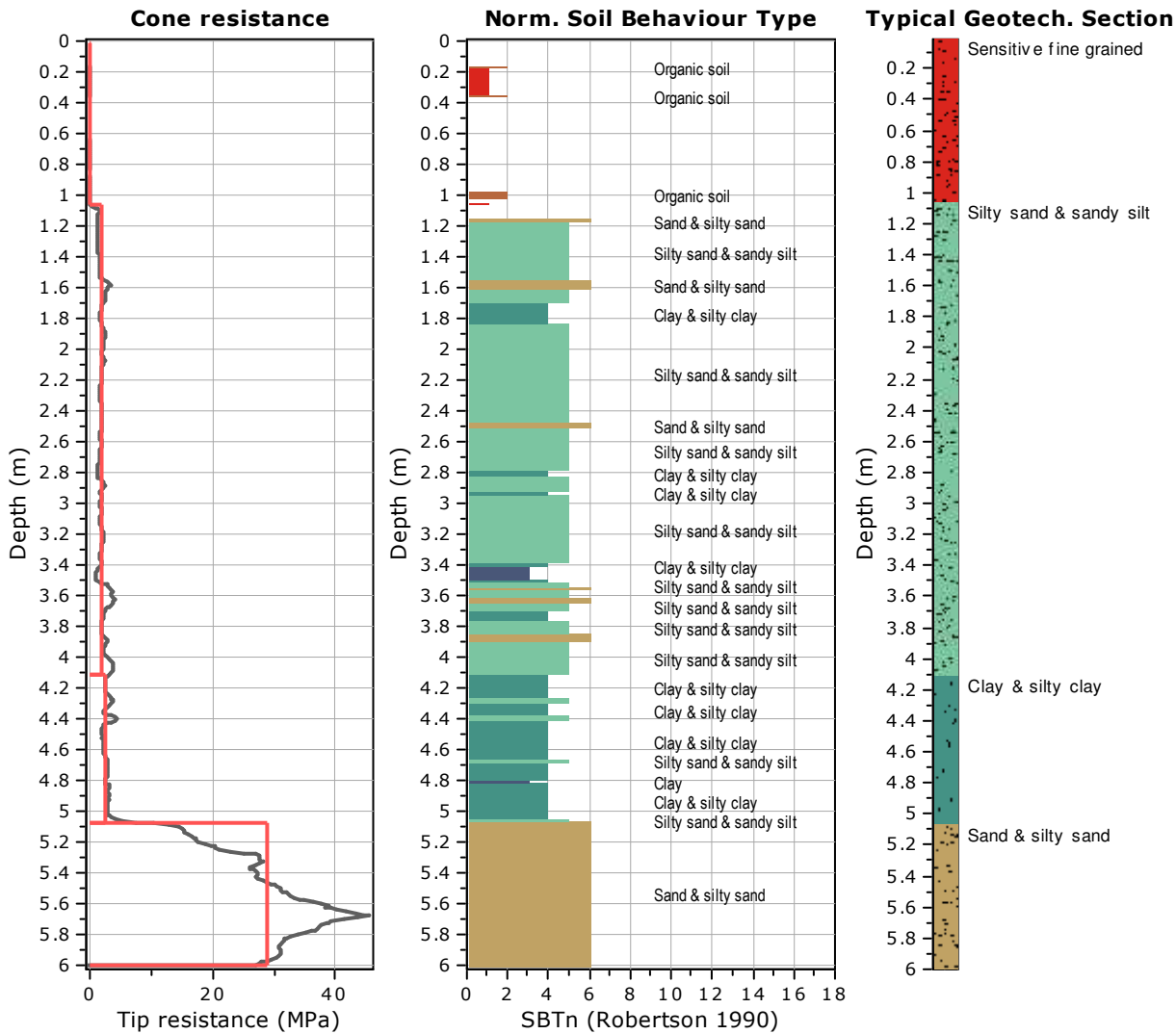
Project: POLO MUSEALE DI VITRUVIO E DELLA ROMANITA'

Location: FANO

Cone Type:

Cone Operator:





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.01 (m), **End depth:** 1.06 (m)

Description: Sensitive fine grained

Basic results

Total cone resistance: 0.00 ± 0.02 MPa

Sleeve friction: 0.05 ± 0.05 kPa

Ic: 0.00 ± 1.77

σ_v' : 6.85 ± 5.38 kPa

SBT_n: 1

SBT_n description: Sensitive fine grained

Schneider zone: N/A

Schneider desc.: N/A

Estimation results

Permeability: $1.39\text{E-}09 \pm 1.13\text{E-}08$ m/s

N₆₀: 1.00 ± 1.00 blows

Es: 0.00 ± 0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ± 0.00

φ (degrees): 0.00 ± 0.00 °

Unit weight: 16.02 ± 2.62 kN/m³

Constrained Mod.: 0.04 ± 0.11 MPa

Go: 0.28 ± 0.45 MPa

Su: 0.53 ± 4.02 kPa

Su ratio: 0.04 ± 0.09

O.C.R.: 0.27 ± 0.61

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 1.06 (m), **End depth:** 4.11 (m)**Description:** Silty sand & sandy silt**Basic results**

Total cone resistance: 1.78 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 14.26 ±11.52 kPa

Ic: 2.26 ±0.13

 σ_v' : 36.82 ±14.81 kPaSBT_n: 5

SBTn description: Silty sand & sandy silt

Schneider zone: Zone 2

Schneider desc.: Essentially drained sands

Estimation results

Permeability: 1.10E-06 ±1.68E-06 m/s

N₆₀: 5.71 ±1.73 blows

Es: 22.76 ±5.41 MPa

Dr (%): 32.28 ±3.60

 ϕ (degrees): 23.07 ±1.56 °Unit weight: 16.38 ±0.88 kN/m³

Constrained Mod.: 13.90 ±4.64 MPa

Go: 24.01 ±8.01 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer 2bis **Start depth:** 4.11 (m), **End depth:** 5.08 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 2.54 ±0.40 MPa

Sleeve friction: 86.84 ±25.65 kPa

Ic: 2.65 ±0.04

 σ_v' : 77.94 ±4.84 kPaSBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Schneider zone: Zone 3

Schneider desc.: Transitional soils

Estimation results

Permeability: 8.17E-08 ±2.28E-08 m/s

N₆₀: 10.39 ±1.62 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

 ϕ (degrees): 0.00 ±0.00 °Unit weight: 18.43 ±0.42 kN/m³

Constrained Mod.: 19.74 ±3.16 MPa

Go: 63.01 ±11.40 MPa

Su: 172.93 ±23.83 kPa

Su ratio: 1.54 ±0.20

O.C.R.: 10.14 ±1.32

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 5.07 (m), **End depth:** 6.00 (m)**Description:** Sand & silty sand**Basic results**

Total cone resistance: 28.93 ±7.44 MPa

Sleeve friction: 265.55 ±53.39 kPa

Ic: 1.55 ±0.12

 σ_v' : 95.26 ±5.38 kPaSBT_n: 6

SBTn description: Sand & silty sand

Schneider zone: Zone 2

Schneider desc.: Essentially drained sands

Estimation results

Permeability: 1.70E-04 ±1.54E-04 m/s

N₆₀: 58.38 ±11.10 blows

Es: 147.91 ±19.95 MPa

Dr (%): 90.38 ±9.22

 ϕ (degrees): 33.31 ±1.47 °Unit weight: 20.70 ±0.31 kN/m³

Constrained Mod.: 183.03 ±28.29 MPa

Go: 205.32 ±30.64 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00



Project: POLO MUSEALE DI VITRUVIO E DELLA ROMANITA'

Location: FANO

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.01	1.05	1.39E-09	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.0	0.3	16.0
1.06		(±1.13E-08)	(±1.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.1)	(±0.4)	(±4.0)	(±0.1)	(±0.6)	(±2.6)
1.06	3.05	1.10E-06	5.7	22.8	32.3	23.1	13.9	24.0	0.0	0.0	0.0	16.4
4.11		(±1.68E-06)	(±1.7)	(±5.4)	(±3.6)	(±1.6)	(±4.6)	(±8.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.9)
4.11	0.97	8.17E-08	10.4	0.0	0.0	0.0	19.7	63.0	172.9	1.5	10.1	18.4
5.08		(±2.28E-08)	(±1.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.2)	(±11.4)	(±23.8)	(±0.2)	(±1.3)	(±0.4)
5.07	0.93	1.70E-04	58.4	147.9	90.4	33.3	183.0	205.3	0.0	0.0	0.0	20.7
6.00		(±1.54E-04)	(±11.1)	(±19.9)	(±9.2)	(±1.5)	(±28.3)	(±30.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

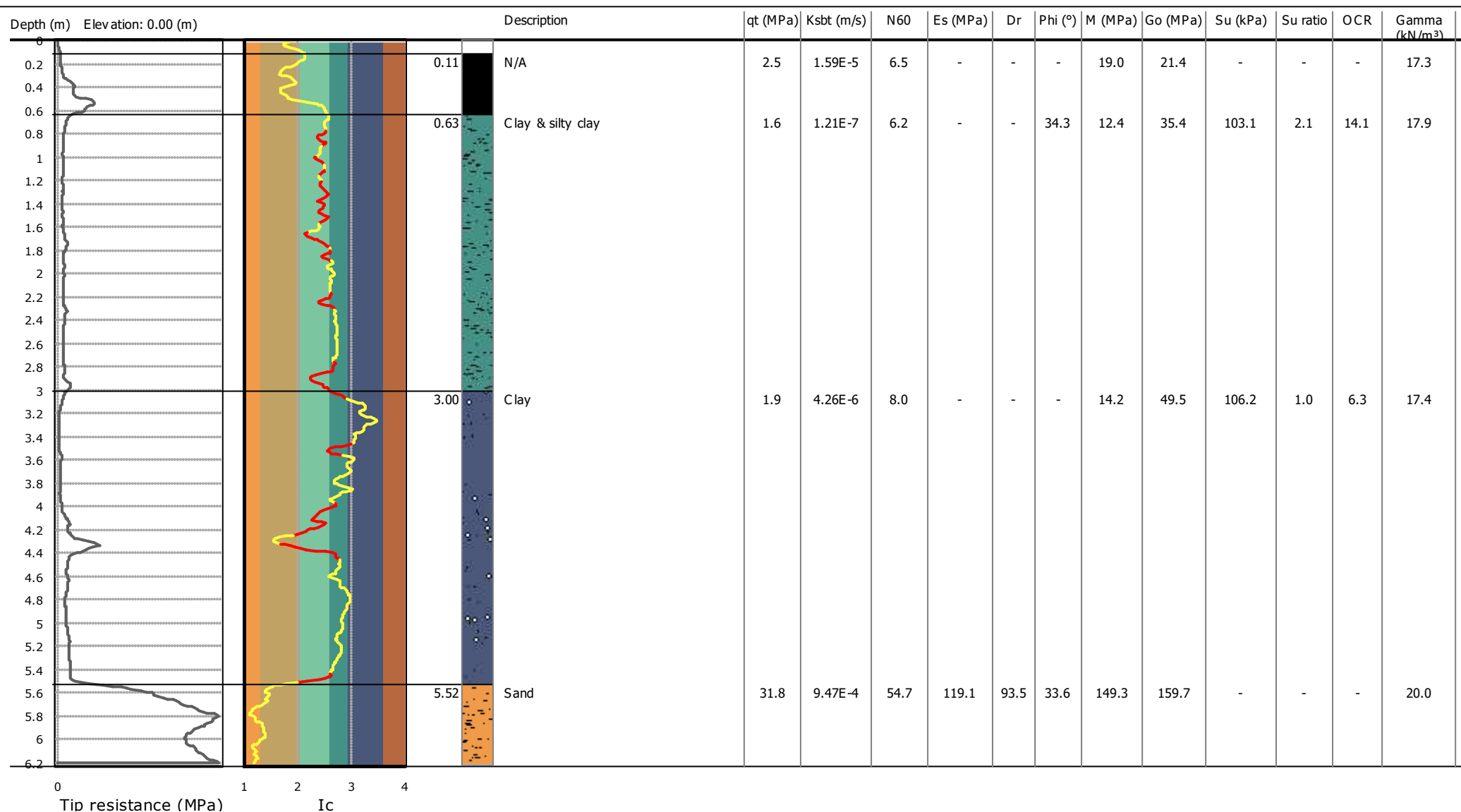


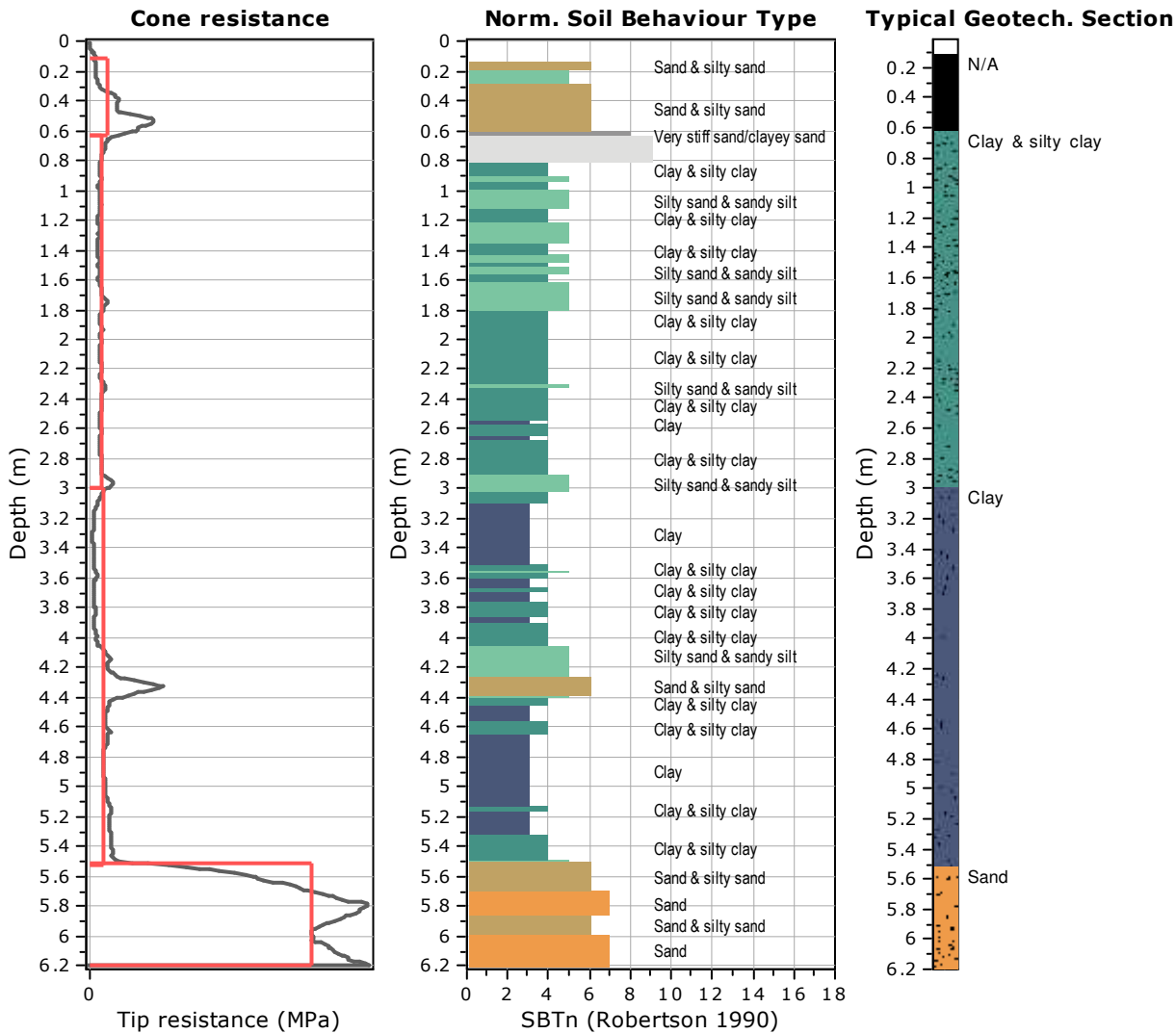
Project: POLO MUSEALE DI VITRUVIO E DELLA ROMANITA'

Location: FANO

Cone Type:

Cone Operator:





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: Layer_1 **Start depth:** 0.11 (m), **End depth:** 0.63 (m)

Description: N/A

Basic results

Total cone resistance: 2.50 ±2.93 MPa

Sleeve friction: 0.00 ±75.99 kPa

Ic: 0.00 ±1.89

σ_v' : 5.05 ±2.79 kPa

SBT_n: 0

SBT description: N/A

Schneider zone: N/A

Schneider desc.: N/A

Estimation results

Permeability: 1.59E-05 ±2.55E-05 m/s

N₆₀: 6.48 ±6.42 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

ϕ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.25 ±1.86 kN/m³

Constrained Mod.: 18.99 ±23.16 MPa

Go: 21.43 ±26.08 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 2 :::**Code:** Layer_2 **Start depth:** 0.63 (m), **End depth:** 3.00 (m)**Description:** Clay & silty clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.58 ±0.39 MPa

Sleeve friction: 61.38 ±41.80 kPa

Ic: 2.58 ±0.13

 σ_v' : 28.63 ±13.55 kPaSBT_n: 4

SBTn description: Clay & silty clay

Schneider zone: Zone 2

Schneider desc.: Essentially drained sands

Estimation results

Permeability: 1.21E-07 ±3.07E-07 m/s

N₆₀: 6.23 ±1.23 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

 ϕ (degrees): 34.34 ±1.18 °Unit weight: 17.90 ±0.60 kN/m³

Constrained Mod.: 12.39 ±3.14 MPa

Go: 35.38 ±8.10 MPa

Su: 103.06 ±17.36 kPa

Su ratio: 2.14 ±1.75

O.C.R.: 14.11 ±11.52

::: Layer No: 3 :::**Code:** Layer2bis **Start depth:** 3.00 (m), **End depth:** 5.53 (m)**Description:** Clay**Basic results**

Total cone resistance: 1.91 ±1.73 MPa

Sleeve friction: 71.58 ±55.35 kPa

Ic: 2.85 ±0.31

 σ_v' : 74.99 ±12.73 kPaSBT_n: 3

SBTn description: Clay

Schneider zone: Zone 3

Schneider desc.: Transitional soils

Estimation results

Permeability: 4.26E-06 ±2.38E-05 m/s

N₆₀: 8.01 ±4.76 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

 ϕ (degrees): 0.00 ±0.00 °Unit weight: 17.38 ±1.68 kN/m³

Constrained Mod.: 14.19 ±12.31 MPa

Go: 49.55 ±28.98 MPa

Su: 106.21 ±63.34 kPa

Su ratio: 0.95 ±0.51

O.C.R.: 6.29 ±3.40

::: Layer No: 4 :::**Code:** Layer_3 **Start depth:** 5.52 (m), **End depth:** 6.20 (m)**Description:** Sand**Basic results**

Total cone resistance: 31.77 ±6.14 MPa

Sleeve friction: 139.26 ±40.70 kPa

Ic: 1.30 ±0.12

 σ_v' : 102.78 ±3.86 kPaSBT_n: 7

SBTn description: Sand

Schneider zone: Zone 2

Schneider desc.: Essentially drained sands

Estimation results

Permeability: 9.47E-04 ±9.86E-04 m/s

N₆₀: 54.71 ±8.15 blows

Es: 119.11 ±15.40 MPa

Dr (%): 93.46 ±8.61

 ϕ (degrees): 33.57 ±1.50 °Unit weight: 20.00 ±0.38 kN/m³

Constrained Mod.: 149.28 ±19.30 MPa

Go: 159.72 ±23.37 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00



Project: POLO MUSEALE DI VITRUVIO E DELLA ROMANITA'

Location: FANO

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT _{N60} (blows/30cm)	E _s (MPa)	D _r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G ₀ (MPa)	Undrained strength, S _u (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m ³)
0.11	0.52	1.59E-05	6.5	0.0	0.0	0.0	19.0	21.4	0.0	0.0	0.0	17.3
0.63		(±2.55E-05)	(±6.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±23.2)	(±26.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.9)
0.63	2.37	1.21E-07	6.2	0.0	0.0	34.3	12.4	35.4	103.1	2.1	14.1	17.9
3.00		(±3.07E-07)	(±1.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.2)	(±3.1)	(±8.1)	(±17.4)	(±1.7)	(±11.5)	(±0.6)
3.00	2.53	4.26E-06	8.0	0.0	0.0	0.0	14.2	49.5	106.2	1.0	6.3	17.4
5.53		(±2.38E-05)	(±4.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.3)	(±29.0)	(±63.3)	(±0.5)	(±3.4)	(±1.7)
5.52	0.68	9.47E-04	54.7	119.1	93.5	33.6	149.3	159.7	0.0	0.0	0.0	20.0
6.20		(±9.86E-04)	(±8.2)	(±15.4)	(±8.6)	(±1.5)	(±19.3)	(±23.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH

Committente: PROVVEDITORATO INTERREGIONALE OO.PP. PER LA TOSCANA, LE MARCHE E L'UMBRIA, SEDE COORDINATA DI ANCONA

Descrizione: Realizzazione del polo museale di Vitruvio e della romanità

Localita': Fano (PU)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... *scpt* *ecc.*)

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/ N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 25/03/2026

Profondità prova 14.80 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	0	0.855	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0	0.851	0.00	0.00	0.00	0.00
0.60	0	0.847	0.00	0.00	0.00	0.00
0.80	0	0.843	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0	0.840	0.00	0.00	0.00	0.00
1.20	0	0.836	0.00	0.00	0.00	0.00
1.40	0	0.833	0.00	0.00	0.00	0.00
1.60	1	0.830	0.72	0.87	36.25	43.69
1.80	1	0.826	0.72	0.87	36.10	43.69
2.00	2	0.823	1.44	1.75	71.93	87.39
2.20	1	0.820	0.72	0.87	35.83	43.69
2.40	2	0.817	1.43	1.75	71.41	87.39
2.60	4	0.814	2.65	3.25	132.26	162.43
2.80	3	0.811	1.98	2.44	98.85	121.82
3.00	4	0.809	2.63	3.25	131.35	162.43
3.20	6	0.806	3.93	4.87	196.38	243.65
3.40	3	0.803	1.96	2.44	97.87	121.82
3.60	3	0.801	1.82	2.28	91.13	113.79
3.80	5	0.798	3.03	3.79	151.42	189.65
4.00	7	0.796	4.23	5.31	211.35	265.51
4.20	2	0.794	1.20	1.52	60.21	75.86
4.40	2	0.791	1.20	1.52	60.04	75.86
4.60	3	0.789	1.69	2.13	84.25	106.75
4.80	9	0.787	5.04	6.40	252.07	320.25
5.00	21	0.685	10.24	14.94	511.88	747.24
5.20	16	0.733	8.35	11.39	417.32	569.33
5.40	20	0.731	10.41	14.23	520.25	711.66
5.60	13	0.729	6.35	8.71	317.63	435.63
5.80	11	0.777	5.73	7.37	286.51	368.61
6.00	7	0.775	3.64	4.69	181.90	234.57
6.20	7	0.774	3.63	4.69	181.49	234.57
6.40	11	0.772	5.69	7.37	284.57	368.61
6.60	15	0.720	6.84	9.50	342.15	474.97
6.80	8	0.769	3.89	5.07	194.74	253.32
7.00	15	0.717	6.81	9.50	340.64	474.97

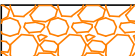
7.20	13	0.716	5.89	8.23	294.59	411.64
7.40	19	0.714	8.59	12.03	429.66	601.63
7.60	19	0.713	8.13	11.40	406.41	570.24
7.80	26	0.661	10.32	15.61	516.02	780.33
8.00	37	0.610	13.55	22.21	677.28	1110.46
8.20	34	0.609	12.42	20.41	621.00	1020.43
8.40	29	0.657	11.44	17.41	572.05	870.36
8.60	28	0.656	10.48	15.97	523.91	798.67
8.80	33	0.605	11.38	18.83	569.22	941.29
9.00	44	0.553	13.89	25.10	694.66	1255.06
9.20	33	0.602	11.34	18.83	566.93	941.29
9.40	23	0.651	8.54	13.12	427.16	656.05
9.60	11	0.750	4.48	5.98	224.19	298.94
9.80	6	0.749	2.44	3.26	122.10	163.06
10.00	7	0.748	2.84	3.80	142.24	190.23
10.20	8	0.747	3.25	4.35	162.32	217.41
10.40	7	0.746	2.84	3.80	141.82	190.23
10.60	8	0.744	3.09	4.15	154.55	207.60
10.80	8	0.743	3.09	4.15	154.33	207.60
11.00	7	0.742	2.70	3.63	134.85	181.65
11.20	5	0.741	1.92	2.60	96.18	129.75
11.40	6	0.740	2.31	3.11	115.26	155.70
11.60	5	0.739	1.84	2.48	91.78	124.15
11.80	7	0.738	2.57	3.48	128.31	173.81
12.00	19	0.687	6.48	9.44	324.20	471.77
12.20	22	0.636	6.95	10.93	347.52	546.25
12.40	23	0.635	7.25	11.42	362.74	571.08
12.60	26	0.634	7.85	12.38	392.45	618.86
12.80	20	0.683	6.50	9.52	325.20	476.04
13.00	14	0.682	4.55	6.66	227.30	333.23
13.20	16	0.681	5.19	7.62	259.37	380.83
13.40	13	0.680	4.21	6.19	210.42	309.43
13.60	30	0.629	8.63	13.71	431.27	685.69
13.80	23	0.628	6.60	10.51	330.08	525.69
14.00	20	0.677	6.19	9.14	309.39	457.13
14.20	21	0.626	6.01	9.60	300.33	479.98
14.40	23	0.625	6.57	10.51	328.35	525.69
14.60	24	0.623	6.58	10.55	328.93	527.58
14.80	28	0.622	7.66	12.31	383.04	615.51

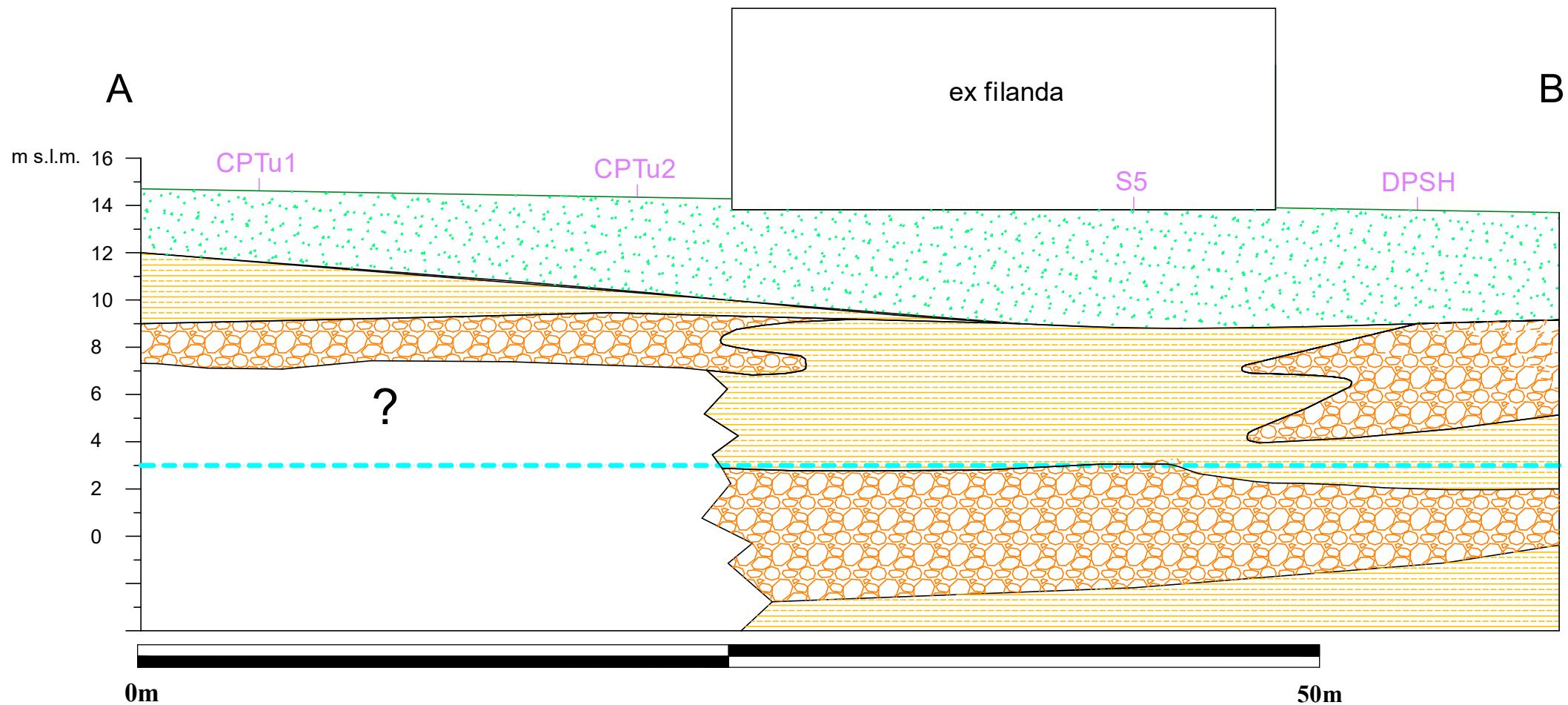
Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
4.6	2.13	1.69	1.48	3.16	riporto
5.8	15	10.51	1.5	22.56	sabbia e limo
6.8	9.6	6.26	1.51	14.5	limo argilloso
9.4	27.15	16.05	1.52	41.27	ghiaia sabbiosa
11.8	7.08	3.73	1.53	10.82	limo debolmente argilloso
14.8	21.47	10.03	1.54	33	ghiaia sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

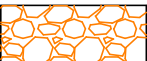
Strato	Prof. (m)	NSPT	Peso unita' di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)	Densità relativa (%)
riporto	0.0-4.6	3.16	18.28	21.88	--	3.33	---	0.35	18.80	15.76
sabbia e limo	4.6-5.8	22.56	21.18	33.4	149.36	22.74	22.12	0.31	119.28	54.84
limo argilloso	5.8-6.8	14.50	22.26	29.75	96.01	14.68	14.22	0.33	78.73	42.1
ghiaia sabbiosa	6.8-9.4	41.27	20.74	39.88	--	11.01	44.97	0.27	210.44	73.38
limo debolmente argilloso	9.4-11.8	10.82	21.48	27.74	71.59	11.00	10.61	0.33	59.79	34.77
ghiaia sabbiosa	11.8-14.8	33.00	20.33	37.25	--	9.34	40.21	0.29	170.54	66.41

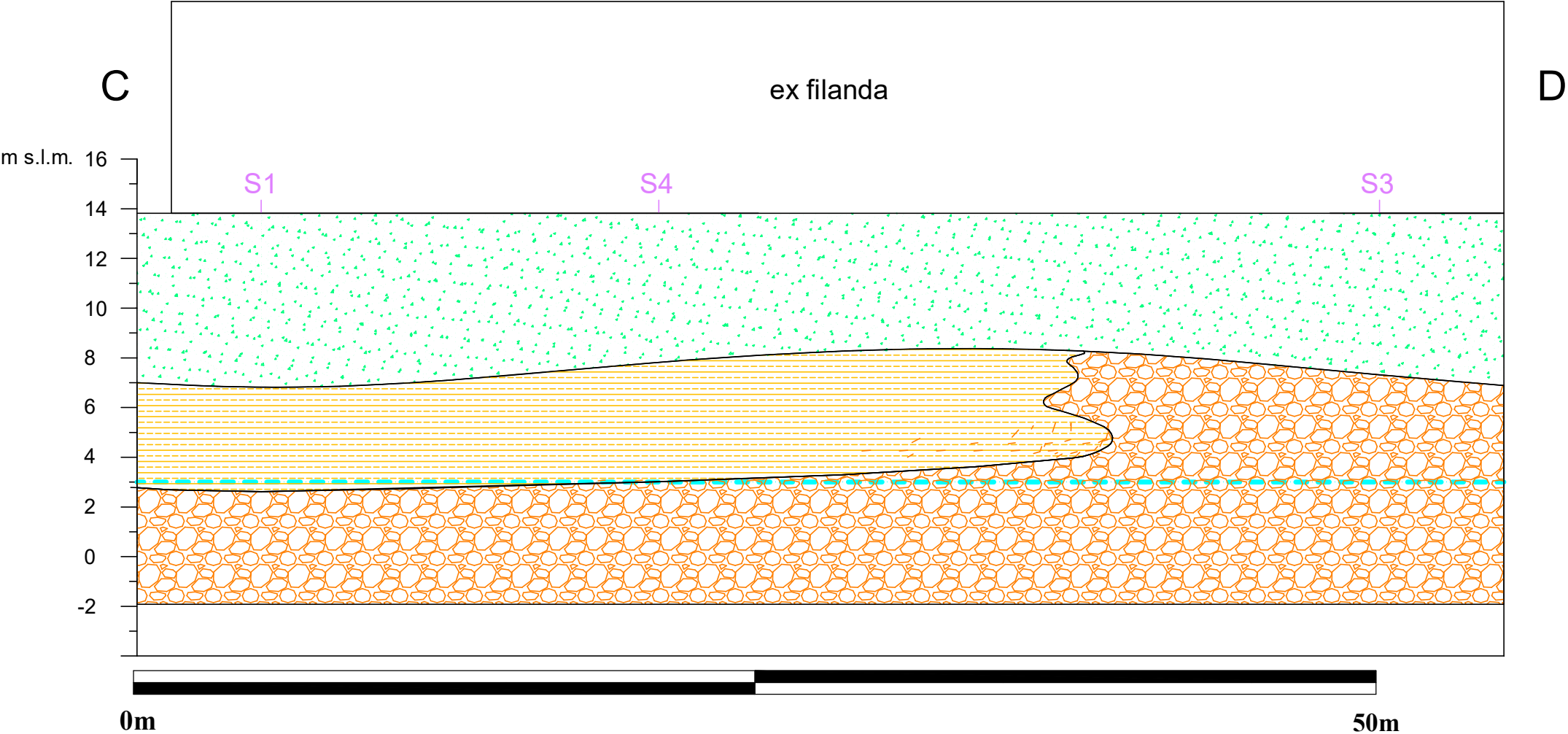
Sezione litostratigrafica A-B

-  Pavimentazioni e riporto antropico eterogeneo
-  Limi argilloso-sabbiosi e argille limose
-  Sabbie limose e ghiaie variamente addensate
-  Falda idrica (soggiacenza variabile entro alcuni metri)



Sezione litostratigrafica C-D

-  Pavimentazioni e riporto antropico eterogeneo
-  Limi argilloso-sabbiosi e argille limose
-  Sabbie limose e ghiaie variamente addensate
-  Falda idrica (soggiacenza variabile entro alcuni metri)



VERIFICA LIQUEFAZIONE RELAZIONE DI CALCOLO

DATI GENERALI

PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: POLO MUSEALE DI VITRUVIO E DELLA ROMANITA'

Codice identificativo 1969

Data 15/06/2026

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 10 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.18

Fattore amplificazione 0.18

Tipo Suolo: B-Sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti Vs30=360-800

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Peak ground acceleration (PGA) 0.18

Metodi basati sull'EC8

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

In generale il metodo è valido se $N_{1,60} < 30$. Per $N_{1,60} > 30$, i suoli sono classificati non liquefacibili (suoli granulari puliti densi).

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0.65 \frac{a_g}{g} \cdot S \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di Blake, 1997:

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da Youd e Idriss (1997) e raccomandato dal NCEER:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova SPT rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove ER è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (vedi Tabella 2-metodo NTC 2008).

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine FC :

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1,0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0,99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1,2$	per $FC > 35\%$

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1	riporto	0	4.6	13.6	18.28	3.16
2	sabbia e limo	4.6	5.8	15.92	19.71	22.56
3	limo argilloso	5.8	6.8	15.03	19.16	14.5
4	ghiaia sabbiosa	6.8	9.4	17.58	20.74	41.27
5	limo debolmente argilloso	9.4	11.8	14.59	18.89	10.82
6	ghiaia sabbiosa	11.8	14.8	16.92	20.33	33

EC8 (SPT) (1998)

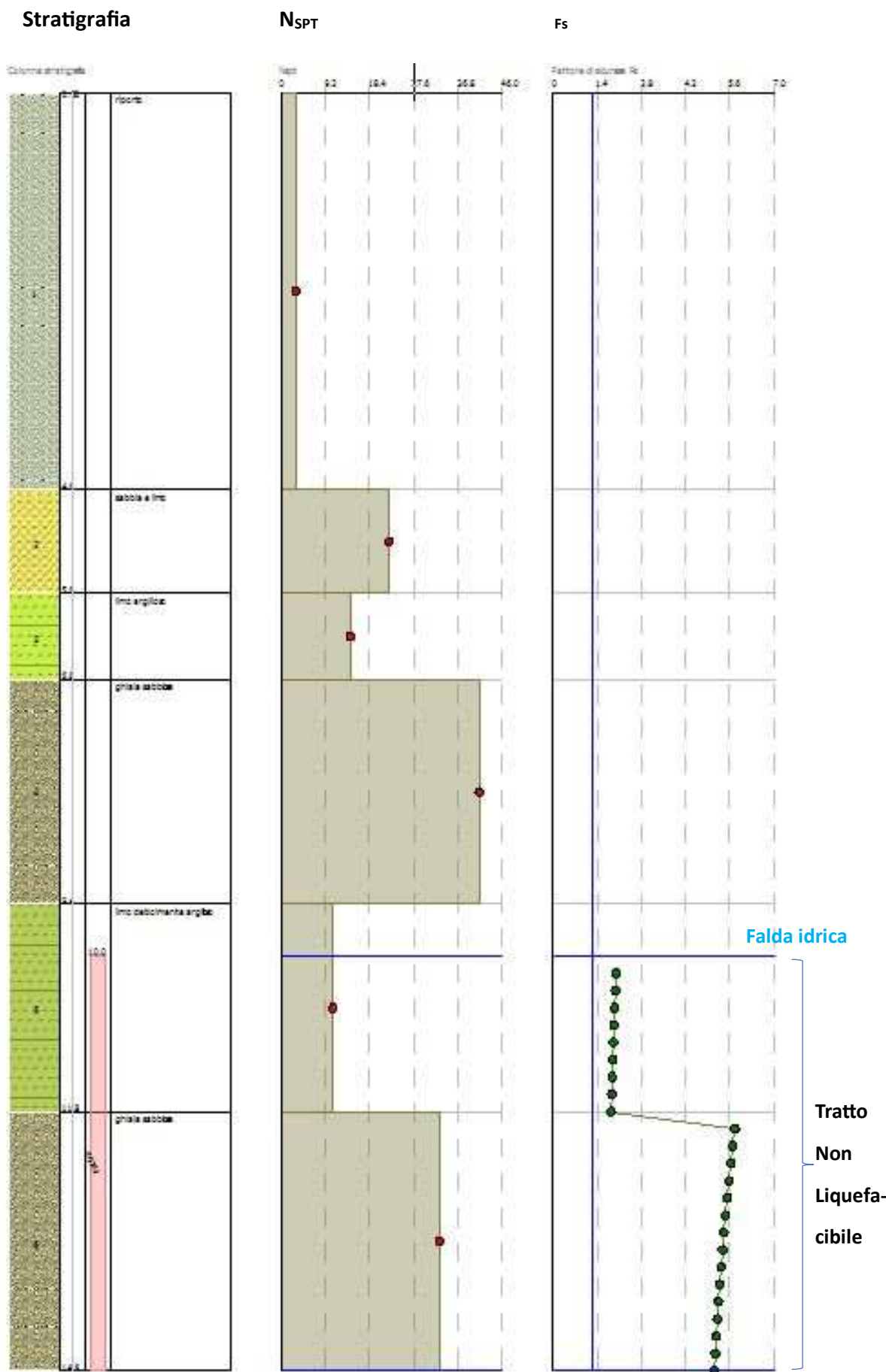
Energy Ratio (ER)	0.6
Correzione per ER (CE) (CE)	1
Correzione per la magnitudo (MSF)	2.21

Profon dità dal p.c. (m)	Pressio ne litostati ca totale (KPa)	Pressio ne vertical e effettiv a (KPa)	Correzi one per la pressio ne litostati ca efficac e (CN)	Numer o colpi corretto (N1,60)	Coeffic iente riduttiv o (rd)	Resiste nza alla liquefa zione (CRR)	Sforzo di taglio normali zzato (CSR)	Coeffic iente di sicurez za Fs	Suscett ibilità di liquefa zione	Probabi lità di liquefa zione (%)
10.20	154.9	152.9	0.809	8.748	0.902	0.097	0.048	2.004	NO LIQUE.	4.018
10.40	158.7	154.7	0.804	8.697	0.896	0.096	0.049	1.981	NO LIQUE.	4.159
10.60	162.4	156.6	0.799	8.646	0.891	0.096	0.049	1.959	NO LIQUE.	4.298
10.80	166.2	158.4	0.794	8.596	0.886	0.095	0.049	1.939	NO LIQUE.	4.434
11.00	170.0	160.2	0.790	8.548	0.880	0.095	0.049	1.919	NO LIQUE.	4.568
11.20	173.8	162.0	0.786	8.500	0.875	0.094	0.050	1.901	NO LIQUE.	4.699
11.40	177.6	163.8	0.781	8.452	0.870	0.094	0.050	1.884	NO LIQUE.	4.827
11.60	181.3	165.6	0.777	8.406	0.864	0.093	0.050	1.868	NO LIQUE.	4.951
11.80	185.1	167.5	0.773	8.360	0.859	0.093	0.050	1.852	NO LIQUE.	5.073
12.00	189.2	169.6	0.7	25.33	0.854	0.291	0.050	5.771	NO LIQUE.	0.157

12.20	193.2	171.7	0.763	25.18	0.848	0.288	0.051	5.703	NO	0.163
12.40	197.3	173.8	0.758	25.03	0.843	0.286	0.051	5.639	LIQUE.	0.169
12.60	201.4	175.9	0.754	24.88	0.838	0.283	0.051	5.579	NO	0.175
12.80	205.4	178.0	0.749	24.73	0.832	0.281	0.051	5.522	LIQUE.	0.180
13.00	209.5	180.1	0.745	24.588	0.827	0.278	0.051	5.469	NO	0.186
13.20	213.6	182.2	0.741	24.445	0.822	0.276	0.051	5.419	LIQUE.	0.191
13.40	217.6	184.3	0.737	24.305	0.816	0.274	0.051	5.372	NO	0.197
13.60	221.7	186.4	0.732	24.168	0.811	0.272	0.051	5.327	LIQUE.	0.202
13.80	225.8	188.5	0.728	24.032	0.806	0.270	0.051	5.285	NO	0.207
14.00	229.8	190.6	0.724	23.899	0.800	0.268	0.051	5.246	LIQUE.	0.212
14.20	233.9	192.7	0.720	23.769	0.795	0.266	0.051	5.209	NO	0.216
14.40	238.0	194.8	0.716	23.640	0.790	0.264	0.051	5.174	LIQUE.	0.221
14.60	242.0	196.9	0.713	23.513	0.784	0.262	0.051	5.142	NO	0.225
14.80	246.1	199.0	0.709	23.389	0.779	0.260	0.051	5.111	LIQUE.	0.229

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

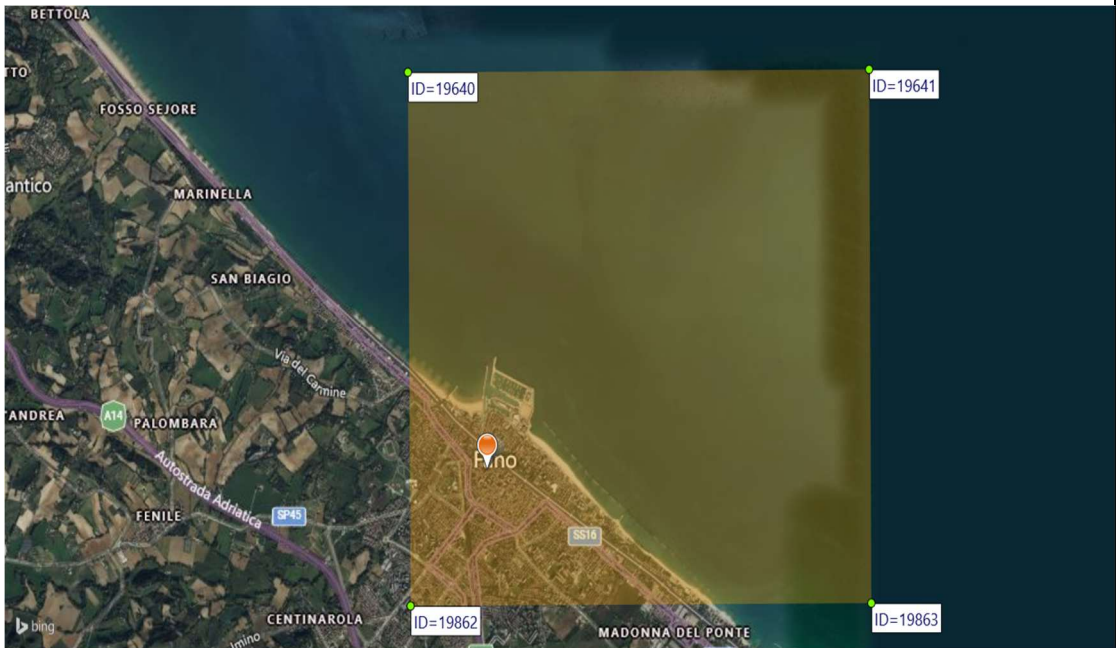
Di seguito si riporta il grafico dei valori del fattore di sicurezza con la profondità.



Comune: Fano
Provincia: Pesaro e Urbino

RELAZIONE DI CALCOLO

Archivio: Nuovo Progetto.smg - Data : 12/06/2026



Oggetto : Polo museale di Vitruvio e della romanità.

Committente	MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
-------------	--

Sommario

1 Introduzione	3
1.1 Localizzazione sito	3
2 Azioni sulla struttura	3
2.1 Azione sismica	3
2.1.1 Pericolosità sismica di base	4

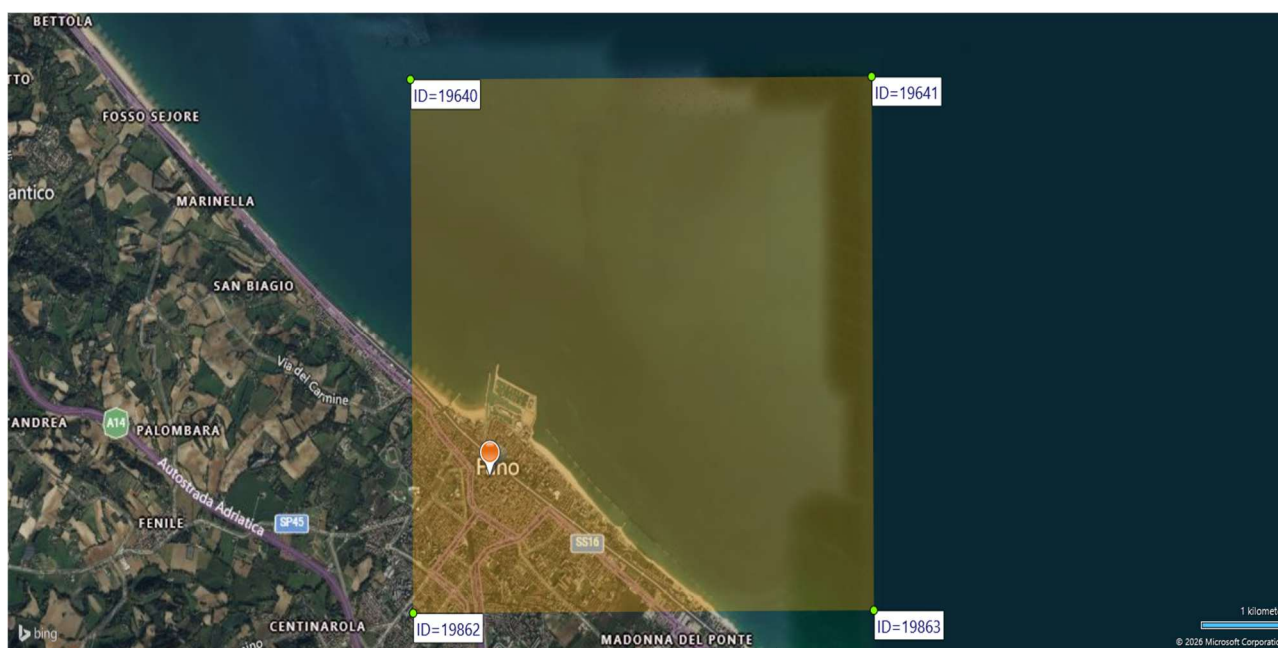
1 Introduzione

1.1 Localizzazione sito

Descrizione sito : Fano (Pesaro e Urbino) - Marche

Coordinate del sito

Latitudine (WGS84) : 43°.8456
 Longitudine (WGS84) : 13°.0155
 Latitudine (ED50) : 43°.8465
 Longitudine (ED50) : 13°.0164
 Altezza s.l.m. : 14.47 m



2 Azioni sulla struttura

2.1 Azione sismica

La valutazione delle azioni sismiche sulle strutture viene condotta in relazione ad un periodo di riferimento c che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (§2.4.3 NTC 2018).

Nel caso specifico risulta:

$V_N = 50$ anni (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale)

$C_U = 1.0$ anni (Classe d'uso II §2.4.2 NTC 2018)

$V_R = 50$ anni

Gli stati limite nei confronti dell'azione sismica, in relazione alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, si

dividono in:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (**SLO**);

Stato Limite di Danno (**SLD**).

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**);

Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**).

Per ciascuno degli stati limite considerati viene associata una probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (Tab. 3.2.I. NTC 2018).

Per ogni valore di P_{VR} viene calcolato il periodo di ritorno medio T_R di un evento avente quell'entità attraverso la seguente relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

i valori così ottenuti vengono riportati nella seguente tabella:

Stato limite	$P_{VR}[\%]$	$T_R[\text{anni}]$
SLO	81	30
SLD	63	50
SLV	10	475
SLC	5	975

2.1.1 Pericolosità sismica di base

L'elemento di conoscenza primario per la valutazione delle azioni sismiche in un determinato sito è rappresentato dalla "pericolosità sismica di base". Questa viene espressa, per ogni stato limite, in funzione della probabilità di superamento P_{VR} in termini di spettro di risposta in accelerazione per un suolo di categoria **A**.

I parametri che identificano la pericolosità sismica di base sono:

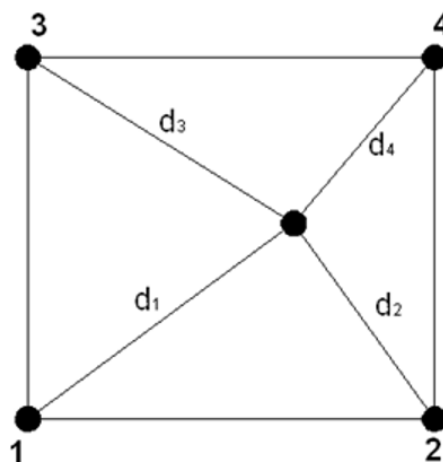
- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono forniti dalla norma (NTC 2018), per diversi periodi di ritorno T_R , su tutto il territorio nazionale in un numero di punti che definiscono un reticolo di riferimento. Pertanto, per ogni punto del territorio nazionale è possibile individuare quattro punti del reticolo in modo da definire una maglia. I parametri sismici di tale punto si ottengono da quelli della maglia attraverso la seguente relazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p : generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) da calcolare per il punto oggetto di studio;
- d_i : distanza tra il punto oggetto di studio e l' i -esimo punto della maglia;
- p_i : valore del generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) nell' i -esimo punto della maglia.



Nel caso specifico si ha:

Coordinate del sito

Latitudine (ED50): 43°.8465

Longitudine (ED50): 13°.0164

Identificativi e coordinate (Datum ED50) dei punti che includono il sito		
Numero punto	Latitudine [°]	Longitudine [°]
19862	43°.8339	13°.0049
19641	43°.8842	13°.0738
19640	43°.8839	13°.0045
19863	43°.8342	13°.0742

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
Tempo di ritorno [anni]	475	975	50	30
Accelerazione sismica [g]	0.181	0.235	0.06	0.046
Coefficiente Fo	2.468	2.508	2.582	2.433
Periodo Tc*[sec]	0.296	0.309	0.276	0.275

Una volta valutati i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base è possibile calcolare le ordinate spettrali degli spettri di risposta in accelerazione mediante le seguenti relazioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g F_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g F_0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Dove:

F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

T_C : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

$$T_C = T_C^*$$

T_B : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

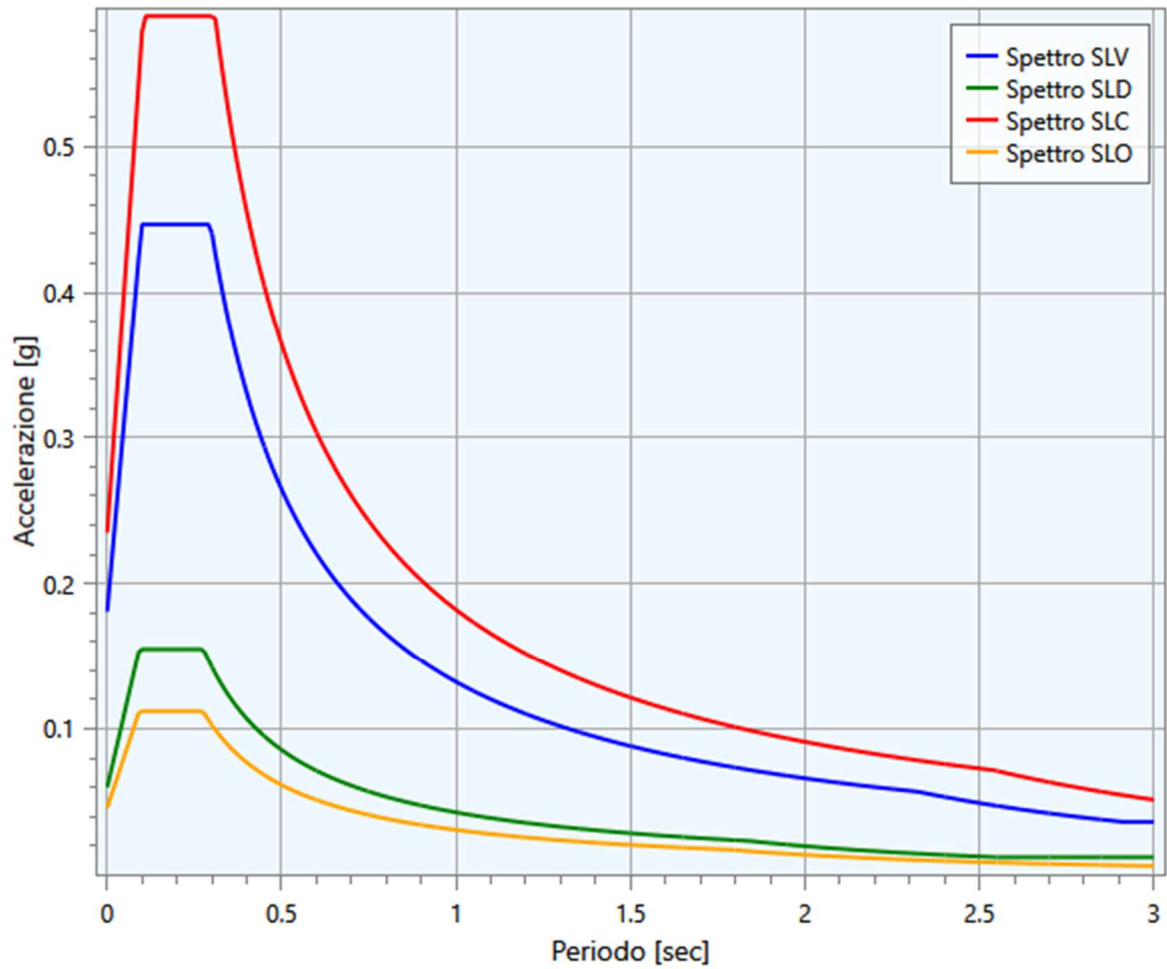
$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

T_D : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi

mediante la relazione:

$$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Le forme spettrali così valutate vengono riportate per ogni stato limite nella figura seguente.



	Periodi caratteristici dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
$T_R[sec]$	0.099	0.103	0.092	0.092
$T_C[sec]$	0.296	0.309	0.276	0.275
$T_D[sec]$	2.324	2.54	1.84	1.784
C_c	1.00	1.00	1.00	1.00

	Periodi caratteristici dello spettro di risposta verticale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
$T_R[sec]$	0.05	0.05	0.05	0.05
$T_C[sec]$	0.15	0.15	0.15	0.15
$T_D[sec]$	1.00	1.00	1.00	1.00
C_c	1.00	1.00	1.00	1.00