

COMUNE DI VILLANOVA del SILLARO

Provincia di Lodi

(Zona sismica 3 - D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129)

CONSORZIO DI BONIFICA MUZZA BASSA LODIGIANA

**Adeguamento funzionale del Colatore Sillaro per la gestione dei deflussi
di piena a protezione degli abitati di Villanova Sillaro e Borghetto
Lodigiano**

RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

(R3 ex D.G.R. IX/2616/2011)

RELAZIONE GEOLOGICA

(R1 ex D.M. 17/01/18)

RELAZIONE GEOTECNICA

(R2 ex D.M. 17/01/18)



**IL GEOLOGO
DR GIOVANNI BASSI**

Luglio 2025

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'	5
3. CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA	7
RELAZIONE GEOLOGICA.....	8
4. GEOMORFOLOGIA ED ELEMENTI GEOPEDOLOGICI.....	8
5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA	10
6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE TERRENI	12
7. AZIONE SISMICA: ANALISI PROVE INDIRETTE (MASW E HVSR)	17
RELAZIONE GEOTECNICA.....	21
8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	21
9. IPOTESI DI FONDAZIONE	22
10. CONCLUSIONI.....	28

ALLEGATI:

- 1- Corografia con prove,
- 2- Elaborati prove penetrometriche,
- 3- Sezione geologico- tecnica schematica.

1. PREMESSA

Le opere in discussione consistono nella realizzazione di un diversivo a salvaguardia degli abitati di Villanova Sillaro e Borghetto Lodigiano (Lo) vulnerabili dal punto di vista idraulico come purtroppo accaduto in occasione di numerosi eventi alluvionali e confermato dagli studi per Regione Lombardia eseguiti dal Consorzio di Bonifica Muzza Basso Lodigiano.

In particolare il rilievo di dettaglio dei colatori Sillaro e Sillaretto e lo Studio idraulico di dettaglio costituiscono le basi del progetto in discussione.

Questi approfondimenti idraulico-idrologici consigliano che parte delle portate di piena, siano raccolte da un nuovo canale scaricatore dal Sillaretto al fiume Lambro a valle della frazione di Bargana così da ridurre il rischio idraulico incombente sul territorio.

Gli studi idraulici ed idrologici eseguiti hanno dimostrato l'idoneità del corso d'acqua ricettore a recepire le nuove portate di progetto.

Il sito in discussione si colloca a sud-ovest di Bargano, frazione di Villanova del Sillaro ed è individuato in **Allegato 1, Estratto mappa**.

Il diversivo di progetto transiterà interamente in terreni agricoli a sud-ovest dell'abitato di Bargano (Fig. 1), ed avrà le caratteristiche che qui di seguito si compendiano:

- sarà realizzato con condotta sotterranea e tubazione di diametro interno di 2 m in C.C.A. turbo-centrifugato, poggiante su platea di fondazione con rete elettrosaldata larga 2,50 m e di altezza 0,20 m; la lunghezza del tratto in sotterranea somma circa 400 m.
- sarà dotato di **"Manufatto di derivazione"**, in destra idrografica del Colatore Sillaretto, con quota di fondo 65,35 m slm e terminerà, dopo 759,73 m, a 59,941 m slm dove scaricherà nel Fiume Lambro utilizzando, nel suo ultimo tratto, un esistente corso d'acqua naturaliforme;
- a valle del sottopasso delle rogge Barbavara e ramo Fratta-Villanova, dopo 356,19m dalla derivazione si colloca il **"Manufatto salto"** da quota 65 a 62,75 m slm (quote di fondo);
- l'attraversamento della Strada comunale di Vigarolo, a 665,73 m dalla derivazione, si esegue con il **"Manufatto di attraversamento stradale"** che ha alla sommità quota di scorrimento 62,441 m slm mentre al piede raggiunge quota 59,941 m slm;
- la condotta di progetto sarà posta al di sotto del piano campagna alla profondità massima di 6,31 m e minima, alla derivazione, di 3,86 m e richiede lo scavo del terreno, con sezione trapezia, di base minore 3,50 m, base maggiore da circa 11 a 15,60 m;

Il presente lavoro ha come riferimento le seguenti norme:

- DPR 380/2001 - Testo unico per le costruzioni;
- DM 17/01/2018 - Norme tecniche per le costruzioni;
- LR 33/2015 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;
- DGR 5001/2016 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica;
- LR 12/2005 - Legge per il governo del territorio;
- DGR 2616/2011 - Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio;
- Norme Geologiche di Piano (PGT).

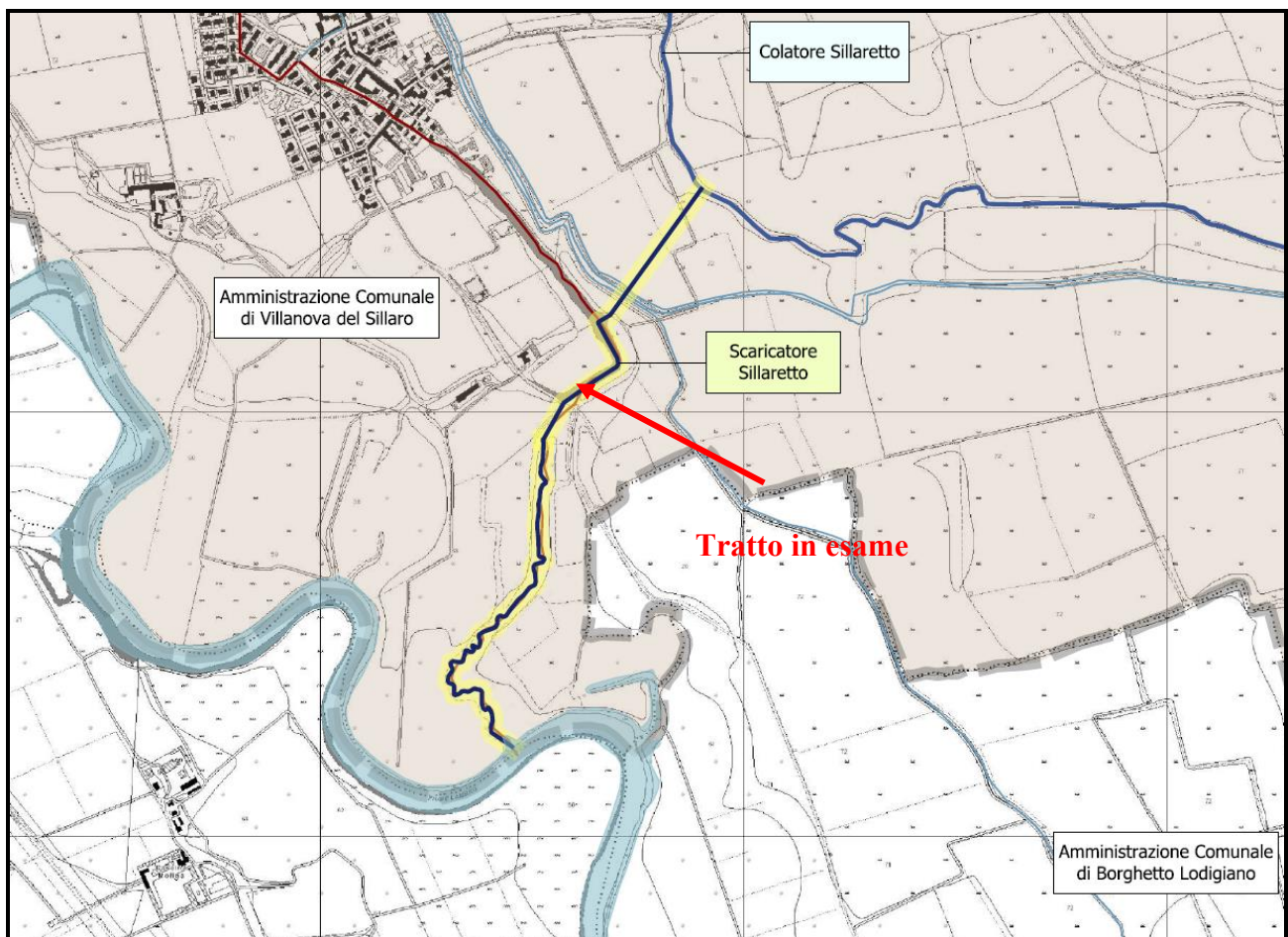


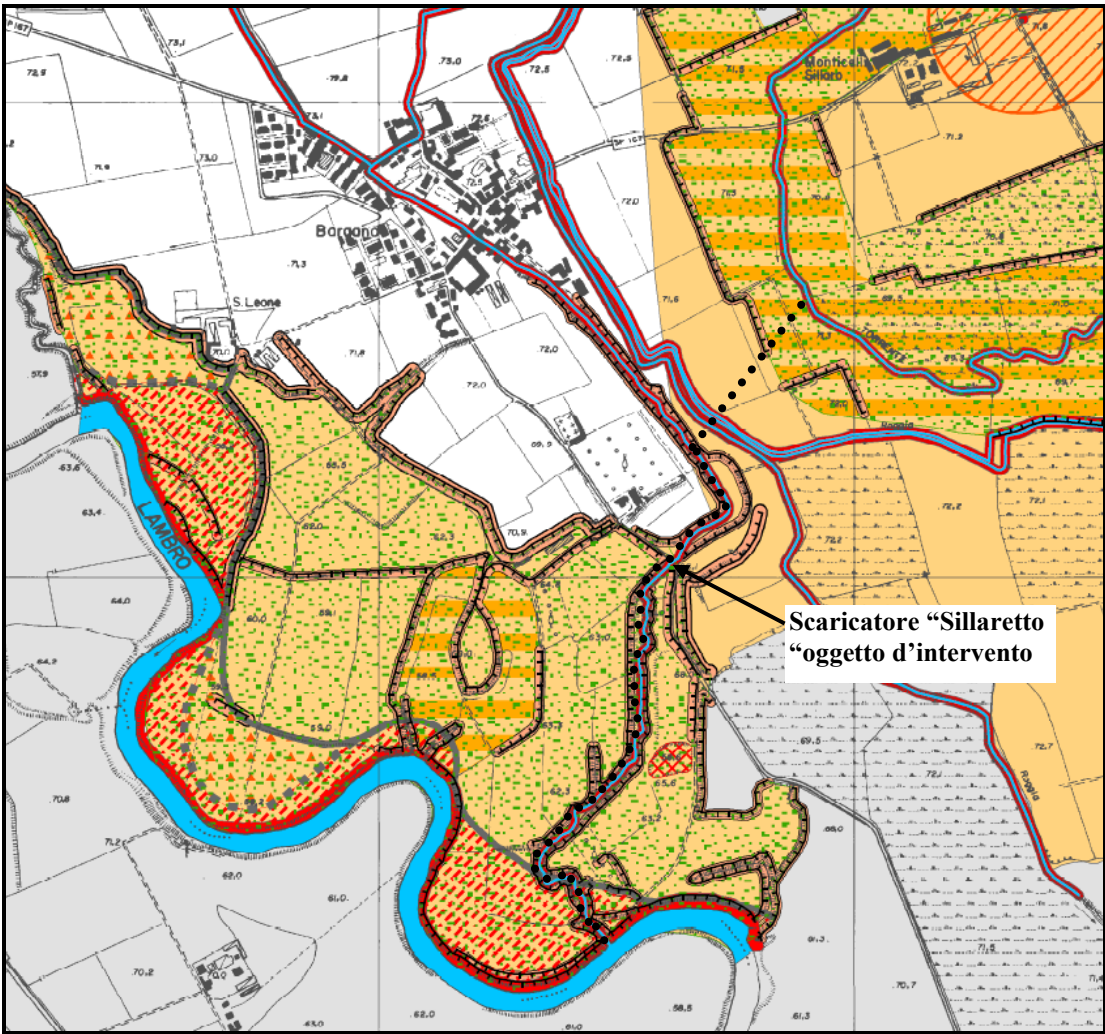
Figura 1 - Planimetria Scaricatore "Sillaretto" tratto in esame.

2. RELAZIONE GEOLOGICA DI FATTIBILITA'

Il Comune di Villanova del Sillaro è dotato di PGT con componente geologica idrogeologica e sismica del marzo 2011 ed è inserito, per effetto della D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129, in Zona sismica 3 (pericolo sismico basso).

Nella componente geologica del PGT (vedi Figura 2) il sito è così qualificato:

- in Carta geologica-pedologica, la parte iniziale dello scaricatore si colloca in Alluvioni antiche medie con suoli sottili e poco profondi localmente limosi; nella parte centrale i terreni sono relativamente più antichi e sabbiosi; nella parte terminale, in destra idrografica di roggia Bargana, i terreni sono sabbiosi e/o sabbioso-ghiaiosi con suoli poco sviluppati;
- in Carta idrogeologica, i terreni della parte iniziale hanno soggiacenza stimata di circa 3-4 m; la falda in destra di roggia Bargana si approfondisce, per l'effetto drenante del Lambro, e soggiacenza media 4-5 m; il flusso di falda è da nord-est a sud-ovest; la soggiacenza dell'acquifero superficiale è massima nella stagione invernale mentre risale di 1-1,5 m d'estate per effetto dell'irrigazione;
- in Carta di pericolosità sismica locale, tutto il territorio è collocato in Zona Z4a, depositi alluvionali con amplificazioni litologiche distinti da Z3a orli di terrazzo morfologico con amplificazioni topografiche
- in Carta di sintesi, definisce i terreni ad alta vulnerabilità;
- in Carta di fattibilità geologica, **Classe di fattibilità geologica 3a**, con modeste limitazioni per vulnerabilità idrogeologica.



CLASSE 3 Fattibilit� con consistenti limitazioni		3A	Art. 5	Vulnerabilit� del primo acquifero da alta a elevata.	- Tutela della qualit� delle acque sotterranee.
		3B	Art. 6	Aree a bassa soggiacenza della falda.	- Sconsigliata la realizzazione di scantinati e seminterrati. - Valutare il grado di saturazione dei terreni costituenti il sedime di fondazione di nuove strutture.
		3C	Art. 7	Scarpate morfologiche.	- Sono vietati gli interventi che possono alterare i caratteri morfologici, paesaggistici e naturalistici. - Sono vietati nuovi interventi di urbanizzazione e di nuova edificazione; sugli edifici esistenti sono ammessi interventi edilizi secondo specifica norma di attuazione. - Per gli interventi edilizi e/o di urbanizzazione compatibili con i regolamenti vigenti dovr� essere redatto specifico studio geologico e geotecnico in relazione alla stabilit� della scarpata e a quella delle strutture in progetto.
		3D	Art. 8	Fascia di rispetto del pozzo acquedottistico.	- Applicazione delle norme previste dal D.Lgs. 152/06.
		3E	Art. 9	Aree con matrici ambientali contaminate o soggette a verifiche D.Lgs. 152/06 e s.m.i.).	- Applicazione delle norme previste dal D.Lgs. 152/06.
		3F	Art. 10	Fascia B del P.A.I.	- Applicazione delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.
CLASSE 4 Fattibilit� con gravi limitazioni		4A	Art. 11	Fascia di tutela assoluta del pozzo acquedottistico.	- Area adibita all'opera di captazione e alle relative infrastrutture di servizio (D.Lgs. 152/06).
		4B	Art. 12	Reticolo idrografico.	- Applicazione delle norme di Polizia Idraulica.
		4C	Art. 13	Fascia di prima esondazione del Lambrone (fascia A del P.A.I.).	- Applicazione delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

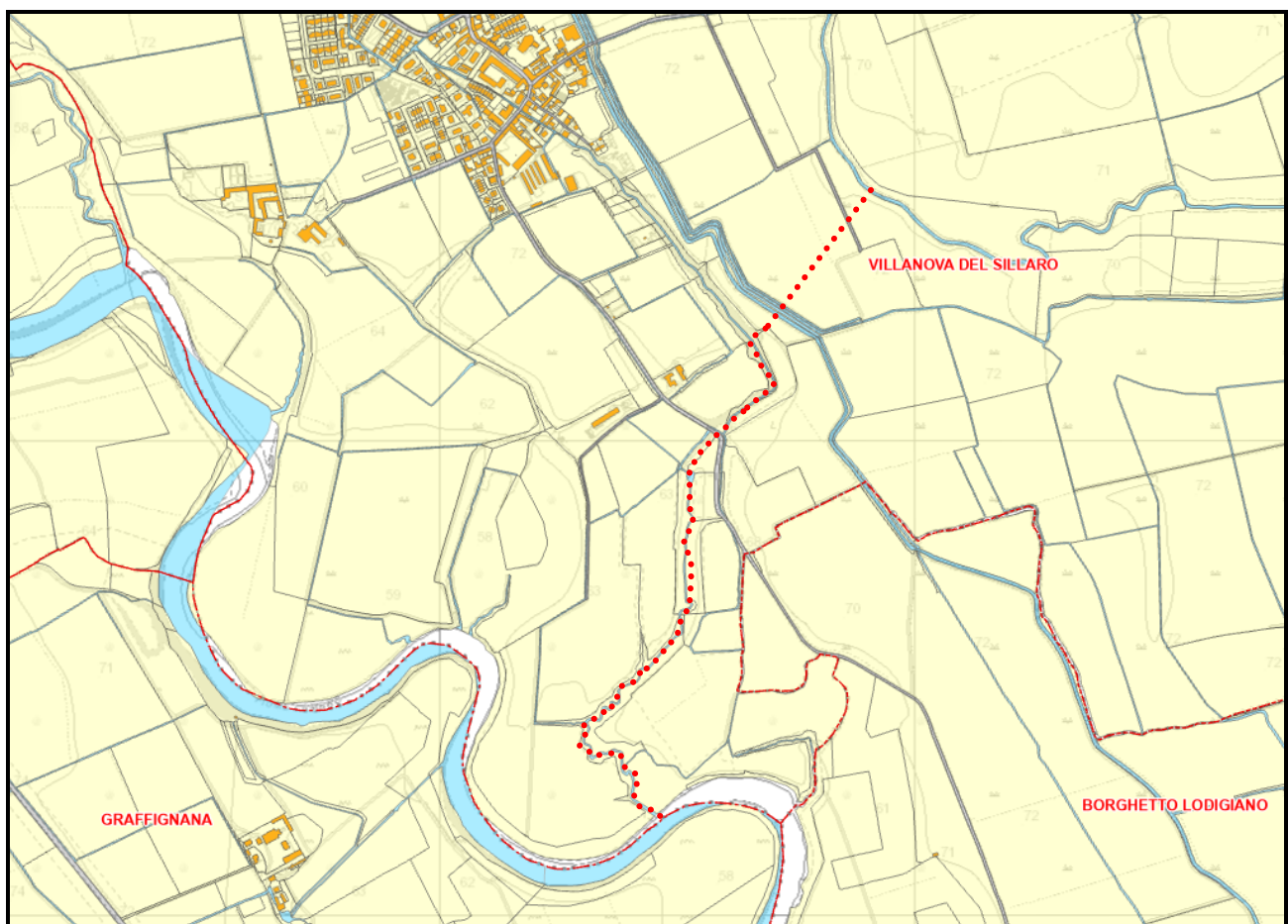
Figura 2 - Estratto da Carta di fattibilit  geologica – PGT.

3. CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

Lo Scaricatore Sillaretto attraversa aree a Fattibilità geologica 3, per presenza di terreni sabbiosi permeabili, ciò comporta la necessità di eseguire approfondimenti geognostici e geofisici tale da definire i modelli geologico, geotecnico e sismico che dovranno essere trattati nelle apposite relazioni geologica (R1) e geotecnica (R2).

Per le sue caratteristiche l'opera di progetto non modificherà l'assetto del territorio ed il suo equilibrio idrogeologico

ESTRATTO MAPPA



..... Scaricatore Sillaretto.

Figura 3 - Estratto mappa.

RELAZIONE GEOLOGICA

(R1 ex D.M. 17/01/18)

4. GEOMORFOLOGIA ED ELEMENTI GEOPEDOLOGICI

Qui di seguito si illustrano le condizioni geologica e geomorfologica del territorio e le sue caratteristiche geo-pedologiche.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE E GEOPEDOLOGICHE

Il territorio di Villanova del Sillaro è sito nella pianura lodigiana centro-occidentale.

L'area studiata è caratterizzata da superfici pianeggianti o debolmente ondulate e da una qualche ricchezza di forme di origine fluviale, prevalentemente costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-limosi, con suoli generalmente privi di pietrosità e scheletro.

L'assetto geomorfologico, in questo settore di pianura, è stato fortemente influenzato dalla successione di fasi erosive e deposizionali conseguenti alle variazioni del livello marino di base; in tali condizioni si è sviluppato, nel corso del Quaternario continentale, il processo di modellamento dell'area tra Adda e Lambro.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio in discussione, ricade nel sistema della piana di alluvionamento wurmiano, che costituisce il Livello Fondamentale della Pianura (LFP), formato dai depositi fluvioglaciali e fluviali pleistocenici legati al colmamento alluvionale del bacino padano durante l'ultima glaciazione quaternaria. Nell'ambito del Livello Fondamentale della Pianura, sono state inoltre distinte superfici di paleoalveo, aree depresse, superfici modali stabili ed aree addossate.

Sulla base di questa prima suddivisione, basata sull'andamento altimetrico e sull'assetto geomorfologico dell'area, sono state individuate unità, caratterizzate da differente composizione litologica e pedologica.

L'area studiata è caratterizzata da superfici pianeggianti o debolmente ondulate, scarsamente urbanizzate (Fig. 2), a tessitura media o moderatamente grossolana, generalmente ben drenate della piana fluviale terrazzata costituente il livello fondamentale della pianura.

Questa condizione è tipica della bassa pianura lodigiana debolmente ondolata, caratterizzata da una notevole ricchezza di forme di origine fluviale con idrografia superficiale orientata prevalentemente da NO a SE (Fig. 3).

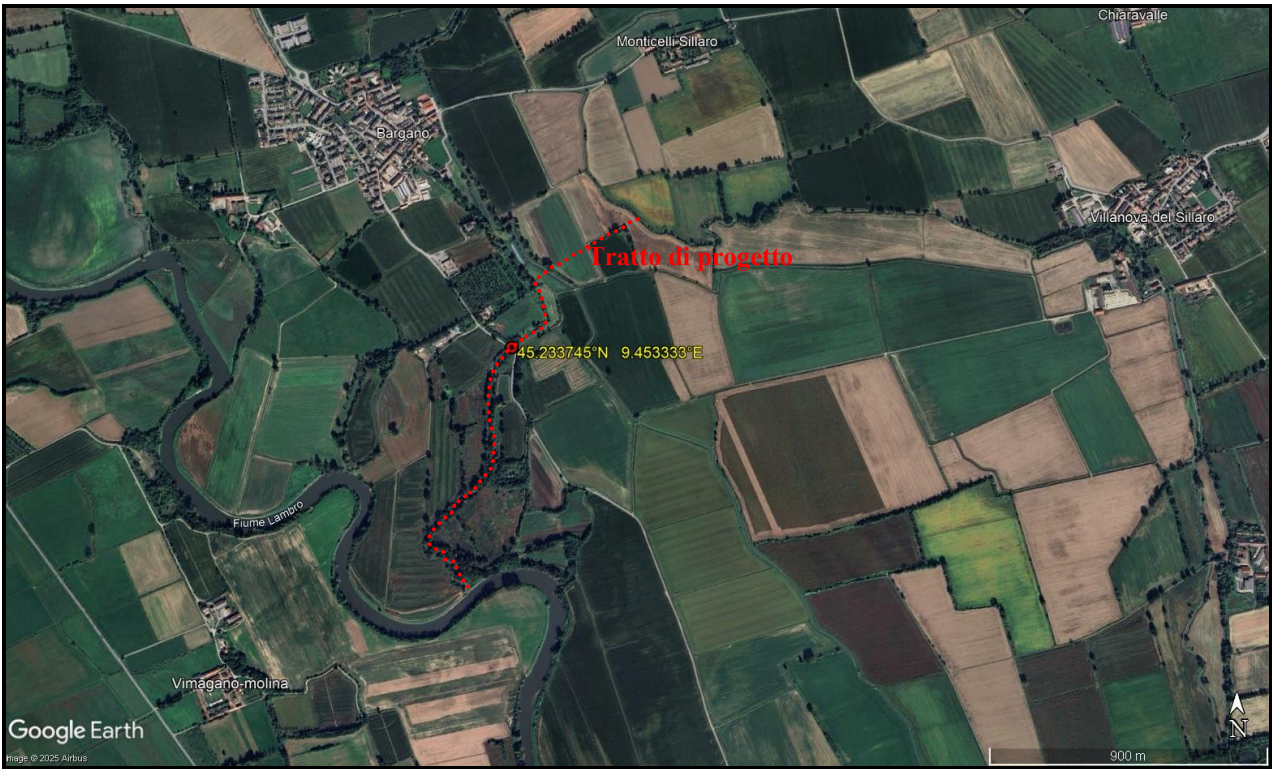


Figura 4 – Mappa Google con coordinate geografiche.

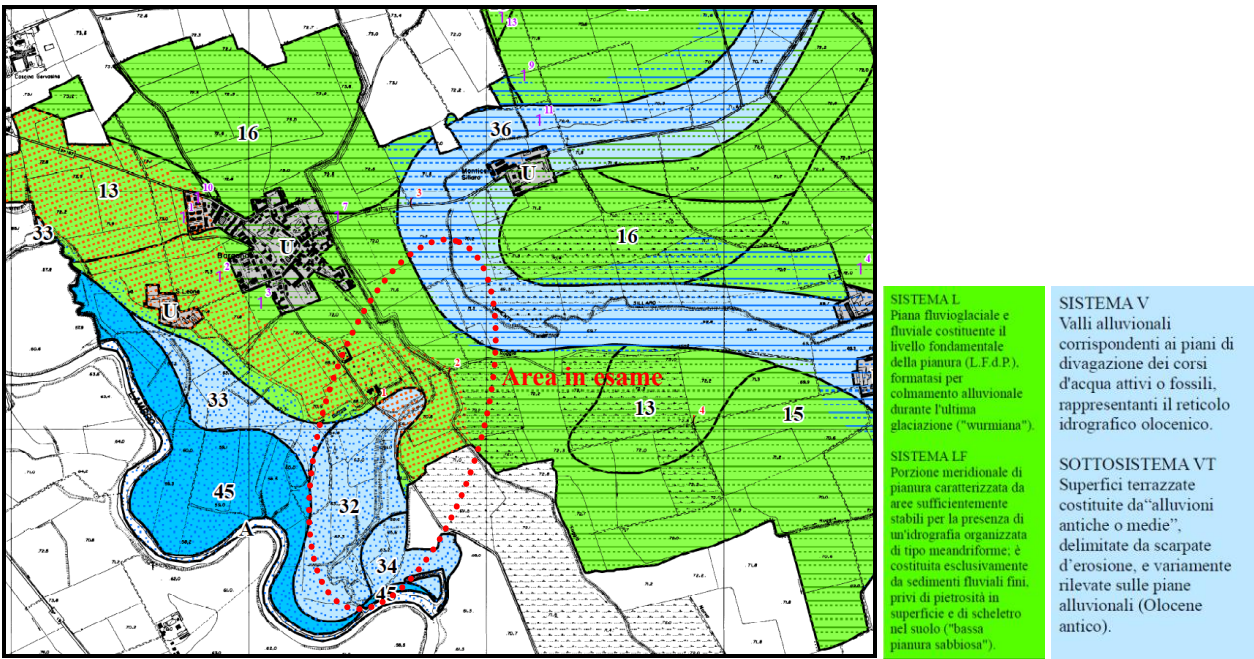


Figura 5 – Estratto carta pedologica (PGT).

5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

Nel presente capitolo sono descritti la rete idrica e gli elementi idrogeologici salienti del territorio in discussione.

IDROGRAFIA

L'elemento idrografico principale della zona in discussione è il torrente Sillaro che scorre ad est dell'area in esame con andamento NO-SE. Il Colatore Sillaretto è in destra idrografica del Sillaro e segue un percorso arcuato al fondo di un ampio paleo-meandro; questo colatore drena una vasta area tra Bargano e Villanova Sillaro, confluisce in Sillaro contribuendo significativamente alla sua portata. Nel territorio in discussione sono presenti alcune importanti rogge irrigue, tutte alimentate dal gran canale Muzza, tra cui si citano "Frata Villanova" e "Mongiardina" con le molteplici loro derivazioni. Il Sillaro Bargana è il corso d'acqua che ad occidente del sito in discussione sbocca direttamente in sinistra Lambro è che accoglierà le acque sottratte al Diversivo Sillaretto con lo scaricatore di progetto.

IDROGEOLOGIA

La geologia del sottosuolo comprende notevoli variazioni laterali e verticali in funzione degli eventi neotettonici e sedimentari che hanno coinvolto l'area nel Quaternario.

La successione idrogeologica, a scala regionale, è definita da tre unità ben distinte anche se non sempre individuabili chiaramente.

Dalla più superficiale alla più profonda le unità affioranti sono le seguenti:

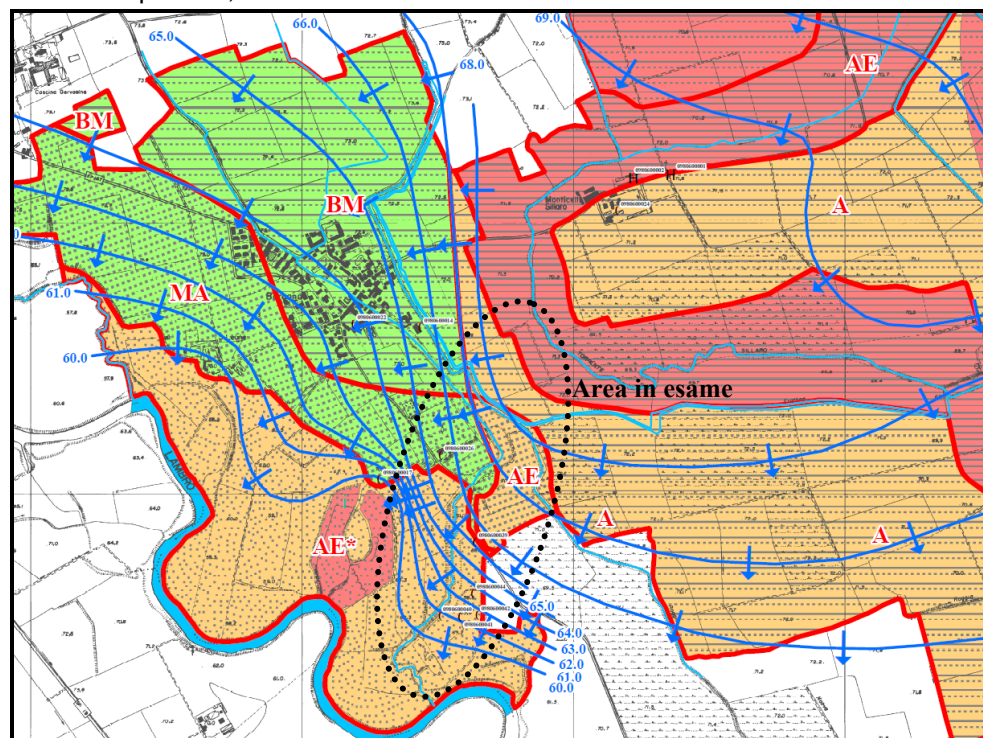
- Unità ghiaioso-sabbiosa: costituita, nella parte più settentrionale del territorio padano, dalle formazioni moreniche, sfumanti verso sud nelle coltri fluvio-glaciali e fluviali recenti.

Questa unità è costituita da depositi alluvionali (recenti ed antichi) e da quelli fluvioglaciali wurmiani, in cui le frazioni limose e argillose risultano più limitate; rappresenta la litozona più superficiale con ambiente di sedimentazione continentale, fluviale e fluvio-glaciale. È costituita da granulometrie progressivamente più fini da N a S; il colore dei sedimenti fini denota condizioni ossidanti tipiche di un ambiente di sedimentazione sub-aereo. L'Unità ghiaioso-sabbiosa è la sede della struttura idrica più importante, tradizionalmente utilizzata in quanto caratterizzata da valori di trasmissività molto elevati. Anche l'elevata permeabilità consente la ricarica dell'acquifero con acque meteoriche e di infiltrazione da corsi d'acqua o canali artificiali; la conducibilità idraulica che caratterizza questa unità è compresa tra 10^{-3} e 10^{-4} m/s mentre la trasmissività è, in linea generale, superiore a 10^{-2} m²/s.

- Unità sabbioso-argillosa: sottostante la precedente litozona ghiaioso-sabbiosa, da questa separata con contatto graduale di difficile ubicazione. È suddivisibile in due sub-unità, la prima ad argille, limi e sabbie con frequenti livelli torbosi o lignitici, caratteristica di ambienti fluvio-palustri, la seconda indica invece condizioni marine costiere ed è costituita da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi. Ovviamente la permeabilità primaria è molto variabile nelle due sub-unità in funzione delle differenze granulometriche. Trattandosi di litotipi a granulometria fine, i valori di conducibilità idraulica sono piuttosto bassi, dell'ordine di 10^{-5} – 10^{-6} m/s;

nei livelli più produttivi anche la trasmissività è mediocre ed in genere inferiore a 10^{-3} m²/s. Per quanto riguarda le acque sotterranee, questa unità rappresenta il substrato dell'acquifero tradizionale; l'acqua è contenuta in livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi; si tratta principalmente di falde confinate con presenza talora di sostanze tipiche di ambiente riducente.

- Unità argillosa: è l'unità più profonda e più antica nell'ambito dei sedimenti quaternari e corrisponde a condizioni di sedimentazione tipicamente marine. Presenta permeabilità scarsa o nulla con rari livelli acquiferi; è generalmente considerata il substrato idrogeologico delle unità soggette ad eventuali captazioni. L'intera successione quaternaria, dunque, è interpretata come fase terminale del progressivo riempimento del bacino padano, con condizioni di sedimentazione da marine a continentali.



SOGGIACENZA MEDIA (S) DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

$S < 2$ m



$2 < S < 5$ m (*)



$2 < S < 5$ m



$5 < S < 10$ m



VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE

BM

VULNERABILITA' DA BASSA A MODERATA - Acquifero semiconfinato / confinato da diffuse coperture fini nei primi metri di profondità; la soggiacenza della superficie piezometrica è generalmente superiore a 5 m.

MA

VULNERABILITA' DA MODERATA AD ALTA - Acquifero libero in cui l'esposizione delle acque sotterranee è mitigata da una significativa soggiacenza della falda.

A

VULNERABILITA' ALTA - La scarsa soggiacenza della superficie piezometrica è parzialmente mitigata dalla presenza di coperture fini che determinano un comportamento di tipo confinato o semiconfinato dell'acquifero.

AE

VULNERABILITA' DA ALTA AD ELEVATA - Acquifero libero costituito da depositi granulari con coperture rare o assenti; nella Valle del Sillaro la presenza di coperture fini riduce localmente gli indici di vulnerabilità.

AE*

VULNERABILITA' DA ALTA AD ELEVATA* - Acquifero generalmente libero; i rapporti d'interscambio idrico tra acque sotterranee e Lambro aggrava il grado di esposizione della falda a potenziali agenti inquinanti idrovelcolabili.

Figura 6 – Estratto carta idrogeologica (PGT).

La vulnerabilità degli acquiferi tende a ridursi con la profondità, grazie alla protezione dei livelli argillosi impermeabili ed alla modalità di alimentazione, tanto più remota quanto più profondo è l'acquifero.

Secondo la componente geologica (PGT) l'area in esame è associata a vulnerabilità alta e con soggiacenza della falda inferiore a 2.00 m.

Il flusso locale della falda superficiale è in generale verso SSE; nella zona in discussione il flusso di falda ruota di 90° circa orientandosi ad ovest a causa dell'effetto drenante del fiume Lambro.

6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE TERRENI

Si discutono, nel capitolo che qui segue, le condizioni geo-litologiche del sito in discussione. Al fine di qualificare la natura del sottosuolo ci si avvale di: un sondaggio con escavatore meccanico e di 4 verticali di prova penetrometrica statica (CPT), con penetrometro pesante Pagani. L'indagine è stata eseguita il 22.07.2025.

Il **sondaggio** ha dato i seguenti risultati:

- profondità massima 2 m da p.c.,
- falda a 1,80 m da p.c. con abbondante infiltrazione dalla parete sud,
- franamento delle pareti al raggiungimento dell'acqua.

Litologia:

- da p.c. a 0,40 m, suolo sabbioso-limoso grigio-beige,
 - da 0,40 a 1,30 m, sabbia media beige con al tetto "laminazioni incrociate" (0,50 m di potenza) e al letto tracce di ghiaietto (diam. 2cm),
 - da 1,30 a 1,80 m, sabbia media con abbondanti ciottolotti (diam. 2cm),
- da 1,80 a 2,00 m livello di limo sabbioso grigio-verde.



Figura 7 – Sondaggio eseguito con escavatore. Presenza di falda a fondo sondaggio.

Le **CPT**, sono qui di seguito analizzate e descritte (in verde sono evidenziati gli strati di influenza, individuati sulla base di una prima valutazione del complesso opera-terreno).

CPT 1, 70,60 m s.l.m., lunghezza max 9,8 m, falda -1,80 da p.c. = 68,80 m s.l.m.;

CPT 2, 66,80 m s.l.m., lunghezza max 7,8 m, foro chiuso a -3,90 da p.c. = 62,90 m s.l.m.;

CPT 3, 62,50 m s.l.m., lunghezza max 9,8 m, falda -3,60 da p.c. = 58,90 m s.l.m.;

CPT 4, 62,00 m s.l.m., lunghezza max 7,8 m, falda -1,20 da p.c., = 60,80 m s.l.m.

I cinque punti di osservazione della falda (22.07.2025), ubicati come da **Allegato 1**, indicano la soggiacenza minima dell'acquifero superficiale alla sua massima escursione nel semestre irriguo; è probabile che nei mesi invernali la falda si abbasserà di 1-1,50 m.

Il gradiente idraulico della falda, il 22.07.2025, ha due distinti valori:

-tra Sezione 4 (sondaggio e CPT1) e Sezione 10 (CPT2) il gradiente idraulico $i = 2,5\%$,

-tra Sezione 10 (CPT2) e il Manufatto di attraversamento stradale (CPT3 e CPT4) il gradiente idraulico $i = 1\%$. Questi valori si dovrebbero mantenere anche in periodo invernale ipotizzando l'abbassamento omogeneo del pelo libero dell'acquifero di 1,50 m.

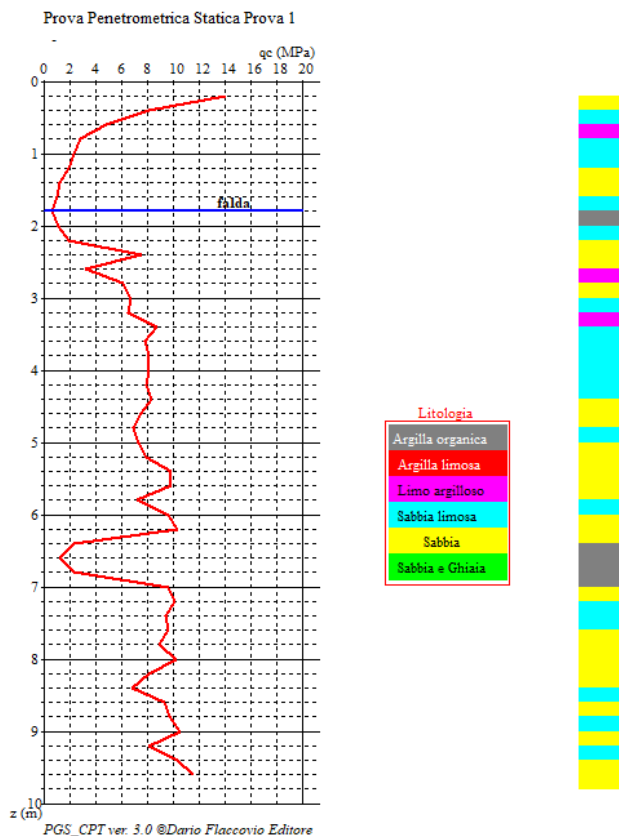
Ai fini di progetto, qualora gli sbancamenti fossero eseguiti nel semestre estivo, tutti gli scavi sarebbero sottofalda ed abbisognerebbero di intervento generalizzato di drenaggio con well-point.

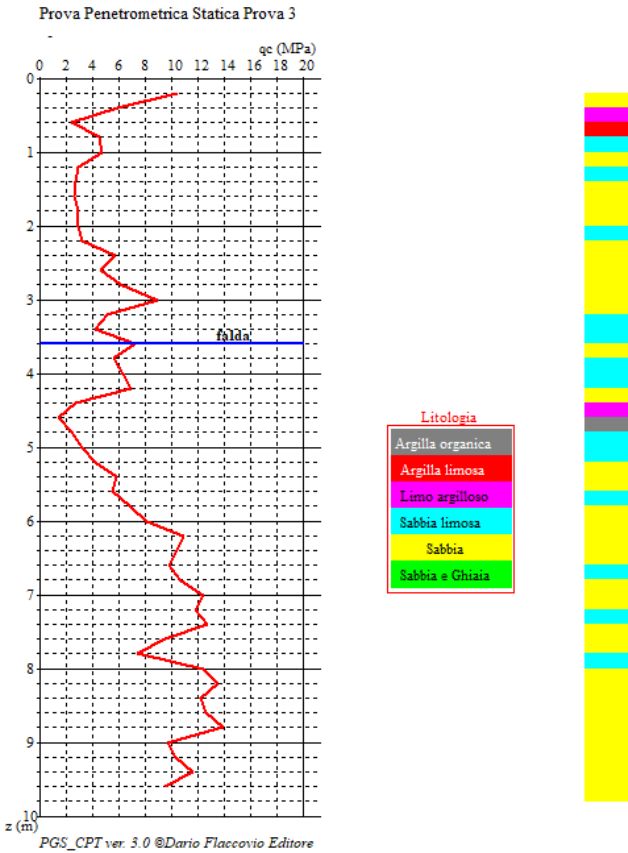
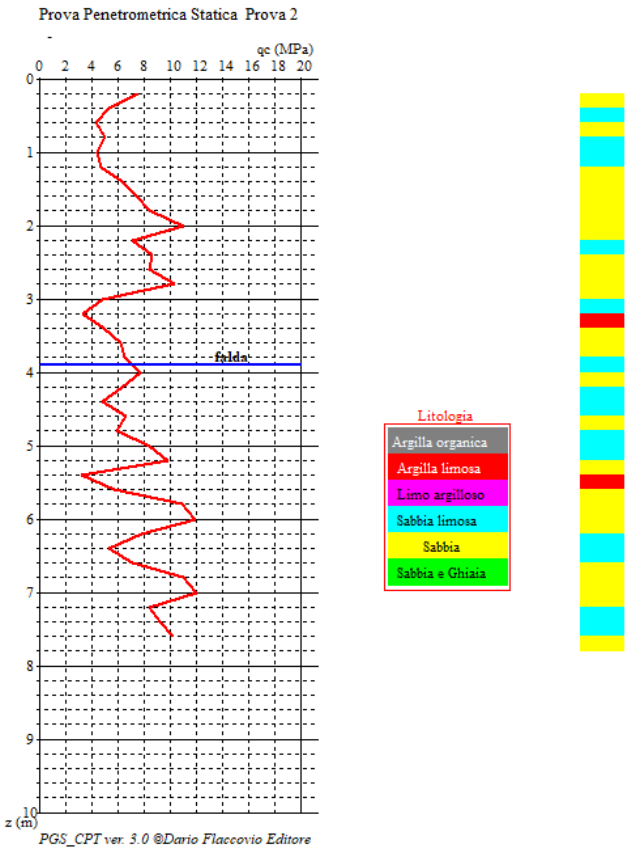
In stagione invernale (gennaio-febbraio) l'acqua sarebbe forse da drenare tra il manufatto di presa e l'intorno di Sezione 6-7 mentre alle progressive successive la falda non dovrebbe essere raggiunta dagli scavi.

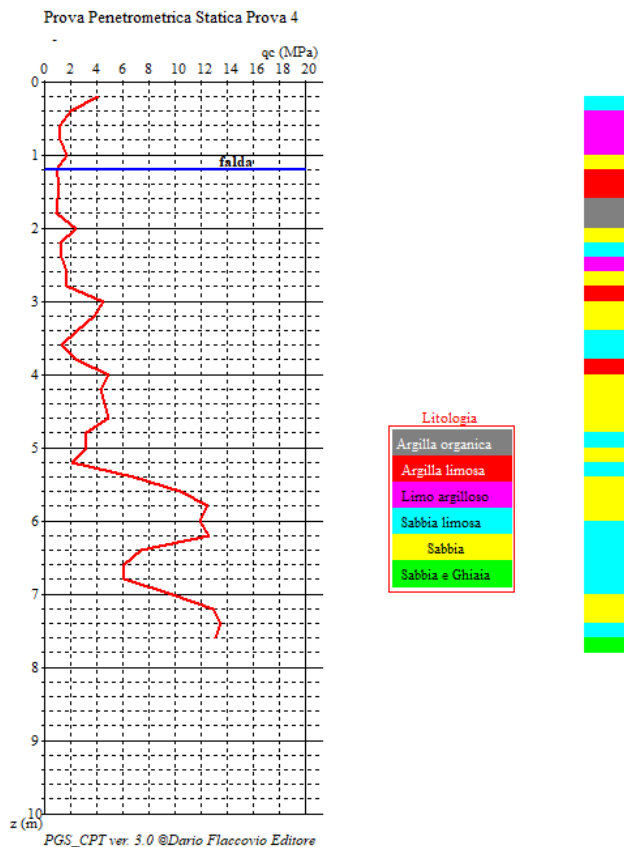
Il dislivello tra la prima e l'ultima prova è 8,60 m; CPT 4 è riferibile alle alluvioni recenti e terrazzate della valle del Lambro le rimanenti prove al Livello fondamentale della pianura. CPT3 è probabilmente in corrispondenza di un terreno sbancato in tempi recenti.

Tutte le prove presentano un livello addensato in superficie, riferibile alle lavorazioni agricole e al suolo arabile, di 0,40-0,60 m.

Qui di seguito si riporta l'elaborazione delle prove con indicazione della litologia indicativa e il diagramma della resistenza di punta (q_c).







Dall'analisi delle prove si evince l'ubiquitaria presenza di terreno agrario di 0,40-0,60 m di potenza, poi dominano sabbie con lenti più o meno limose in genere ben addensate. In tutte le prove l'addensamento aumenta gradualmente e a circa 7 m da p.c. le sabbie si fanno di grana più grossa con ghiaietto.

In **Allegato 3 "Sezione geologico-tecnica schematica"** sono indicate le quattro verticali di prova con il rispettivo livello di falda (22 luglio 2025); si aggiunge in Allegato 3 la posizione, presunta, della falda in periodo invernale: l'escursione stagionale così stimata è 1,50 m. Come già qui sopra scritto si sconsiglia di aprire scavi se non nei mesi invernali evitando, in assenza di piogge, interferenze con la falda.

Tra CPT3 e 4, tra il valico della strada comunale ed il termine del manufatto di progetto, si nota un debole innalzamento dell'acquifero dovuto ad un livello semipermeabile che tiene la falda a -1,20 m da p.c.

All'estremo opposto, tra CPT1 e il manufatto di presa, in stagione invernale, potrebbe risentirsi l'effetto drenante del Colatore Sillaretto a deviare, debolmente, il flusso idrico verso nord.

7. AZIONE SISMICA: ANALISI PROVE INDIRETTE (MASW e HVSR)

Lo scenario di pericolosità sismica locale è Z4a: zona di fondovalle con depositi alluvionali granulari e coesivi. Possibili effetti di amplificazioni litologiche e geometriche.

Si considerano il MASW e l'HVSR eseguiti in corrispondenza del sondaggio con escavatore meccanico e della CPT1 il 22.07.205.

La prova MASW è stata eseguita per rilevare la velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo mentre con HVSR si definiscono le frequenze proprie del terreno.



Figura 8 – Lineamento MASW.

Definizione dell'accelerazione orizzontale propria del sito (A_g):

Applicando le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 18), per definire principalmente l'accelerazione orizzontale propria del sito, si introduce un sisma di progetto, considerando punti di ancoraggio (nodi) di una rete di 4 km di lato. Sono introdotti gli Stati limite sismici probabilistici e l'intensità della componente orizzontale del sisma è trattata come campo aleatorio (in ogni punto del territorio il sisma è rappresentato da una variabile aleatoria).

Qui di seguito sono definiti i parametri da inserire nella NUOVA VERSIONE SPETTRI DI RISPOSTA VER.1.03 del programma sperimentale che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto fornito dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti per la verifica geotecnica in aree sismiche e secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Il D.M. 17.01.18 classifica la struttura e il sito in esame come:

- categoria topografica T1 (orizzontale);

- edificio con vita nominale della struttura $V_n = 50$ anni;
- classe d'uso (classe di importanza secondo EC8): I;
- coefficiente d'uso $C_u = 0.7$;
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_r = V_n \times C_u = 50 \times 0.7 = 35$ (anni);
- coordinate geografiche del sito (fig. 6): (WGS84 GD) 45.233745 N, 9.453333 E.

Qui di seguito sono trascritti i dati utili per i calcoli relativi all'ipotesi di fondazione (Tabella 1).

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,026	2,518	0,194
SLD	35	0,028	2,529	0,200
SLV	332	0,065	2,557	0,277
SLC	682	0,085	2,543	0,288

Tabella 1

Dove si ha che:

A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c : periodo di inizio tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

SLO: stato limite di operatività;

SLD: stato limite di danno;

SLV: stato limite di salvaguardia della vita;

SLC: stato limite di prevenzione del collasso.

Stima delle V_{s_eq} e degli effetti litologici:

Si considera la misura eseguita con tecnica HVSR del 23.04 c.a. eseguita nell'area in esame.

Il rapporto geofisico completo è riportato in Allegato 4.

La prova sismica, rileva la velocità delle onde di taglio (onde S) nel sottosuolo. Successivamente si è proceduto all'elaborazione dei dati con la finalità di ricostruire il periodo di vibrazione del sito ed il fattore di amplificazione sismica ai sensi della L.R. 12/2005.

HVSR sono un metodo sismico che permette di ricavare, da misure in situ, profili di velocità delle onde trasversali (onde S). La norma sismica in vigore chiede la determinazione del sottosuolo sismico del sito mediante la determinazione di V_{s_eq} ($V_{s30}=30/\sum_{i=1, N} 1/V_i$: velocità equivalente delle onde S nei primi 30 metri di profondità).

L'approfondimento geofisico è finalizzato all'analisi del rischio sismico, misura le velocità nel sottosuolo delle onde di taglio (V_s). Successivamente alla rilevazione di campagna si è proceduto all'elaborazione dei dati con ricostruzione del periodo naturale di oscillazione del sito in discussione e del fattore di amplificazione sismica locale (F_a), utilizzando i metodi indicati da Regione Lombardia e dal D.M. 17.01.18.

L'elaborazione dei risultati persegue la finalità di ricostruire il periodo naturale del sito indagato e determina il fattore di amplificazione sismica locale (F_a), come indicato dai criteri attuativi geologici, idrogeologici e sismici approvati con la L.R. 12/2005 (e successive modifiche).

Le velocità e le profondità dei singoli strati (profondità in m e velocità in m/s) sono compendiate nella seguente Figura 9.

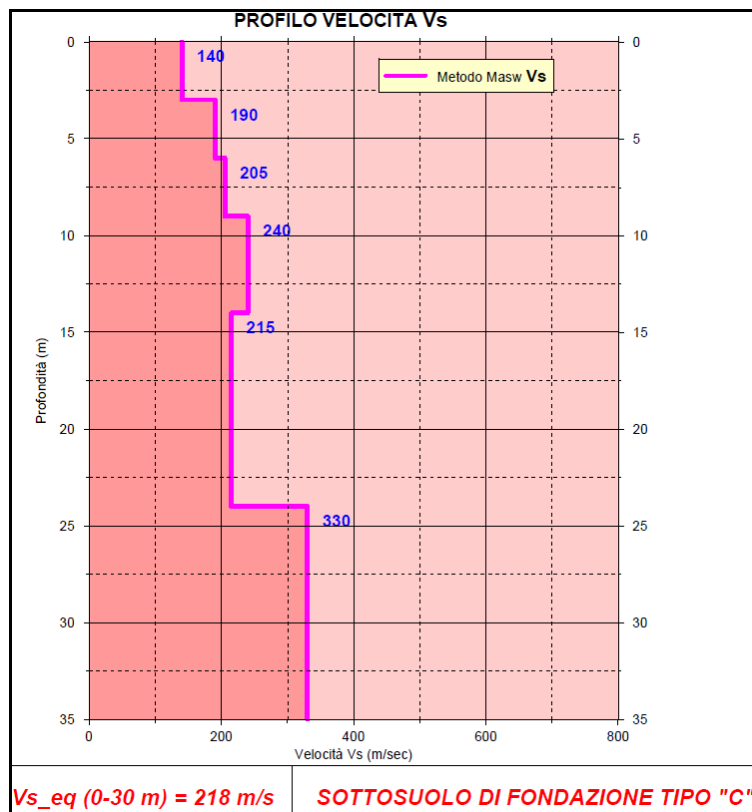
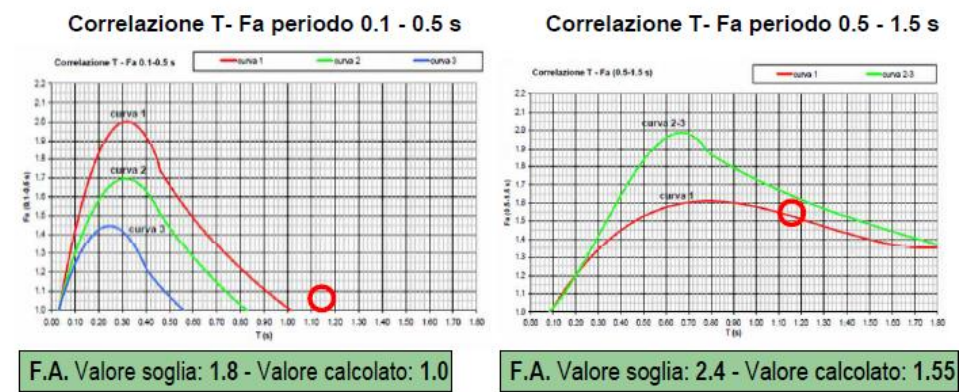
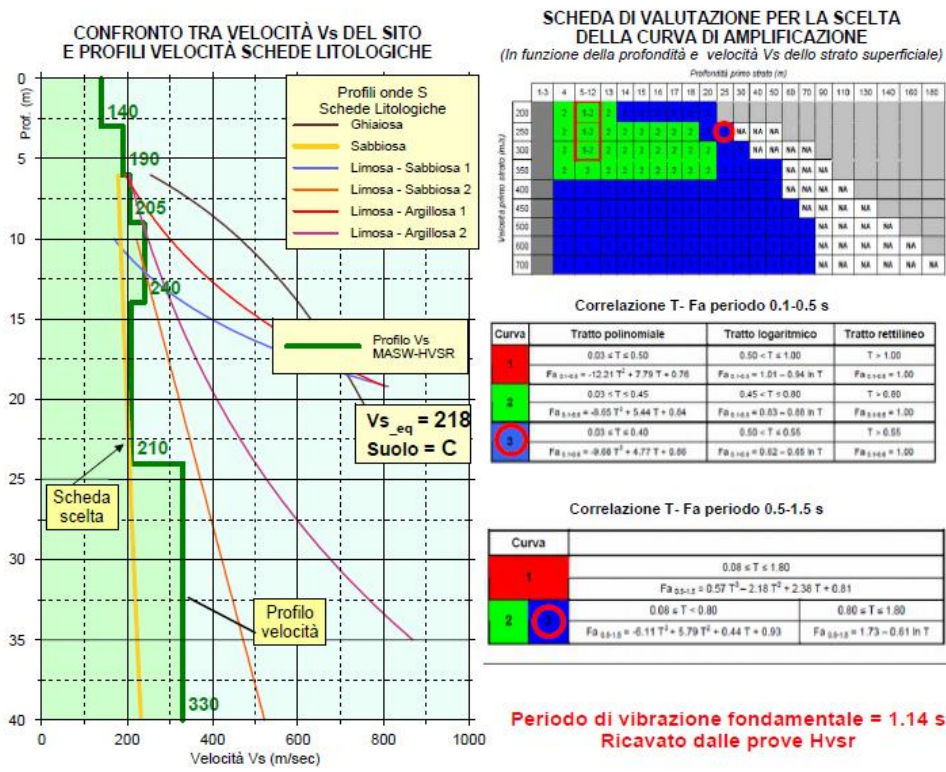


Figura 9 – Modello geofisico - V_s .

I valori soglia indicati da Regione Lombardia per il territorio di Cremona, per **Suoli sismici C**, sono 1.8 e 2.4, rispettivamente per edifici con periodo inferiore a 0.5 s (bassi e rigidi) e superiore a 0.5 s (edifici alti ed elastici).

In Tabella 1, sono sintetizzati i valori di V_s , il suolo sismico, il periodo proprio del sito (T_p) calcolato dalle V_s ed i valori del Fattore di amplificazione sismica locale (F_a) per le due tipologie di edifici con periodo: $0.1 < T \leq 0.5$ s e $T > 0.5$ s.

SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA



Nell'ultima riga di Tabella 1 sono riportati i valori soglia di riferimento di Regione Lombardia.

Linea	V_{s_eq}	Suolo sismico	Periodo (T_p)	Fa ($T=0.1-0.5$ s)	Fa ($T>0.5$ s)
MASW	218	C	1.14	1.0	1.55
Fa di riferimento Regione Lombardia – Comune di Villanova del Sillaro				1.8	2.4

Tabella 1 – V_s , Suolo sismico, T_p e F_a

Il risultato dell'analisi simica è che i valori di F_a calcolati sono inferiori a quelli forniti dalla Regione, sia per edifici con periodo tra 0.1 e 0.5 s sia per quelli con periodo superiore. Pertanto nell'area indagata si adotteranno, per tutte le tipologie di edificio, gli spettri di norma relativi al **Suolo sismico C**.

RELAZIONE GEOTECNICA

(R2 ex D.M. 17/01/18)

Sulla base delle indagini eseguite ed analizzate nella Relazione Geologica si definisce il modello geotecnico da utilizzare per la verifica delle tipologie di fondazione.

8. MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Il contesto del sito in esame si colloca entro il Livello Fondamentale della Pianura (Fluviale Wurm), in destra idrografica della valle del Lambro. I terreni sono prevalentemente sabbiosi o sabbioso limosi tipici della bassa pianura sabbiosa.

La falda è, il 22.07.2025, a 1.8 m da p.c., alla Sezione 4 di progetto con abbassamento, stimato di 1.50 m in inverno; la falda superficiale ha direzione di flusso NNE-SSW, influenzata fortemente dall'azione drenante del fiume Lambro.

Il **modello geotecnico di riferimento**, dell'area indagata, considerando il contesto geologico locale, è compendiato come qui segue:

Litozona A: al di sotto della copertura agraria (0.40-0.60 m), si hanno depositi sabbiosi fini o limosi scarsamente addensati fino a 2.00/3.00, $\phi = 26^\circ-30^\circ$; $\gamma = 16-17 \text{ KN/m}^3$;

Litozona B: dal letto della litozona A fino a -9.60 m da p.c., alternanza di sabbia media, addensata soprattutto verso la base, con ghiaietto e livelli limosi decimetrici, ϕ da 31° a 33° ; $\gamma = 18-19 \text{ KN/m}^3$.

Sulla scorta dei dati geognostici e di quelli geofisici si definisce, nella seguente Tabella 2, il **modello geotecnico di riferimento**, con evidenziate le litozone, i relativi angoli di attrito interno, la velocità V_s e il suolo sismico:

Profondità (m)	Litozona	$\Delta \phi$	V_s media(m/s)	Suolo sismico
0.00-2.80/6.00	A	$26^\circ-30^\circ$	218	C
2.80/6.00-11.20	B	$31^\circ-33^\circ$		

Tabella 2 - Modello geotecnico di riferimento.

9. IPOTESI DI FONDAZIONE

Qui di seguito sono trattate, in prima approssimazione, le seguenti ipotesi di fondazione che prevedono la sostituzione del terreno naturale con la tubazione in cls dello Scaricatore di progetto, che trasporterà l'acqua dal Sillaretto al Lambro. Si ottiene quindi l'effetto di alleggerire il peso gravante sulla fondazione di progetto. Ciò avviene anche per i manufatti.

Le fondazioni sono distinte nei seguenti tre casi:

1) SEZIONE 1 PROFILO: platea, base $B = 2,50$ m e altezza $H = 0,20$ m a reggere la tubazione circolare di diametro interno 2,00 m esterno 2,50 m, interrata a quote variabili da -3,86 m da p.c. in Sezione 1 ed a -6,31 m da p.c. in Sezione 7;

2) MANUFATTO SALTO – in prossimità di rogge Barbavara e Frata: platea lunghezza 4.00 m larghezza 3.60 m, posa -5.53 m;

3) MANUFATTO SCARICO: platea larghezza 3,60 m, lunghezza 9.30 m. posa -1.50 m.

Si discute, con il metodo degli stati limite. I calcoli relativi all'ipotesi di fondazione sono riferiti a una edificazione in condizione "normale", che non necessita di alcun rinforzo di carattere strutturale, ma che si riferisce solamente alla portanza del terreno.

Affinché una fondazione sia verificata, nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo Stato Limite Ultimo (SLU), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza: $E_d \leq R_d$, dove E_d è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa, mentre R_d (o Q_{amm}) è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali e dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici. Il carico di progetto (SLU), fornito dal progettista strutturale, rappresenta il carico reale della costruzione e deve essere minore del carico limite della fondazione.

Nella formula generale per il calcolo del carico limite, riportata nel riquadro seguente, sono indicati 3 fattori sismici (Z_γ , Z_c , Z_q), dipendenti dalla zona sismica, con relativo livello di pericolosità e dal tipo di terreno di fondazione, ricavati dalla valutazione dell'azione sismica.

Definizione statistica del valore di progetto dell'angolo di attrito ϕ per gli strati di fondazione.

Valore caratteristico e di progetto per fondazione superficiale di ϕ :

5° percentile distribuzione del campione

Per grandi volumi di rottura e distribuzione normale (Φ)

(Ciò avviene in genere nelle fondazioni superficiali, specie quando B è grande)

Parametro Φ			
dati	media dati	X_k	
26	27.67	27.1	Valore caratteristico
27	COV Φ %	X_d	
30	2	22.3	Valore di progetto
	n° dati		
	3		

Formula di riferimento: $x_k = \bar{x} - 1.645 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$

COV: coefficiente di variazione

L'analisi statistica dei dati consiglia di assumere quale riferimento dell'angolo di attrito $\phi = \underline{\underline{22.3^\circ}}$ (valore progetto); questa scelta è dovuta alla variabilità dei terreni e alle caratteristiche geotecniche poco favorevoli della litozona A.

Determinazione del carico verticale di progetto (E_d) che sarà applicato sulla fondazione da verificare: si applica il coefficiente moltiplicativo γ_f ai carichi applicati pari all'unità:

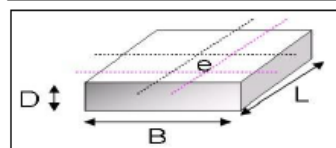
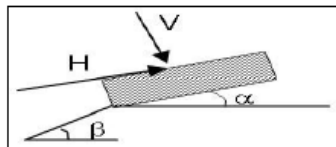
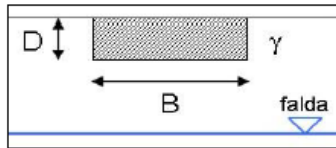
$$E_d = 1.00 \text{ Kg/cm}^2 \times \gamma_f = 1.00 \text{ Kg/cm}^2 \times 1.3 = \mathbf{1.30 \text{ Kg/cm}^2} \text{ (da verificare in fase esecutiva).}$$

Calcolo della capacità portante delle fondazioni.

CASO 1 - platea 2.54 m x 10 m, a – 3.86 m da p.c.**DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE NEL CASO DI TERRENI GRANULARI**
(Generalizzazione di Brinch-Hansen, EC8)

Formula generale:

$$Q_{lim} = 1/2 \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma z_\gamma + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q$$



FORMULE INDICATIVE:

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \cdot e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot g \phi$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \cdot \tan \phi$$

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$s_q = s_\gamma$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot g \phi} \right]^{(m+1)}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot g \phi} \right]^m$$

$$i_c = i_\gamma - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$\text{Se } D \leq B \Rightarrow d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2$$

$$\text{Se } D > B \Rightarrow d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right)$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi}$$

$$z_\gamma = z_q = (1 - k_h / \tan \phi)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32 k_h$$

$$k_h = (S \times \partial \sigma) / t$$

Dati d'ingresso

Terreno di fondazione		
Coesione (c')	0	kPa
Angolo di attrito di progetto (φ')	22,0	°
Peso di volume terreno di fondazione (γ ₁)	17,0	kN/m ³
Peso di volume terreno sopra fondazione (γ ₂)	17,0	kN/m ³
Inclinazione piano campagna	0	°
Fondazione		
Larghezza (B)	2,50	m
Lunghezza (L)	10,00	m
Profondità piano di posa (D)	3,86	m
Eccentricità dei carichi (e)	0,0	m
Inclinazione piano di posa	0	°
Carichi inclinati		
Componente orizzontale (H)	0	t
Componente verticale (N) (da verificare)	1,30	Kg/cm ²
Fattori sismici (EC8)		
Coeff. di suolo (A=1; B,C,E=1,25; D=1,35)	1,25	
Accelerazione di progetto	0,065	g

Fattori capacità portante

N _γ	7,13
N _c	16,88
N _q	7,82

Fattori forma della fondazione

s _γ	1,05
s _c	1,11
s _q	1,05

Fattori inclinazione del carico

i _γ	1,00
i _c	1,00
i _q	1,00

Fattori inclinazione piano di posa

b _γ	1,00
b _c	1,00
b _q	1,00

Fattori inclinazione piano campagna

g _γ	1,00
g _c	1,00
g _q	1,00

Fattori profondità piano di posa

d _c	1,36
d _q	1,31

Fattori sismici (EC8)

z _γ	0,92
z _c	0,97
z _q	0,92

Risultato

Pressione limite (Q _{lim})	805,8 kPa	8,058 kg/cm ²
Coefficiente di sicurezza parziale (γ _r)	2,3	
Pressione ammissibile (Q _{amm})	387,4 kPa	3,874 kg/cm ²
Q _{amm} = [(Q _{lim} - Q ₀) / F _s] + Q ₀		

Dove γ_r rappresenta il coefficiente di sicurezza parziale per la verifica agli stati limite ultimi della capacità portante di fondazioni superficiali. **NON SI APPLICA AL PESO DEL TERRENO SOPRA IL PIANO DI FONDAZIONE**

Il carico ammissibile (pressione ammissibile) è **Q_{amm} = 3.87 Kg/cm²**.

Verifica agli stati limiti ultimi: E_d < R_d

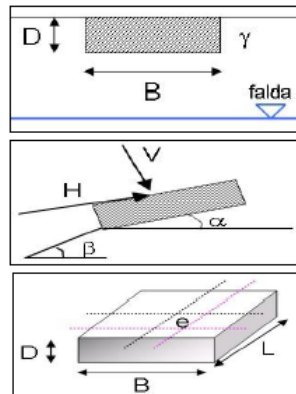
Dove E_d (componente delle risultanti delle forze agenti sulla fondazione) = 3.87 Kg/cm²; R_d (valore di progetto della resistenza del terreno)

→ E_d (1.30 Kg/cm²) < R_d (3.87 Kg/cm²) VERIFICATA.

CASO 2 - platea 3.60 m x 4.00 m, a – 5.53 m da p.c.**DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE NEL CASO DI TERRENI GRANULARI**
(Generalizzazione di Brinch-Hansen, EC8)

Formula generale:

$$Q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} z_{\gamma} + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q$$



FORMULE INDICATIVE:

$$N_{\gamma} = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \cdot c' \cdot \tan \phi$$

$$N_c = (N_{\gamma} - 1) \cdot \cot g \phi$$

$$N_q = 2(N_{\gamma} + 1) \cdot \tan \phi$$

$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$s_q = s_{\gamma}$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$i_{\gamma} = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot g \phi} \right]^{(n+1)}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c' \cdot \cot g \phi} \right]^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_{\gamma} \cdot \tan \phi}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$\text{Se } D \leq B \Rightarrow d_{\gamma} = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2$$

$$\text{Se } D > B \Rightarrow d_{\gamma} = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right)$$

$$d_c = d_{\gamma} - \frac{1 - d_{\gamma}}{N_{\gamma} \cdot \tan \phi}$$

$$z_{\gamma} = z_q = (1 - k_h / \tan \phi)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32 k_h$$

$$k_h = (S \times a_c) / r$$

Dati d'ingresso	
Terreno di fondazione	
Coesione (c')	0 kPa
Angolo di attrito di progetto (φ)	22,0 °
Peso di volume terreno di fondazione (γ _t)	17,0 kN/m ³
Peso di volume terreno sopra fondazione (γ ₂)	17,0 kN/m ³
Inclinazione piano campagna	0 °
Fondazione	
Larghezza (B)	3,60 m
Lunghezza (L)	4,00 m
Profondità piano di posa (D)	5,53 m
Eccentricità dei carichi (e)	0,0 m
Inclinazione piano di posa	0 °
Carichi inclinati	
Componente orizzontale (H)	0 t
Componente verticale (N) (da verificare)	1,30 Kg/cm ²
Fattori sismici (EC8)	
Coeff. di suolo (A=1; B,C,E=1,25; D=1,35)	1,25
Accelerazione di progetto	0,085 g

Fattori capacità portante	
N _γ	7,13
N _c	16,88
N _q	7,82
Fattori forma della fondazione	
s _γ	1,20
s _c	1,40
s _q	1,20
Fattori inclinazione del carico	
i _γ	1,00
i _c	1,00
i _q	1,00
Fattori inclinazione piano di posa	
b _γ	1,00
b _c	1,00
b _q	1,00
Fattori inclinazione piano campagna	
g _γ	1,00
g _c	1,00
g _q	1,00
Fattori profondità piano di posa	
d _c	1,36
d _q	1,31
Fattori sismici (EC8)	
z _γ	0,92
z _c	0,97
z _q	0,92

Risultato	
Pressione limite (Q _{lim})	1311,4 kPa
Coefficiente di sicurezza parziale (γ _r)	2,3
Pressione ammissibile (Q _{amm})	623,3 kPa
Q _{amm} = [(Q _{lim} - Q ₀) / F _s] + Q ₀	

Dove γ_r rappresenta il coefficiente di sicurezza parziale per la verifica agli stati limite ultimi della capacità portante di fondazioni superficiali. **NON SI APPLICA AL PESO DEL TERRENO SOPRA IL PIANO DI FONDAZIONE**

Il carico ammissibile (pressione ammissibile) è **Q_{amm} = 6.23 Kg/cm²**.

Verifica agli stati limite ultimi: E_d < R_d

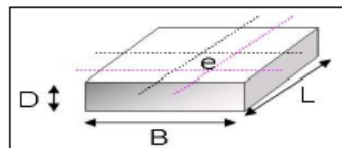
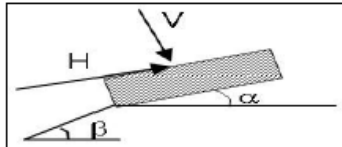
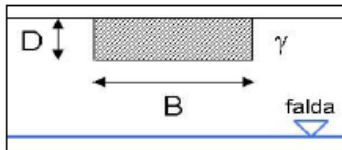
Dove E_d (componente delle risultanti delle forze agenti sulla fondazione) = 1.30 Kg/cm²; R_d (valore di progetto della resistenza del terreno)

→ E_d (1.30 Kg/cm²) < R_d (6.23 Kg/cm²) VERIFICATA.

CASO 3 - platea 3.60 m x 9.30 m, a – 1.50 m da p.c.**DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE NEL CASO DI TERRENI GRANULARI**
(Generalizzazione di Brinch-Hansen, EC8)

Formula generale:

$$Q_{lim} = 1/2 \gamma B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} z_{\gamma} + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q$$



FORMULE INDICATIVE:

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \cdot e^{\gamma \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$$

$$N_{\gamma} = 2(N_q + 1) \cdot \tan \phi$$

$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$s_q = s_{\gamma}$$

$$s_c = 1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$i_{\gamma} = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi} \right]^{(n+1)}$$

$$i_q = \left[1 - \frac{H}{N + B \cdot L \cdot c \cdot \cot \phi} \right]^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$$

$$\text{Se } D \leq B \Rightarrow d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2$$

$$\text{Se } D > B \Rightarrow d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right)$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \cdot \tan \phi}$$

$$x_{\gamma} = x_q = (1 - k_h / t g \phi)^{0.35}$$

$$x_c = 1 - 0.32 k_h$$

$$k_h = (S \cdot a_{\phi}) / t$$

Dati d'ingresso

Terreno di fondazione		
Coesione (c')	0	kPa
Angolo di attrito di progetto (φ')	22,0	°
Peso di volume terreno di fondazione (γ _f)	17,0	kN/m ³
Peso di volume terreno sopra fondazione (γ _s)	17,0	kN/m ³
Inclinazione piano campagna	0	°
Fondazione		
Larghezza (B)	3,60	m
Lunghezza (L)	9,30	m
Profondità piano di posa (D)	1,50	m
Eccentricità dei carichi (e)	0,0	m
Inclinazione piano di posa	0	°
Carichi inclinati		
Componente orizzontale (H)	0	t
Componente verticale (N) (da verificare)	1,30	Kg/cm ²
Fattori sismici (EC8)		
Coeff. di suolo (A=1; B,C,E=1,25; D=1,35)	1,25	
Accelerazione di progetto	0,065	g

Fattori capacità portante

N _γ	7,13
N _c	16,88
N _q	7,82

Fattori forma della fondazione

s _γ	1,09
s _c	1,17
s _q	1,09

Fattori inclinazione del carico

i _γ	1,00
i _c	1,00
i _q	1,00

Fattori inclinazione piano di posa

b _γ	1,00
b _c	1,00
b _q	1,00

Fattori inclinazione piano campagna

g _γ	1,00
g _c	1,00
g _q	1,00

Fattori profondità piano di posa

d _c	1,15
d _q	1,13

Fattori sismici (EC8)

z _γ	0,92
z _c	0,97
z _q	0,92

Risultato

Pressione limite (Q _{lim})	445,2 kPa	4,452 kg/cm ²
Coefficiente di sicurezza parziale (γ _r)	2,3	
Pressione ammissibile (Q _{amm})	208,0 kPa	2,080 kg/cm ²
Q _{amm} = [(Q _{lim} - Q ₀) / γ _r] + Q ₀		

Dove γ_r rappresenta il coefficiente di sicurezza parziale per la verifica agli stati limite ultimi della capacità portante di fondazioni superficiali. **NON SI APPLICA AL PESO DEL TERRENO SOPRA IL PIANO DI FONDAZIONE**

Il carico ammissibile (pressione ammissibile) è **Q_{amm} = 2.08 Kg/cm²**.

Verifica agli stati limiti ultimi: E_d < R_d

Dove E_d (componente delle risultanti delle forze agenti sulla fondazione) = 1.30 Kg/cm²; R_d (valore di progetto della resistenza del terreno)

→ E_d (1.30 Kg/cm²) < R_d (2.08 Kg/cm²) VERIFICATA.

Stima dei cedimenti

Il calcolo, qui di seguito riportato, è relativo alle verticali di prova con condizioni geotecniche peggiori per lo strato di fondazione dell'edificio di progetto ed ha valore indicativo.

Il fattore $\Delta\sigma$ è il prodotto del carico ammissibile Q_a per un coefficiente di riduzione K che è in funzione della larghezza minima della fondazione e del baricentro dello strato considerato e si ricava dall'abaco di Fadum¹; α è il coefficiente correttivo in funzione della litologia dello strato considerato²; M_v è il coefficiente di compressibilità volumetrica.

La profondità, sotto il piano di posa della fondazione, da considerare nel calcolo della portanza del terreno e nel conseguente calcolo dei cedimenti, deriva dagli strati interessati dallo spessore d'influenza. Il cedimento è calcolato sulla verticale di prova più significativa per la tipologia di fondazione trattata.

CASO 1 - platea 2.54 m x 10 m, piano posa a – 3.86 m da p.c. ($Q_{Ed-SLE} = 1.30 \text{ Kg/cm}^2$), prova considerata CPT1

Strato (m)		h (m)	R_{pm} (Kg/cm ²)	α	M_v (Kg/cm ²) ⁻¹	$\Delta\sigma$ (Kg/cm ²)	Δh_c (cm)
1,0	3,5	4,5	77	1,40	0,0093	0,65	2,71
Cedimenti trascurabili per profondità maggiori.					Cedimento totale (cm): 2.71		

CASO 2 - platea 3.60 m x 4.00 m, a – 5.53 m da p.c. ($Q_{Ed-SLE} = 1.30 \text{ Kg/cm}^2$), prova considerata CPT2

Strato (m)		h (m)	R_{pm} (Kg/cm ²)	α	M_v (Kg/cm ²) ⁻¹	$\Delta\sigma$ (Kg/cm ²)	Δh_c (cm)
5,5	7,3	1,8	67	1,45	0,0103	0,39	0,72
Cedimenti trascurabili per profondità maggiori.					Cedimento totale (cm): 0.72		

CASO 3 - platea 3.60 m x 9.30 m, a – 1.50 m da p.c. ($Q_{Ed-SLE} = 1.30 \text{ Kg/cm}^2$), prova considerata CPT4

Strato (m)		h (m)	R_{pm} (Kg/cm ²)	α	M_v (Kg/cm ²) ⁻¹	$\Delta\sigma$ (Kg/cm ²)	Δh_c (cm)
1,5	3,3	4,8	72	1,42	0,0098	0,52	2,44
Cedimenti trascurabili per profondità maggiori.					Cedimento totale (cm): 2.44		

Considerando l'opera in esame i cedimenti sono nella tolleranza; aumentando anche di poco il carico sulle fondazioni, considerando la natura scarsamente omogenea dei depositi della litozona A, si potrebbe avere un aumento di cedimenti imprevisti.

Liquefazione: Si valuta la probabilità di liquefazione per gli strati di fondazione per la struttura in esame. Usualmente la liquefazione si verifica in terreni recenti di sabbia e sabbia siltosa, spesso vicino a fiumi e in presenza di falda (quindi saturi); sono suscettibili alla liquefazione soprattutto suoli non coesivi (sabbie e limi) con basso contenuto di fini

¹ Colleselli - Colombo "Elementi di geotecnica", Zanichelli, ed. II°, pag. 202, fig. 10.6

² Sanglerat G., "Le penetrometre et la reconnaissance des sols", Dunod, Paris, 1965.

plastici (meno del 15 %). Nel caso in esame **è possibile non eseguire la verifica alla liquefazione** in quanto l'accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) per il sito in esame è minore di 0,1 g (A_{gmax}).

10. CONCLUSIONI

Il sito in discussione è stato indagato sotto l'aspetto geologico e sismico e se ne riassume, qui di seguito, in Tabella A, il modello geologico e geotecnico:

Il contesto del sito in esame il Livello Fondamentale della Pianura (Fluviale Wurm) con terreni prevalentemente sabbiosi o sabbioso limosi.

La falda è, il 22.07.2025, a 1.8 m da p.c., alla Sezione 4 di progetto con discesa stimata di 1.50 m in inverno; la falda superficiale ha direzione di flusso NNE-SSW.

Il **modello geotecnico di riferimento**, dell'area indagata, nel contesto geologico locale, è compendiato come qui segue:

Litozona A: al di sotto della copertura agraria (0.40-0.60 m), si hanno depositi sabbiosi fini o limosi scarsamente addensati fino a 2.00/3.00, $\phi = 26^\circ$ - 30° ; $\gamma = 16$ - 17 KN/m^3 ;

Litozona B: dal letto della litozona A fino a -9.60 m da p.c., alternanza di sabbia media, addensata soprattutto verso la base con presenza di ghiaietto e di livelli limosi decimetrici, ϕ da 31° a 33° ; $\gamma = 18$ - 19 KN/m^3 .

Profondità (m)	Litozona	$\Delta \phi$	V_s media(m/s)	Suolo sismico	Profondità minima falda
0.00-2.80/6.00	A	26° - 30°	218	C	-1.80 m da p.c.
2.80/6.00-11.20	B	31° - 33°			

Tabella A - Modello geologico-geotecnico.

Il modello geologico generale, oltre a considerare profondità e spessore caratteristico delle litozone individuate, considera anche alcune proprietà geotecniche e geofisiche.

Dal punto di vista sismico per la verifica agli SLU gli strati di fondazione sono associati al suolo sismico B (depositi di sabbie o ghiaie addensate o argille molto consistenti potenti diverse decine di metri, caratterizzate da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità).

Il Comune è in Zona Sismica 3 (livello di pericolosità medio); l'analisi sismica ha evidenziato, che al terreno di fondazione è associato il **Suolo sismico C**.

Sono state considerate, in prima approssimazione, le ipotesi di fondazione superficiale a platea per valutarne la capacità portante degli strati superficiali e i relativi cedimenti complessivi. Nella seguente Tabella B si sintetizzano le caratteristiche relative alla tipologia di fondazione trattata.

Fondazione	Profondità (m)	R _d (capacità portante ultima)	Cedimento massimo
CASO 1 - platea 2.54 m x 10 m	3.86	3.87 Kg/cm ²	2.71 cm
CASO 2 - platea 3.60 m x 4.00 m	5.53	6.23 Kg/cm ²	0.72 cm
CASO 3 - platea 3.60 m x 9.30 m	1.50	2.08 Kg/cm ²	2.44 cm

Tabella B.

I carichi evidenziati sono da considerare riferiti, principalmente, all'iterazione di una determinata fondazione, contraddistinta da caratteristiche progettuali precise (geometria, piano di posa, dimensioni, ecc.) e il terreno. Non sono quindi da considerare come carichi relativi alla capacità portante dei terreni in senso stretto. Cambiando le caratteristiche progettuali di fondazione, varieranno anche i carichi evidenziati.

I carichi verificati ipotizzano che la fondazione analizzata agisca sul terreno in modo solidale; questo implica che la struttura di base sia sufficientemente rigida in modo tale che le sollecitazioni sul terreno avvengano in modo uniforme, creando compensazione per quelle zone di appoggio in cui il terreno è caratterizzato da minor addensamento e conseguente minor capacità portante.

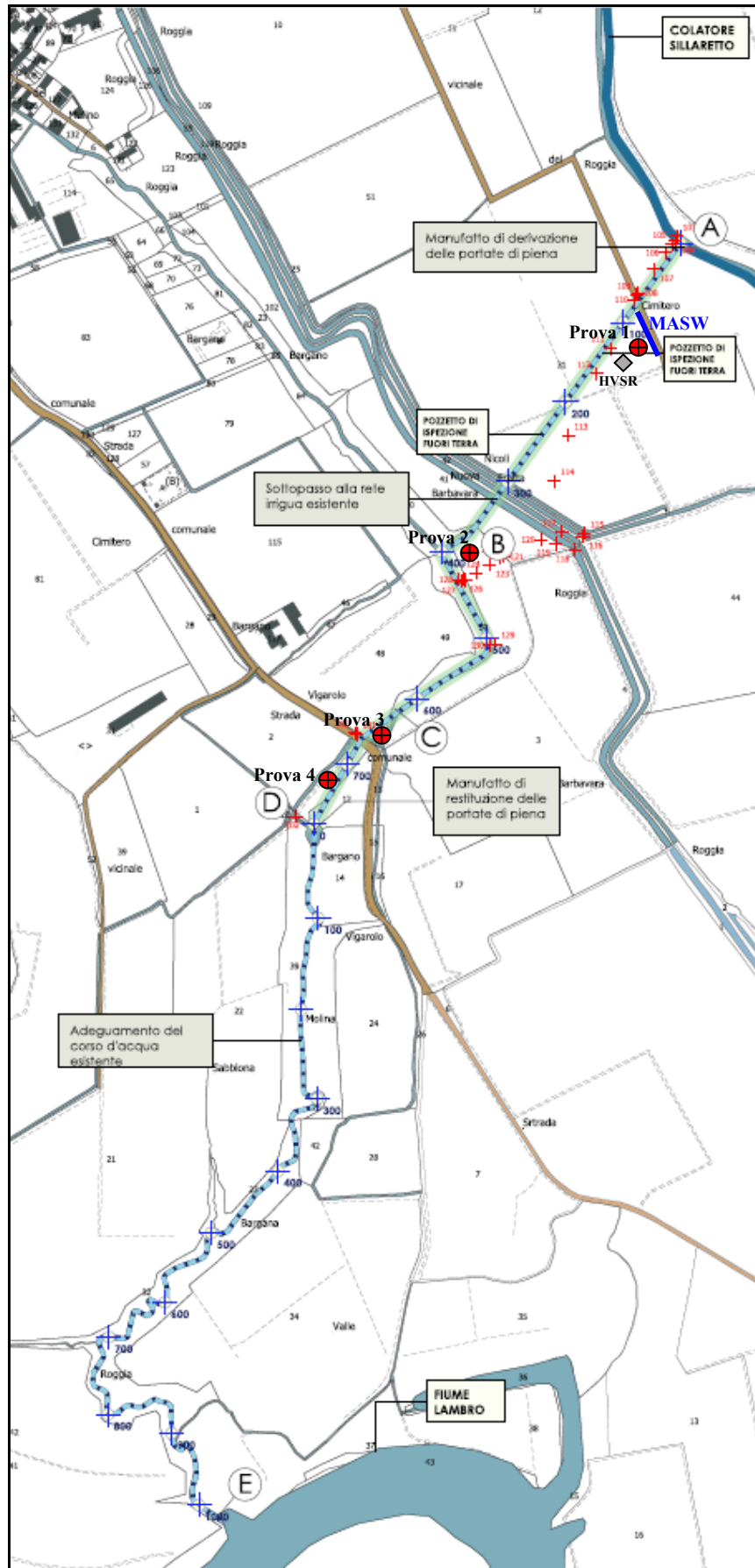
Per le opere di sbancamento e gli eventuali scavi dei condotti di drenaggio si dovrà operare in periodo invernale, quando la falda è alla sua maggior soggiacenza e la probabilità di incorrere in falde sospese è minima ed evitando rigorosamente che in prossimità degli scavi si verifichino ristagni d'acqua.

È evidente che la litozona A è caratterizzata da basso addensamento. In fase esecutiva, per tutte le tipologie di fondazione si dovrà verificare le caratteristiche dei depositi di fondazione ed eventualmente uniformare il piano di appoggio della fondazione con risanamento se necessario almeno fino a 0.50 m al di sotto del piano di fondazione con posa successiva di geotessuto non tessuto stabilizzante a contatto del terreno naturale risalendo con ghiaia-sabbiosa o magrone di calcestruzzo in subordine terreno di risulta selezionato e verificato secondo la norma vigente (gruppi A1, A2-4, A2-5, A3 norma CNR-UNI10006/63) con stesura in strati successivi da 10-20 cm, ognuno dei quali da costipare con rulli lisci o gommati fino alla quota del piano di appoggio delle fondazioni.



IL GEOLOGO
Dr Giovanni Bassi
Luglio 2025

ALLEGATO 1 – COROGRAFIA CON PROVE



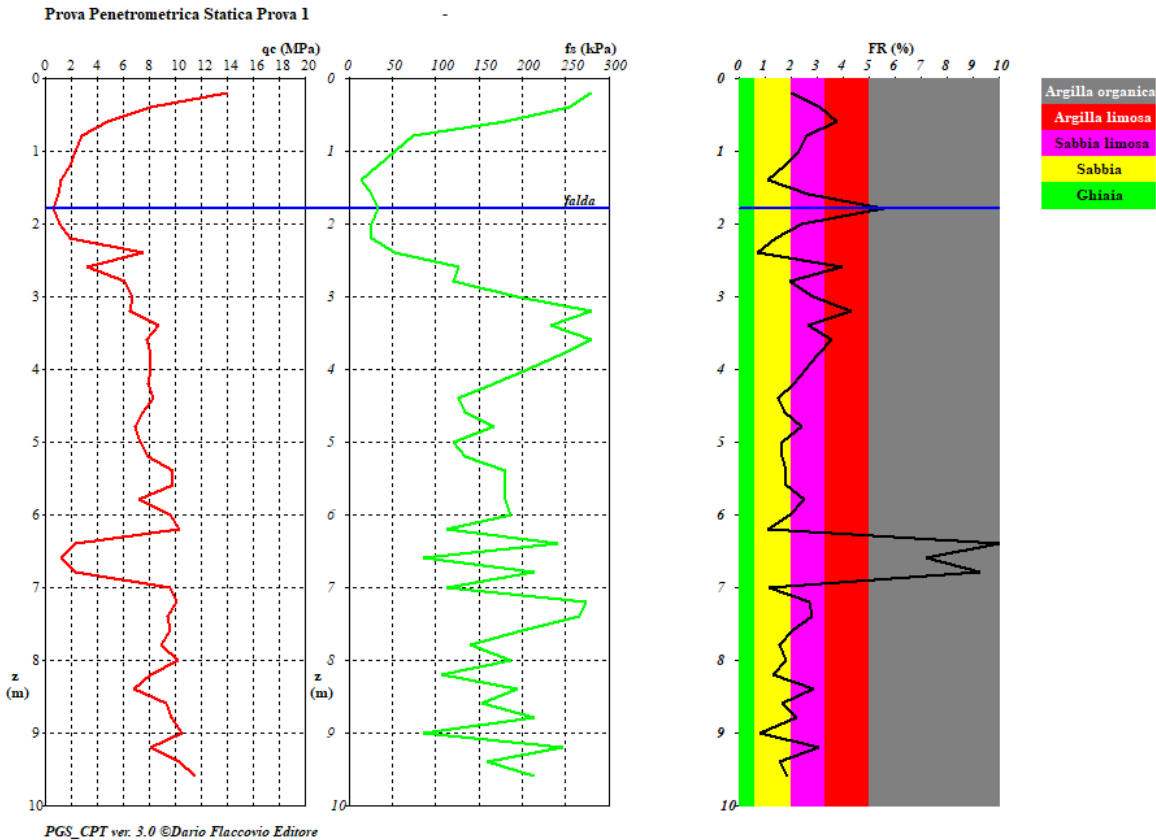
ALLEGATO 2 – ELABORATI PROVE PENETROMETRICHE**PROVA PENETROMETRICA CPT 1**

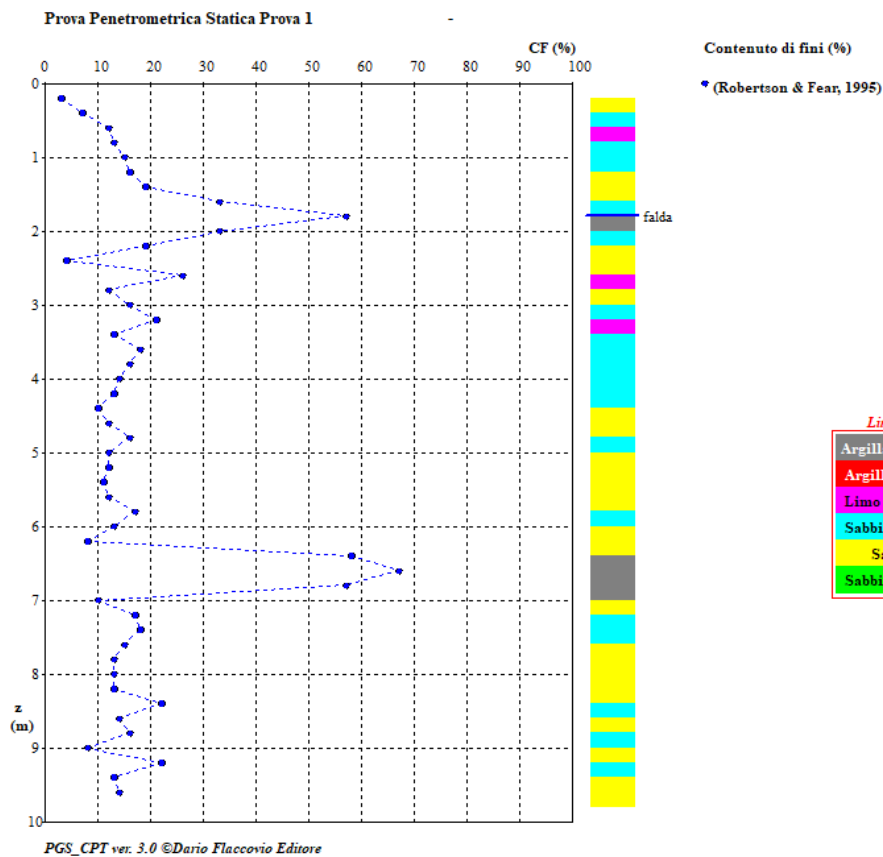
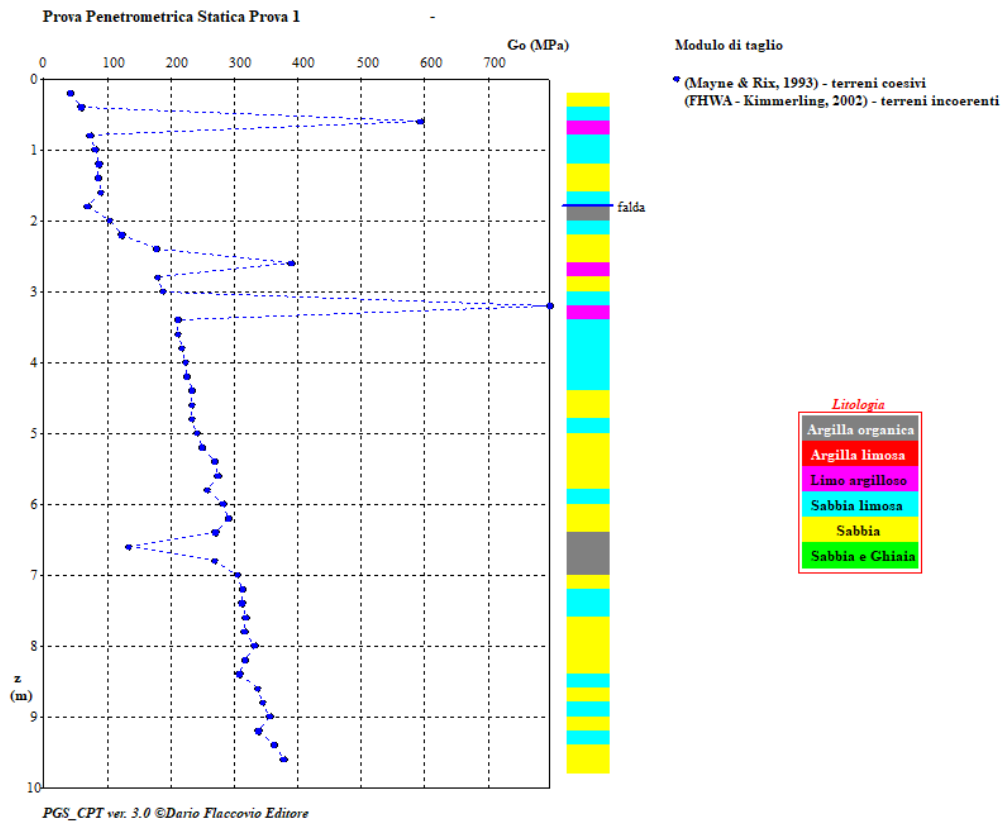
Profondità della falda = -1.80 m da p.c.

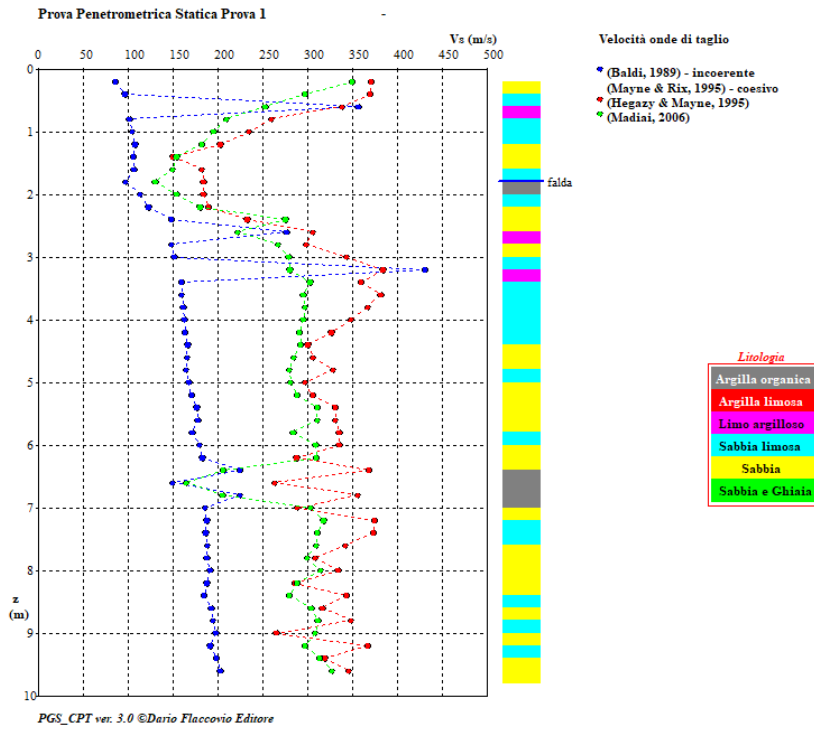
z	litologia	Qc (MPa)	fs (kPa)	gamma	Id (%)	Angolo d'attrito picco (°)	Angolo d'attrito volume costante (°)	Su (kPa)	OCR (-)	E (MPa)	M (MPa)	mu (-)	Cc (-)	Go (MPa)	Vs (m/s)
0,2	Sabbia	14	280	16,7	100	45	23		30	40,8	20,2	0,07		42	359,7
0,4	Sabbia limosa	8,1	253	17,3	92	44	25,2		22,5	23,6	19,9	0,103		59	333
0,6	Argilla limosa	4,8	180	17,3				266,1	30		39,5	0,5	0,116	593	295
0,8	Sabbia limosa	2,8	73	16,7	51	42	33,6		6,4	11,2	11,8	0,229		73	233,6
1	Sabbia limosa	2,3	53	16,6	42	40	33,8		4,3	9,2	10,3	0,232		81	214,4
1,2	Sabbia	1,9	33	16,3	34	38	33,7		2,9	7,6	9,1	0,2305		87	191,7
1,4	Sabbia	1,2	13	15,6	21	35	33,5		1,4	4,8	6,3	0,2275		86	151,6
1,6	Sabbia limosa	1	27	16,4	16	33	32,7		0,9	4	5,4	0,2155		90	165,5
1,8	Torba	0,6	33	16,7				31,5	5,6		4,6	0,5	0,14	69	156,6
2	Sabbia limosa	1,1	27	16,6	16	33	32,7		0,9	4,4	6	0,2155		104	168,3
2,2	Sabbia	1,9	27	16,6	28	36	33,3		1,6	7,6	9,5	0,2245		123	184,4
2,4	Sabbia	7,5	53	17,4	71	42	31		5,6	21,8	25,7	0,19		178	253,2
2,6	Argilla limosa	3,2	127	18,3				175,2	25,9		26	0,5	0,119	390	263,1
2,8	Sabbia	6,1	120	18,3	61	41	32		4,4	21,3	22,7	0,205		179	282
3	Sabbia limosa	6,7	193	18,9	64	41	31,5		4,6	23,4	24,1	0,1975		188	310,5
3,2	Argilla limosa	6,5	280	19,4				357,9	30		53,1	0,5	0,124	797	331,4
3,4	Sabbia limosa	8,7	233	19,2	73	42	31		5,2	25,3	29,3	0,19		212	330,6
3,6	Sabbia limosa	7,8	280	19,5	68	42	32		4,6	22,7	27,2	0,205		211	337,8
3,8	Sabbia limosa	8,1	247	19,3	68	42	32		4,6	23,6	28,2	0,205		218	331,4
4	Sabbia limosa	8,1	207	19,2	68	42	32,1		4,5	23,6	28,2	0,2065		223	321
4,2	Sabbia limosa	7,9	167	19	66	41	31,5		4,3	27,6	28	0,1975		226	308,1
4,4	Sabbia	8,3	127	18,7	67	41	31,4		4,3	24,2	28,9	0,196		234	295,6
4,6	Sabbia	7,5	133	18,8	63	41	32,2		3,9	26,2	27	0,208		233	294,5
4,8	Sabbia limosa	6,9	167	19,1	59	40	32		3,5	24,1	25,7	0,205		233	303,3
5	Sabbia	7,3	120	18,7	61	40	31,6		3,6	25,5	26,8	0,199		241	288,3
5,2	Sabbia	7,9	133	18,9	63	41	32,3		3,7	27,6	28,5	0,2095		250	296,4
5,4	Sabbia	9,8	180	19,3	71	42	31,9		4,3	28,5	33	0,2035		269	320,2
5,6	Sabbia	9,8	180	19,3	71	41	31		4,2	28,5	33	0,19		274	320,2
5,8	Sabbia limosa	7,2	180	19,3	58	40	32,3		3,2	25,2	26,9	0,2095		258	309
6	Sabbia	9,6	187	19,4	69	41	31,4		4	28	32,9	0,196		282	321,4
6,2	Sabbia	10,3	113	18,8	71	41	31,1		4,1	30	34,1	0,1915		291	298,1
6,4	Torba	2,3	240	19,7				121,4	9,9		18	0,5	0,205	270	286,6
6,6	Torba	1,2	87	18,6				60,1	4,8		8,9	0,5	0,163	134	213,4
6,8	Torba	2,3	213	19,7				121	9,5		17,9	0,5	0,19	269	279,8
7	Sabbia	9,6	113	18,9	67	41	32		3,5	28	33,4	0,205		305	295,4
7,2	Sabbia limosa	10,1	273	20	68	41	31,9		3,6	29,4	34,6	0,2035		313	345,7
7,4	Sabbia limosa	9,4	267	20	65	40	31,4		3,3	27,4	32,7	0,196		312	341,5
7,6	Sabbia	9,6	200	19,7	65	40	31,5		3,3	28	33,4	0,1975		318	325,3
7,8	Sabbia	8,9	140	19,3	62	40	32		3,1	31,1	32,1	0,205		316	303,2

8	Sabbia	10,2	187	19,6	67	40	31,2		3,4	29,7	34,9	0,193		332	323,7
8,2	Sabbia	8,1	107	19	58	39	31,8		2,7	28,3	30,2	0,202		317	286,3
8,4	Sabbia limosa	6,8	193	19,7	52	38	31,8		2,2	23,8	26,7	0,202		308	311
8,6	Sabbia	9,3	153	19,5	62	40	32,1		2,9	32,5	33,5	0,2065		337	309,6
8,8	Sabbia limosa	9,7	213	19,9	64	40	31,8		3	33,9	34,4	0,202		345	329,4
9	Sabbia	10,5	87	18,9	67	40	31,3		3,2	30,6	35,9	0,1945		356	286,2
9,2	Sabbia limosa	8,1	247	20,1	56	39	32,2		2,4	28,3	30,7	0,208		338	331,4
9,4	Sabbia	10,3	160	19,6	65	40	31,7		3	30	35,9	0,2005		363	315,6
9,6	Sabbia	11,5	213	20	69	40	31,1		3,2	33,5	38,7	0,1915		378	335,8

z = profondità (m)
Qc = resistenza alla punta (MPa)
Fs = resistenza d'attrito (kPa)
gamma = peso di volume (kN/mc)
E = modulo elastico operativo E25 (MPa)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
Id = indice di densità (%)
Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)
mu = coefficiente di Poisson (-)
M = modulo confinato (MPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)
Go = modulo di taglio (MPa)
Vs = velocità onde di taglio (m/s)
Cc = indice di compressibilità (-)







PROVA PENETROMETRICA CPT 2
 Profondità della falda = -3.90 m da p.c.

z	litologia	Qc (MPa)	fs (kPa)	gamma	ld (%)	Angolo d'attrito picco (°)	Angolo d'attrito volume costante (°)	Su (kPa)	OCR (-)	E (MPa)	M (MPa)	mu (-)	Cc (-)	Go (MPa)	Vs (m/s)
0,2	Sabbia	7,5	133	15,9	94	45	24,2		30	21,8	16,4	0,088		36	294,5
0,4	Sabbia limosa	5,3	147	16,7	85	44	26,7		17,7	15,4	16	0,1255		53	287,4
0,6	Sabbia	4,3	73	16,4	73	44	30,2		11,2	15	15,2	0,178		67	247,4
0,8	Sabbia limosa	5	120	17,2	73	44	30,8		9,7	14,5	17,4	0,187		84	275,2
1	Sabbia limosa	4,4	100	17,3	64	44	33,1		7,3	15,4	16,4	0,2215		95	262,1
1,2	Sabbia	4,7	93	17,4	63	43	32,6		6,5	16,4	17,5	0,214		109	261,1
1,4	Sabbia	6,3	120	17,8	71	44	32,2		7	18,3	21,9	0,208		131	283,1
1,6	Sabbia	7,4	113	17,9	76	44	31,5		7	21,5	24,5	0,1975		149	285,9
1,8	Sabbia	8,4	100	17,9	79	44	31,2		6,9	24,5	26,8	0,193		167	284,5
2	Sabbia	11	160	18,5	84	44	30,5		7,7	32	32,2	0,1825		191	318,1
2,2	Sabbia limosa	7,1	207	18,9	67	43	32,9		5,1	24,8	25,1	0,2185		183	316,3
2,4	Sabbia	8,6	107	18,3	74	43	31,7		5,4	25	28,4	0,2005		204	288,4
2,6	Sabbia	8,4	153	18,8	71	43	32,4		5	24,5	28,7	0,211		214	305,8
2,8	Sabbia	10,3	107	18,4	78	43	31,3		5,4	30	32,9	0,1945		237	295,1
3	Sabbia limosa	4,8	133	18,8	48	40	33,9		2,6	16,8	19,8	0,2335		205	279,1
3,2	Argilla	3,3	240	19,5				180,1	18		26,7	0,5	0,163	401	298,9
3,4	Sabbia	4,9	100	18,6	47	39	33,2		2,3	17,1	20,3	0,223		224	265,7
3,6	Sabbia	6,2	113	18,8	53	40	33,2		2,8	21,7	24,4	0,223		247	279,7
3,8	Sabbia limosa	6,5	180	19,4	54	40	33,1		2,7	22,7	25,1	0,2215		260	305,4
4	Sabbia	7,7	107	18,8	59	41	33,3		3,1	26,9	28,7	0,2245		278	284,4
4,2	Sabbia limosa	6,3	140	19,1	52	40	33,6		2,5	22	24,7	0,229		268	290,9
4,4	Sabbia limosa	4,8	120	19	43	38	33,2		1,8	16,8	20,5	0,223		255	273,8

4,6	Sabbia	6,6	107	18,9	53	40	33,5		2,5	23	25,9	0,2275		280	279
4,8	Sabbia limosa	5,9	133	19,2	49	39	33,2		2,2	20,6	24	0,223		276	286,1
5	Sabbia limosa	8,4	213	19,7	60	41	33,3		3	29,4	30,8	0,2245		306	324,1
5,2	Sabbia	9,8	133	19,2	66	42	33,3		3,4	28,5	34,1	0,2245		322	304,3
5,4	Argilla	3,2	227	19,9				172,4	12		25,5	0,5	0,161	383	294,5
5,6	Sabbia	5,7	87	18,8	46	39	33,8		1,9	19,9	23,6	0,232		289	264,2
5,8	Sabbia	10,9	127	19,2	69	42	32,9		3,5	31,7	36,7	0,2185		345	305,7
6	Sabbia	11,9	200	19,8	73	42	32,2		3,7	34,7	38,7	0,208		357	333,4
6,2	Sabbia limosa	7,8	193	19,8	56	40	33,2		2,5	27,3	29,6	0,223		325	315,8
6,4	Sabbia limosa	5,3	180	19,7	43	38	33,4		1,6	18,5	22,7	0,226		299	298,4
6,6	Sabbia	7,1	120	19,2	52	39	32,9		2,2	24,8	27,9	0,2185		325	287,3
6,8	Sabbia	11	167	19,7	68	41	32,2		3,2	32	37,7	0,208		367	320,3
7	Sabbia	12	187	19,8	71	42	32,8		3,4	35	39,7	0,217		380	329,9
7,2	Sabbia limosa	8,4	240	20,1	57	40	33,1		2,4	29,4	31,3	0,2215		352	331
7,4	Sabbia limosa	9,2	193	19,9	60	40	32,7		2,6	32,1	33,7	0,2155		364	321,8
7,6	Sabbia	10,2	187	19,9	63	41	33,2		2,8	35,6	36,1	0,223		377	323,7

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

gamma = peso di volume (kN/mc)

E = modulo elastico operativo E25 (MPa)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

Id = indice di densità (%)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

mu = coefficiente di Poisson (-)

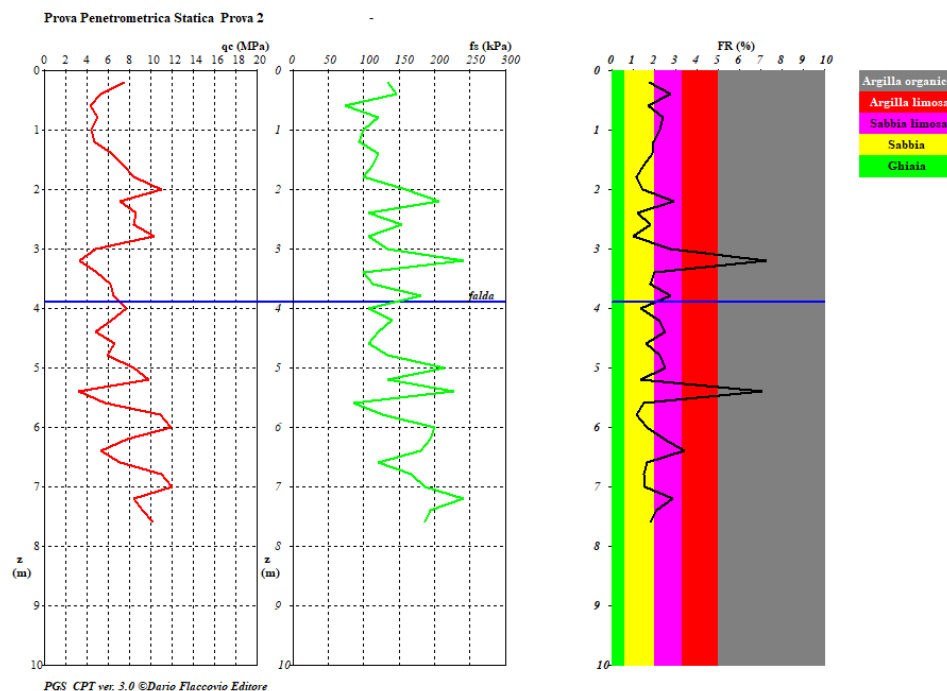
M = modulo confinato (MPa)

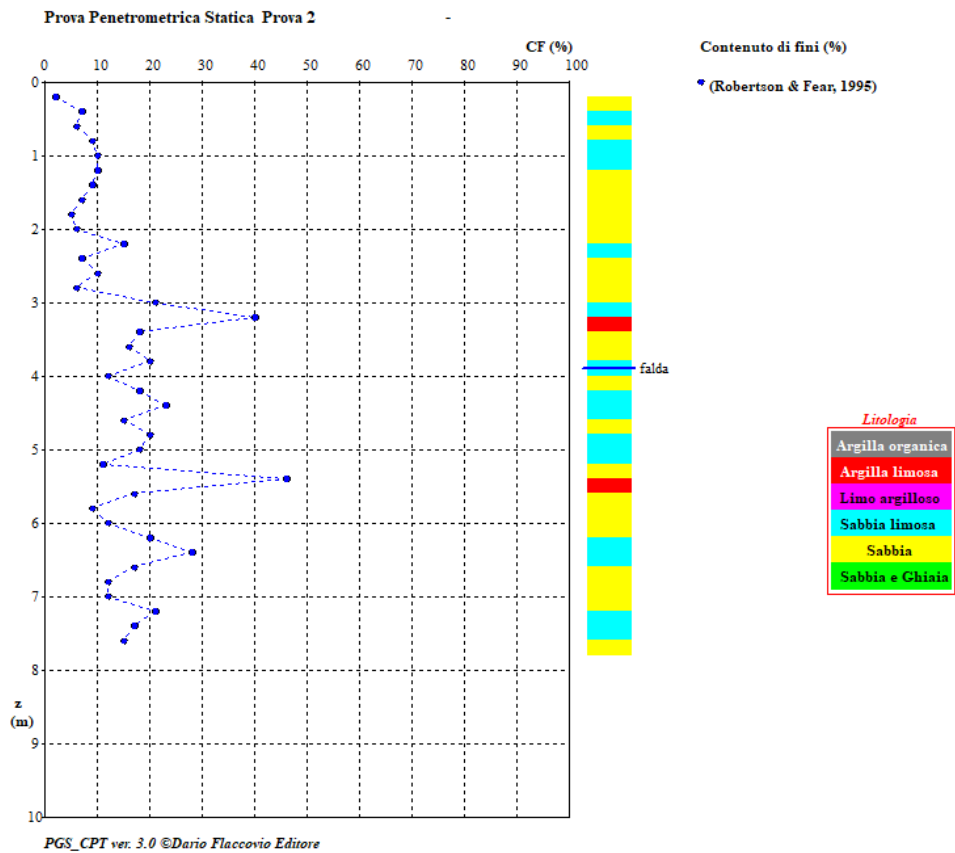
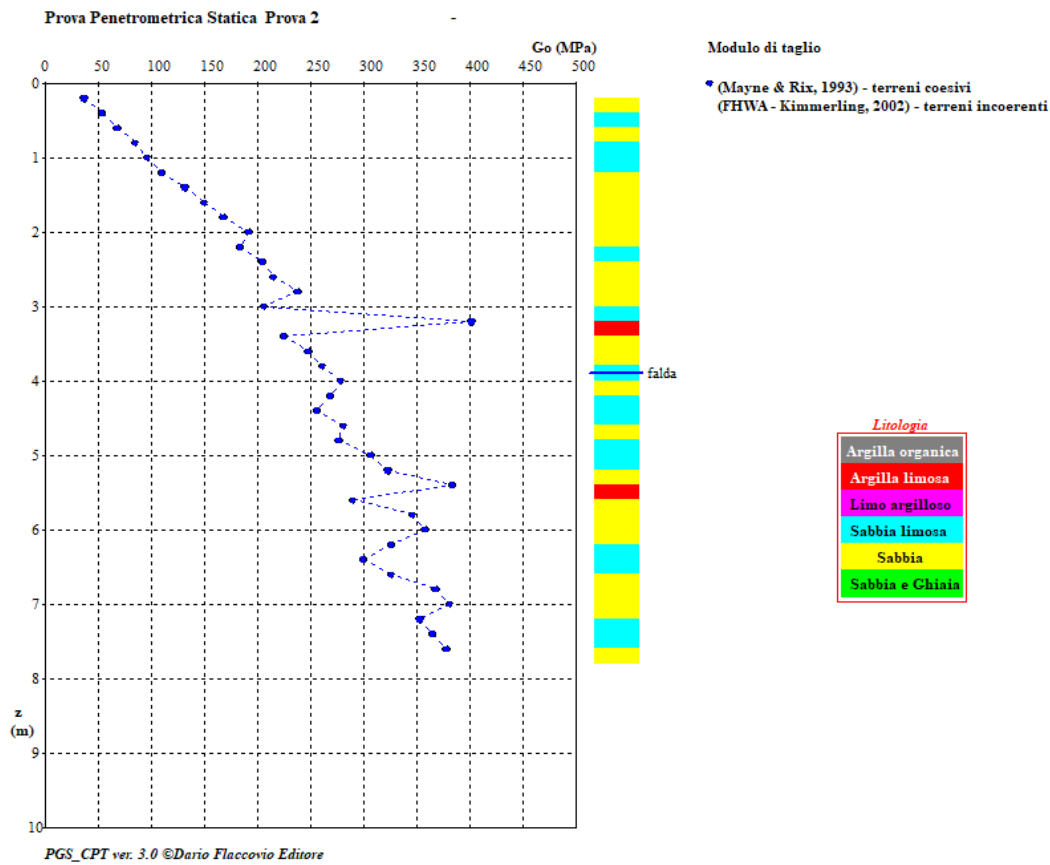
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)

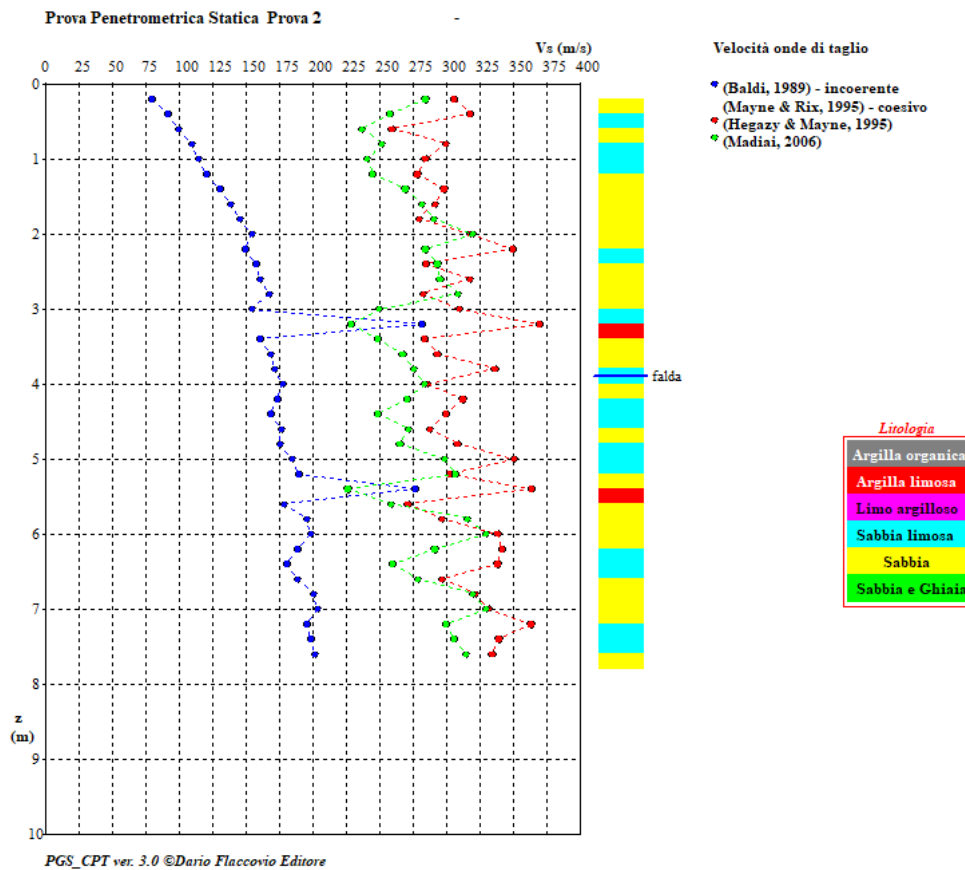
Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

Cc = indice di compressibilità (-)







PROVA PENETROMETRICA CPT 3
 Profondità della falda = -3.90 m da p.c.

z	litologia	Qc (MPa)	fs (kPa)	gamma	Id (%)	Angolo d'attrito picco (°)	Angolo d'attrito volume costante (°)	Su (kPa)	OCR (-)	E (MPa)	M (MPa)	mu (-)	Cc (-)	Go (MPa)	Vs (m/s)
0,2	Sabbia	10,4	153	16,1	97	45	23,6		30	30,3	18,4	0,079		39	313,7
0,4	Argilla limosa	5,9	220	17,1				327,39	30		48,6	0,5	0,116	729	313,5
0,6	Argilla	2,4	153	17,2				132,69	30		19,7	0,5	0,151	296	263,3
0,8	Sabbia limosa	4,5	107	17,1	69	43	30,6		9	15,7	16,2	0,184		82	265,9
1	Sabbia	4,7	47	16,5	66	43	31,7		7,6	16,4	17,2	0,2005		97	232
1,2	Sabbia limosa	2,9	87	17,3	46	41	34,1		4,4	11,6	12,6	0,2365		97	242
1,4	Sabbia	2,7	40	16,7	41	39	33,4		3,5	10,8	12,2	0,226		106	208,7
1,6	Sabbia	2,6	47	17	39	39	33,9		2,9	10,4	11,9	0,2335		115	213,2
1,8	Sabbia	2,9	33	16,7	40	39	33,8		2,8	11,6	13,1	0,232		128	204,5
2	Sabbia limosa	2,9	67	17,6	39	38	33,1		2,5	11,6	13,1	0,2215		137	230,7
2,2	Sabbia	3,2	60	17,5	40	38	33,1		2,5	11,2	14,2	0,2215		150	229,5
2,4	Sabbia	5,7	87	18	57	41	32,9		3,9	19,9	22	0,2185		184	264,2
2,6	Sabbia	4,6	73	17,9	49	39	32,5		3	16	19	0,2125		184	249,7
2,8	Sabbia	6,1	127	18,6	57	40	32,1		3,5	21,3	23,1	0,2065		208	284,7
3	Sabbia	8,9	140	18,8	70	42	31,9		4,5	25,9	29,9	0,2035		239	303,2
3,2	Sabbia limosa	5,1	153	19	49	39	32,8		2,6	17,8	20,7	0,217		217	288,4
3,4	Sabbia limosa	4,2	140	19	42	37	32,2		2	14,7	18,3	0,208		216	277,1
3,6	Sabbia	7,2	133	19	58	40	32,3		3,2	25,2	26,9	0,2095		257	293,1

3,8	Sabbia limosa	5,6	127	18,9	49	38	32		2,4	19,5	22,8	0,205		245	281,7
4	Sabbia limosa	6,3	147	19,1	53	39	32,3		2,7	22	24,7	0,2095		257	293,3
4,2	Sabbia	6,9	107	18,8	56	39	31,8		2,8	24,1	26,2	0,202		267	280,5
4,4	Argilla limosa	2,7	107	18,8				145,6	11,7		21,6	0,5	0,119	324	249,2
4,6	Torba	1,4	87	18,6				73,2	5,7		10,8	0,5	0,149	162	218,5
4,8	Sabbia limosa	2,4	53	18,1	25	33	31,4		0,9	9,6	12	0,196		215	215,8
5	Sabbia limosa	3,2	80	18,6	31	35	32,4		1,1	11,2	15,2	0,211		234	241,6
5,2	Sabbia	4,2	67	18,4	39	36	32		1,5	14,7	18,6	0,205		254	242,6
5,4	Sabbia	5,8	93	18,8	48	38	32,4		2,1	20,3	23,6	0,211		280	268,2
5,6	Sabbia limosa	5,5	133	19,2	46	37	31,8		1,9	19,2	22,7	0,202		280	283,7
5,8	Sabbia	6,8	107	19	52	38	31,8		2,3	23,8	26,7	0,202		299	280
6	Sabbia	8,1	167	19,5	58	39	31,7		2,7	28,3	30,2	0,2005		317	309
6,2	Sabbia	10,9	87	18,8	69	40	30,9		3,5	31,7	36,7	0,1885		345	287,6
6,4	Sabbia	10,4	173	19,6	67	40	31,3		3,3	30,3	35,6	0,1945		346	320,3
6,6	Sabbia limosa	9,8	233	20	64	40	31,8		3	34,3	34,7	0,202		345	335
6,8	Sabbia	10,6	147	19,5	67	40	31,3		3,2	30,9	36,3	0,1945		356	312,1
7	Sabbia	12,4	253	20,1	73	41	31,4		3,6	36,1	40,3	0,196		375	348,8
7,2	Sabbia limosa	11,8	273	20,2	71	40	30,7		3,4	34,4	39	0,1855		375	351,5
7,4	Sabbia	12,7	233	20,1	73	41	31,4		3,5	37	41,3	0,196		386	344,8
7,6	Sabbia	9,5	140	19,5	61	39	31,5		2,7	33,2	34,2	0,1975		363	305,6
7,8	Sabbia limosa	7,4	187	19,8	52	38	32		2,1	25,9	29,1	0,205		345	312
8	Sabbia	12,4	113	19,3	71	40	30,9		3,3	36,1	41	0,1885		397	305,2
8,2	Sabbia	13,5	93	19,1	75	41	31,2		3,5	39,3	43,1	0,193		410	299,4
8,4	Sabbia	12,2	93	19,1	70	40	31,1		3,2	35,5	40,3	0,1915		404	295,4
8,6	Sabbia	12,6	187	19,9	71	40	30,9		3,2	36,7	41,7	0,1885		412	331,8
8,8	Sabbia	13,9	173	19,9	75	41	31,3		3,4	40,5	44,4	0,1945		427	331,6
9	Sabbia	9,7	180	19,9	60	39	31,8		2,5	33,9	35	0,202		394	319,8
9,2	Sabbia	10,3	173	19,9	62	39	31,5		2,6	36	36,5	0,1975		404	320
9,4	Sabbia	11,6	167	19,9	66	40	31,9		2,8	33,8	39,7	0,2035		420	322,4
9,6	Sabbia	9,5	153	19,8	59	39	32		2,3	33,2	34,8	0,205		404	310,4

z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

Fs = resistenza d'attrito (kPa)

gamma = peso di volume (kN/mc)

E = modulo elastico operativo E25 (MPa)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

Id = indice di densità (%)

Su = resistenza al taglio non drenata (kPa)

mu = coefficiente di Poisson (-)

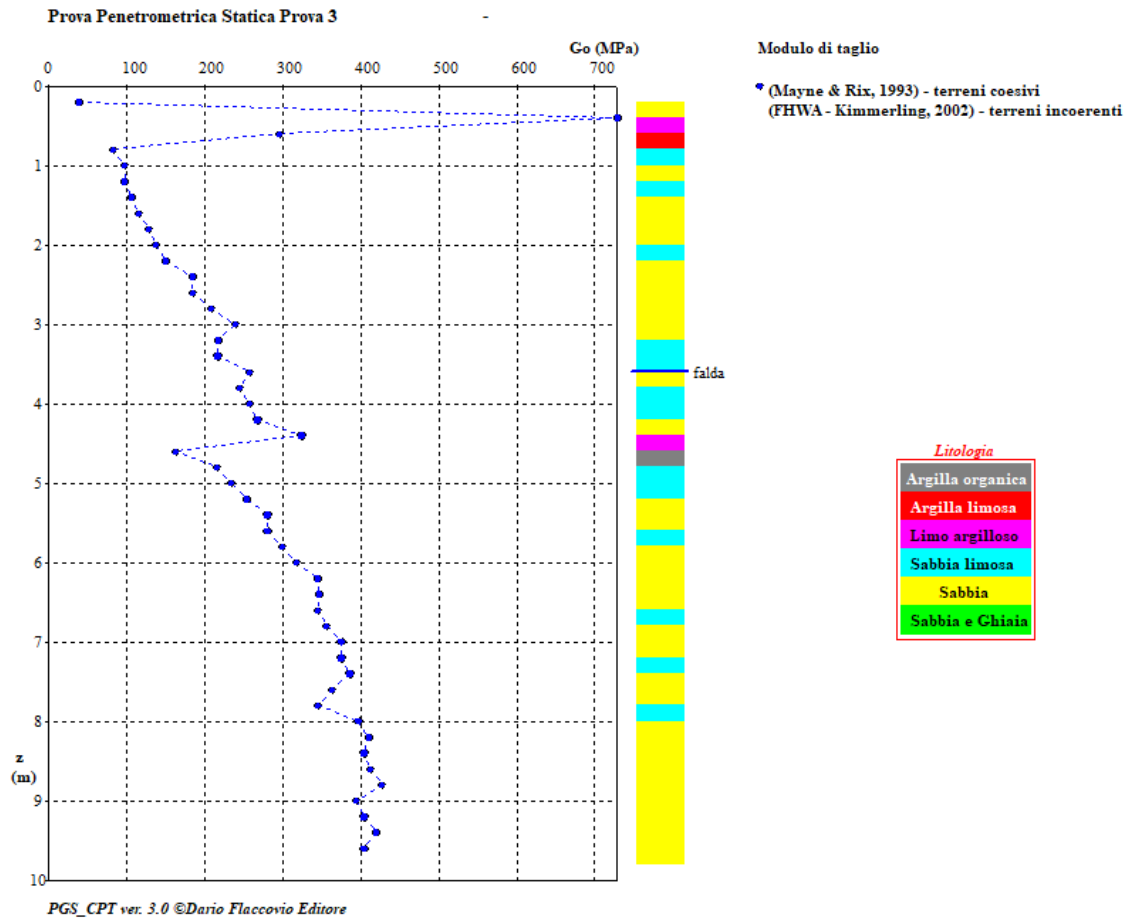
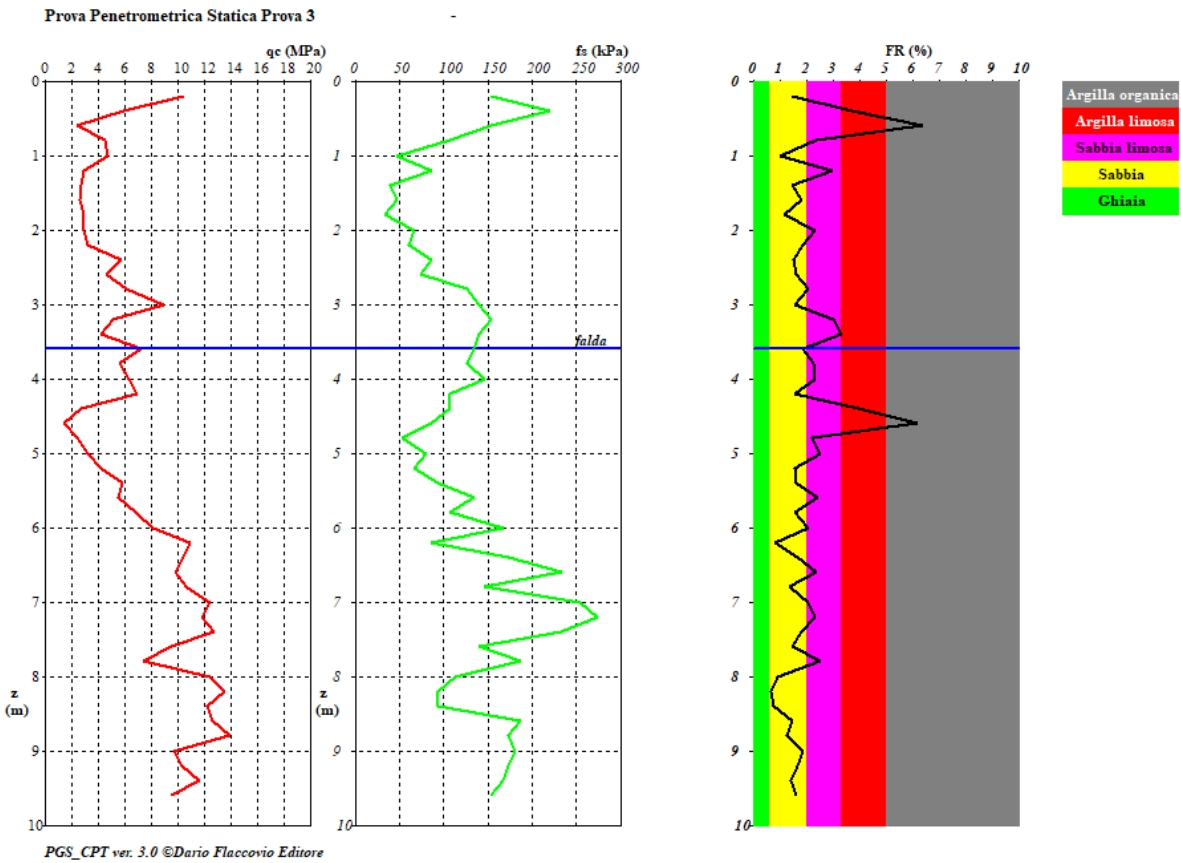
M = modulo confinato (MPa)

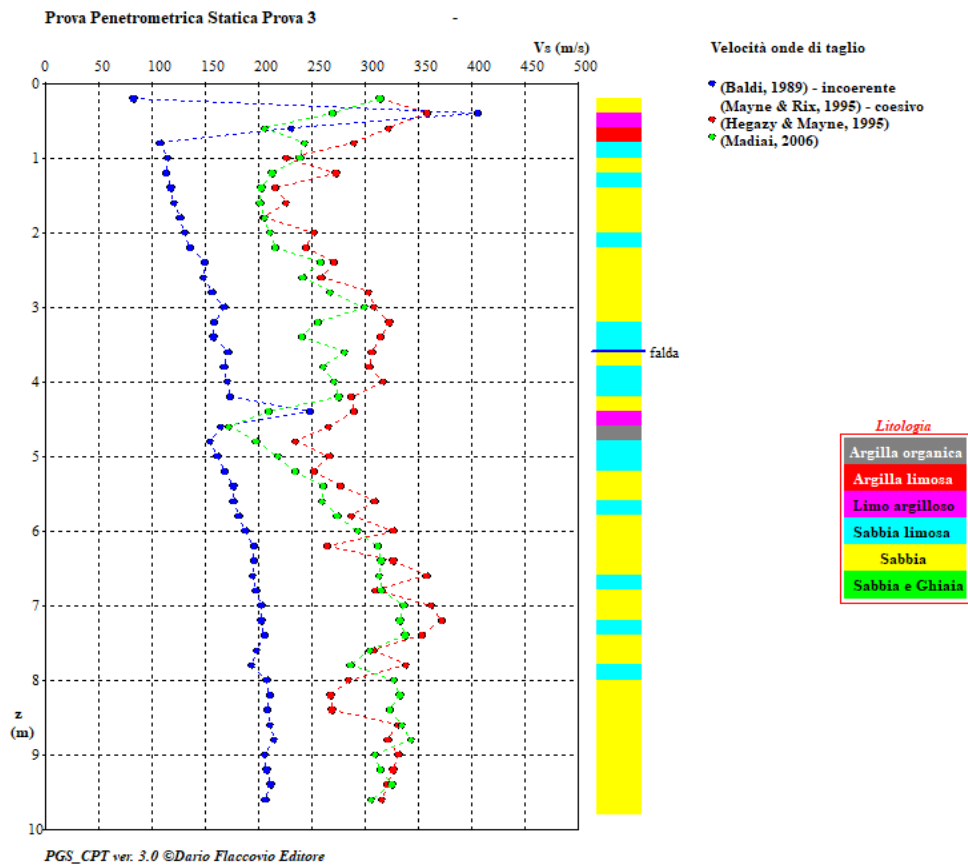
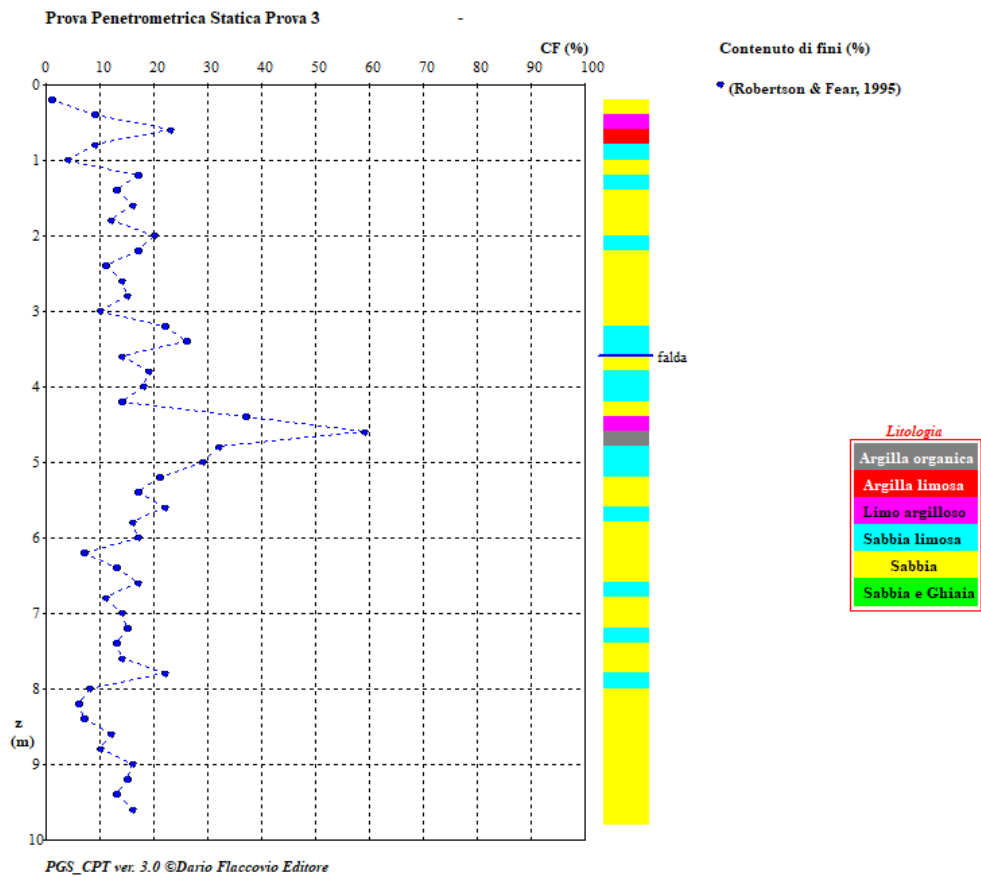
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)

Go = modulo di taglio (MPa)

Vs = velocità onde di taglio (m/s)

Cc = indice di compressibilità (-)





PROVA PENETROMETRICA CPT 4
Profondità della falda = -1.20 m da p.c.

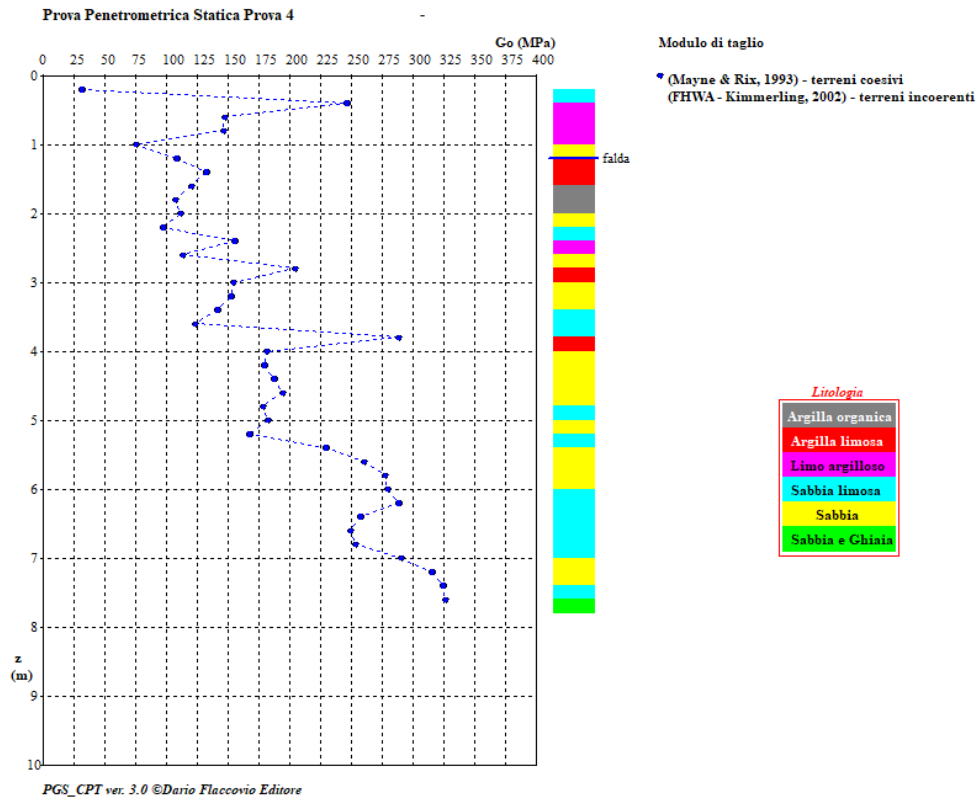
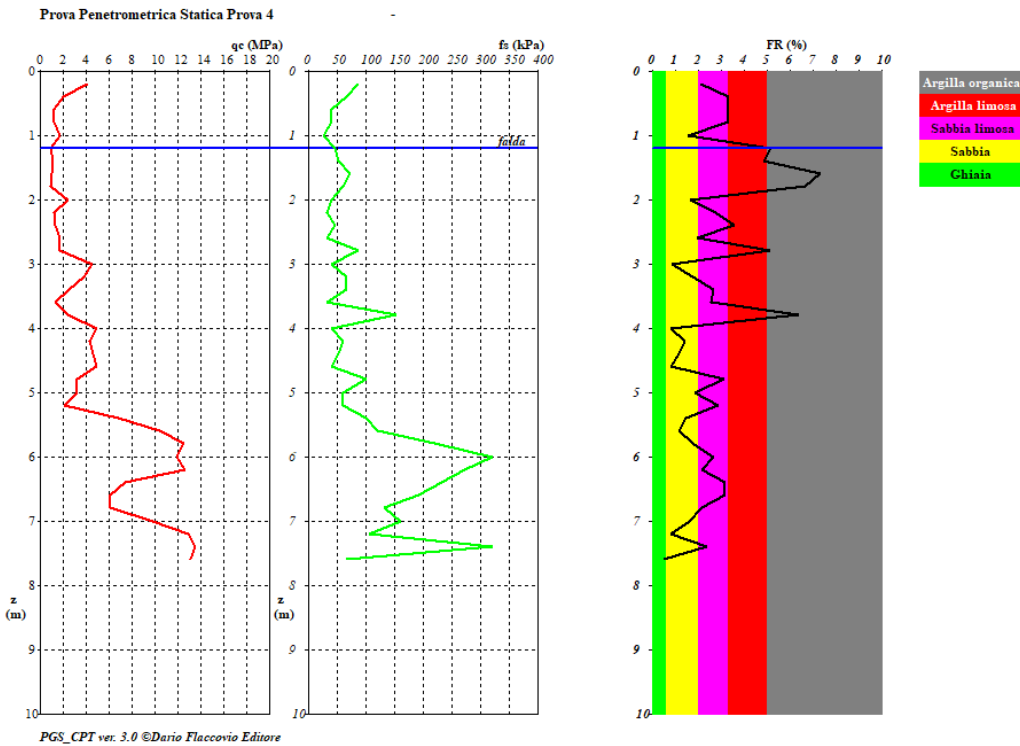
z	litologia	Qc (MPa)	fs (kPa)	gamma	ld (%)	Angolo d'attrito picco (°)	Angolo d'attrito volume costante (°)	Su (kPa)	OCR (-)	E (MPa)	M (MPa)	mu (-)	Cc (-)	Go (MPa)	Vs (m/s)
0,2	Sabbia limosa	4,1	87	15,5	86	45	26		26	11,9	12,2	0,115		31	253,2
0,4	Argilla limosa	2	67	15,9				110,7	30		16,4	0,5	0,111	246	218,9
0,6	Argilla limosa	1,2	40	15,8				66,09	30		9,8	0,5	0,111	147	183,9
0,8	Argilla limosa	1,2	40	16,1				65,9	26,3		9,7	0,5	0,111	146	183,9
1	Sabbia	1,7	27	15,9	34	40	35,5		3,3	6,8	8,2	0,2575		75	181,1
1,2	Argilla	0,9	47	16,7				48,8	13		7,2	0,5	0,135	108	180,3
1,4	Argilla	1,1	53	16,9				59,7	14,8		8,8	0,5	0,131	132	191,4
1,6	Torba	1	73	17,3				54	12,4		8	0,5	0,164	120	200,5
1,8	Torba	0,9	60	17,1				48,2	10,4		7,1	0,5	0,155	107	189,3
2	Sabbia	2,4	40	16,8	37	39	34,3		2,7	9,6	11,2	0,2395		111	205,1
2,2	Sabbia limosa	1,2	33	16,7	19	35	34,1		1,1	4,8	6,4	0,2365		97	177,9
2,4	Argilla limosa	1,3	47	17				69,8	12,7		10,3	0,5	0,114	155	191,8
2,6	Sabbia	1,7	33	16,8	26	37	34,7		1,5	6,8	8,6	0,2455		113	188,3
2,8	Argilla	1,7	87	17,8				91,6	15,2		13,6	0,5	0,134	204	224,8
3	Sabbia	4,5	40	17	52	41	33,6		3,8	15,7	18,3	0,229		154	224,9
3,2	Sabbia	3,8	67	17,6	46	40	33,8		3,1	13,3	16,3	0,232		152	239,3
3,4	Sabbia limosa	2,5	67	17,7	33	38	34,4		1,9	10	11,8	0,241		141	226
3,6	Sabbia limosa	1,3	33	17	17	34	33,6		0,9	5,2	6,9	0,229		123	180,3
3,8	Argilla	2,4	153	18,7				129,5	17,3		19,2	0,5	0,151	288	263,3
4	Sabbia	4,9	40	17,2	51	41	34,1		3,3	17,1	19,9	0,2365		181	227,6
4,2	Sabbia	4,3	60	17,7	47	40	33,9		2,8	15	18,1	0,2335		179	239
4,4	Sabbia	4,6	53	17,6	48	40	33,7		2,9	16	19	0,2305		187	236,5
4,6	Sabbia	4,9	40	17,4	50	40	33,4		3	17,1	19,9	0,226		194	227,6
4,8	Sabbia limosa	3,2	100	18,4	37	38	33,9		1,8	11,2	14,7	0,2335		178	251,7
5	Sabbia	3,2	60	17,9	36	38	34,1		1,8	11,2	14,7	0,2365		182	229,5
5,2	Sabbia limosa	2,1	60	17,9	25	35	33,2		1	8,4	10,5	0,223		167	216,2
5,4	Sabbia	6,8	100	18,5	59	42	33,9		3,5	23,8	25,4	0,2335		229	277
5,6	Sabbia	10,4	120	18,7	75	43	32,1		4,8	30,3	33,8	0,2065		260	301,2
5,8	Sabbia	12,5	220	19,4	81	43	31,1		5,5	36,4	37,3	0,1915		277	340,8
6	Sabbia limosa	11,9	320	19,9	80	43	31,3		5,1	34,7	36,7	0,1945		279	361,8
6,2	Sabbia limosa	12,6	273	19,8	81	43	31,2		5,2	36,7	38,2	0,193		288	354,1
6,4	Sabbia limosa	7,4	233	19,6	60	41	33		3,3	25,9	27,6	0,22		257	324,8
6,6	Sabbia limosa	6,1	193	19,4	52	40	33,4		2,7	21,3	24	0,226		249	307,2
6,8	Sabbia limosa	6,1	133	19	52	40	33,5		2,6	21,3	24	0,2275		253	287,3
7	Sabbia	9,8	160	19,2	69	42	32,5		3,9	28,5	33	0,2125		290	313,8
7,2	Sabbia	12,9	107	18,8	80	43	31,6		4,8	37,6	39,1	0,199		315	303,9
7,4	Sabbia limosa	13,5	320	20,1	81	43	31,5		4,8	39,3	41	0,1975		324	366,7
7,6	Ghiaia	13,1	67	18,3	79	43	31,9		4,6	38,2	41,9	0,2035		326	283,4

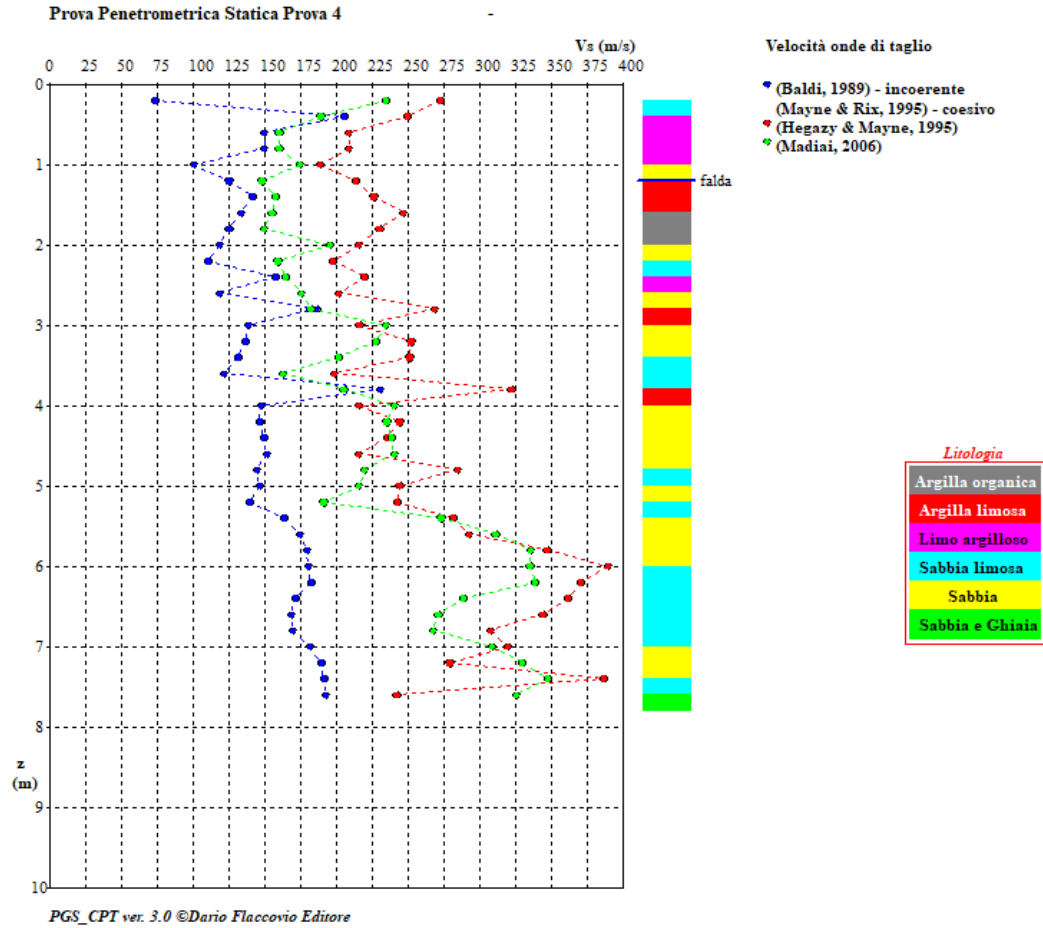
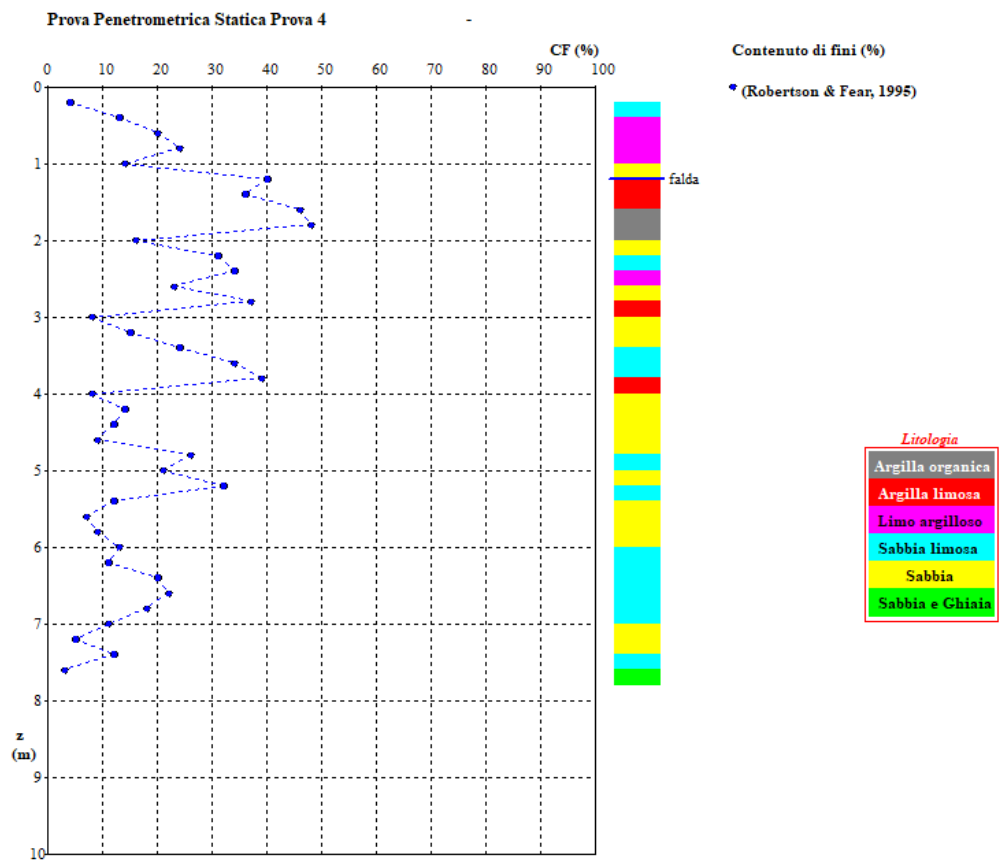
z = profondità (m)

Qc = resistenza alla punta (MPa)

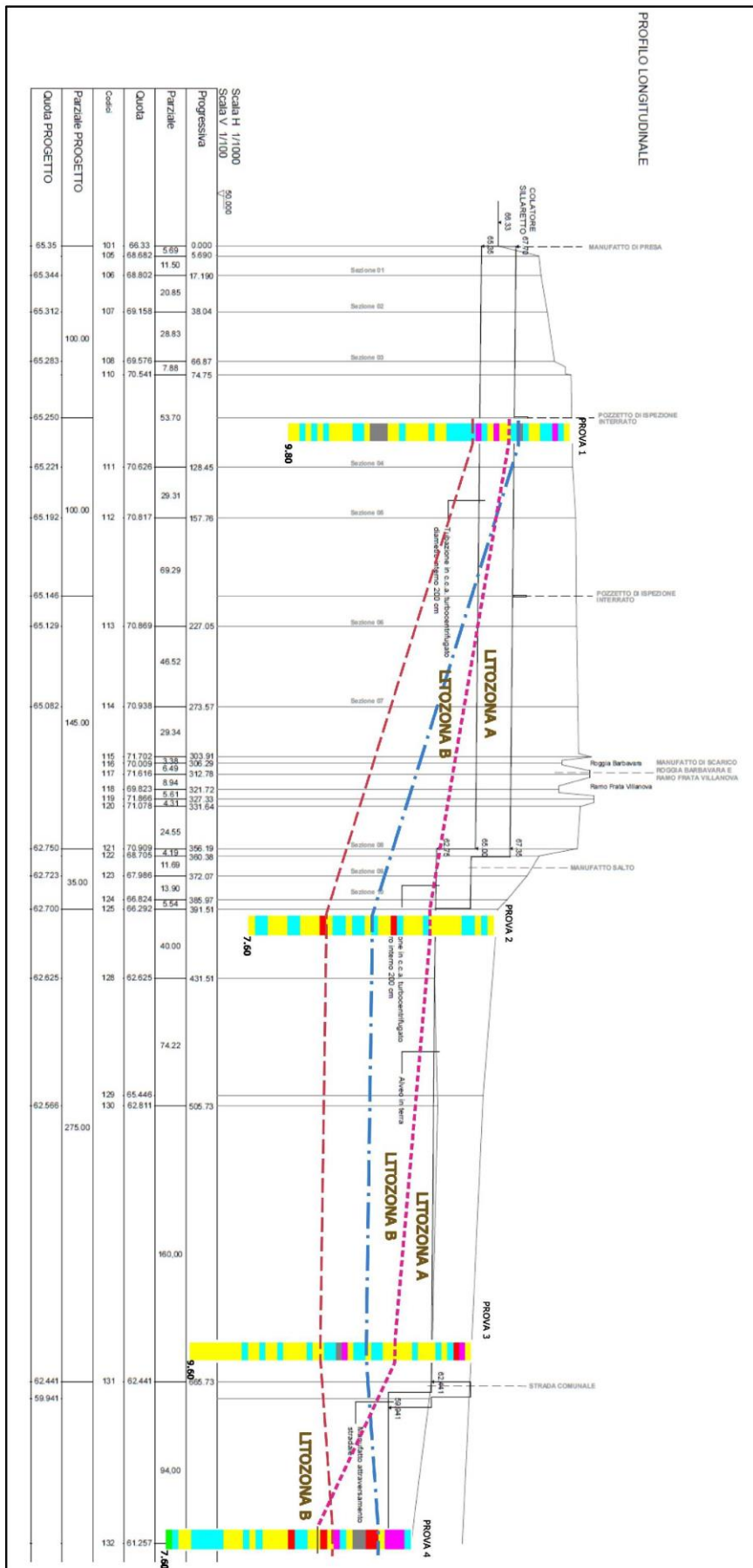
Fs = resistenza d'attrito (kPa)

gamma = peso di volume (kN/mc)
E = modulo elastico operativo E25 (MPa)
Su = resistenza al taglio non drenata(kPa)
Id = indice di densità (%)
Su = resistenza al taglio non drenata(kPa)
mu = coefficiente di Poisson(-)
M = modulo confinato (MPa)
OCR = grado di sovraconsolidamento (-)
Go = modulo di taglio (MPa)
Vs = velocità onde di taglio (m/s)
Cc = indice di compressibilità (-)





ALLEGATO 3 - SEZIONE GEOLOGICO - TECNICA SCHEMATICA



DESCRIZIONE LITOLOGIE

Litoranea A: ai di sotto della copertura costituita da riporto antropic o copertura agraria (0,40-0,60 m), si hanno depositi sabbiosi fini o limosi scarsamente addensati fino a profondità 2,00/3,00, $\varphi = 26^\circ$ - 30° ; $\gamma = 16$ - 17 kN/m³.

Litozona B: dal letto della litozona A fino a -9,60 m da p.c., alternanza di sabbia media e addensata, soprattutto verso la base con ghiaietto e localmente livelli limosi decimetrici, φ da 31° a 33° , $\gamma = 18\text{--}19 \text{ KN/m}^3$.

