Comune di Sannazzaro dè Burgondi

Provincia di Pavia

PIANO ATTUATIVO "LORETO-AMBITO A"

Realizzazione di due nuove Medie Strutture di Vendita alimentare e non

(Sannazzaro dè Burgondi via Loreto- via De Gasperi)

Oggetto:

ALLEGATO N°7

INDAGINE GEOLOGICA

PROPRIETA' : Sig. Giuseppe Viola - Sig. Gabriele Angelo Viola - Sig.ra Irene Chilelli - Sig. Pietro Chilelli - Sig.ra Antonella Grazia Cremonesi- Sig.ra Angela Campioni – Sig. Cesare Alberto Cremonesi

PROPONENTE – ATTUATORE: Società "ONE ITALY S.R.L."

– GEOLOGIA TECNICA Dr. Geol. Francesco SERRA –
Via Dante Alighieri, 6 – 26027 Rivolta d'Adda (CR)
Tel. : 0363.79065; e-mail : geoserra@serrafra.191.it
CF : SRRFNC59T27H357Z - PI : 00827350190

ONE ITALY SRL

Ambito di Trasformazione Commerciale, sub-Ambito "A"

viale Loreto – Sannazzaro de' Burgondi (Pv)

ALLEGATO N° 7

Relazione geologica di fattibilità R3 con indagini geognostiche

ai sensi delle normative vigenti

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
FRANCESCO SERRA
geologo specialista
Albo n. 542 AP
sezione A

18 giugno 2023 Comm.2456

INDICE

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 5

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 8

3. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO 11

3.1 ASPETTI IDROLOGICI 11

3.2 ASPETTI IDROGEOLOGICI 11

4. INDAGINI ESEGUITE 15

5 ANALISI DELLE INDAGINI ESEGUITE 18

5.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT A PUNTA MECCANICA O A PUNTA ELETTRICA 18

5.2 RISULTATI DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE E RELATIVE INDICAZIONI20

5.3 INDICAZIONI DAI POZZETTI ESPLORATIVI E PROVE DI PERMEABILITÀ 25

6. ASPETTI SISMICI 28

6.1 ZONA PERICOLOSITÀ SISMICA 28

6.2 MODELLO SISMICO MONODIMENSIONALE, PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E CATEGORIA DI SUOLO 34

6.3 ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO E CATEGORIA DI SUOLO 37

6.4 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE 40

6.5 CATEGORIA TOPOGRAFICA 44

7 MODELLO GEOLOGICO E DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 45

7.1 ANALISI STRATIGRAFICA E SEZIONI GEOLOGICHE 45

7.2 MODELLO GEOLOGICO E DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE 45

8 GESTIONE DEI MATERIALI DI SCAVO 47

9 ASPETTI RELATIVI ALLA FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO 49

Allegati

Allegato A – *Stralcio indagini geognostiche (penetrometrie statiche CPT e CPTU)*

Allegato B – *Sintesi pozzetti esplorativi (da report Tauw Italia srl)*

Allegato C – *Stralcio indagini pregresse (pozzo di via Loreto e prova MASW)*

Allegato D – *Stralcio interpretazione indagini penetrometriche statiche*

Allegato E – *Stralcio indagini di permeabilità*

1. PREMESSA ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione è redatta per verificare la fattibilità geologica di un intervento di trasformazione commerciale (sub ambito "A") di un'area attualmente agricola ubicata nel settore nord occidentale del comune di Sannazzaro de' Burgondi (PV) ; per le caratteristiche dell'intervento si veda il progetto a cui questo rapporto è collegato.

La relazione è redatta ai sensi della normativa regionale ed in particolare quanto previsto nella DGR IX/2616/2011 e nella DGR 2129/2014 e smi (Relazione geologica di fattibilità R3).

Nei capitoli seguenti si illustreranno, dopo un breve inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico, le indagini geognostiche disponibili e si procederà alla caratterizzazione tecnica dei terreni in funzione delle interazioni terreno-strutture, fornendo il modello geologico del sito ed il modello sismo-stratigrafico per la verifica della fattibilità dell'intervento fornendo le necessarie indicazioni di competenza per le successive fasi progettuali.

Per l'ubicazione si veda la corografia mostrata in figura 1, tratta dalla Carta Regionale Tecnica in scala 1:10.000 (aggiornamento 1994) e lo stralcio da *Google Maps* (figura 2)

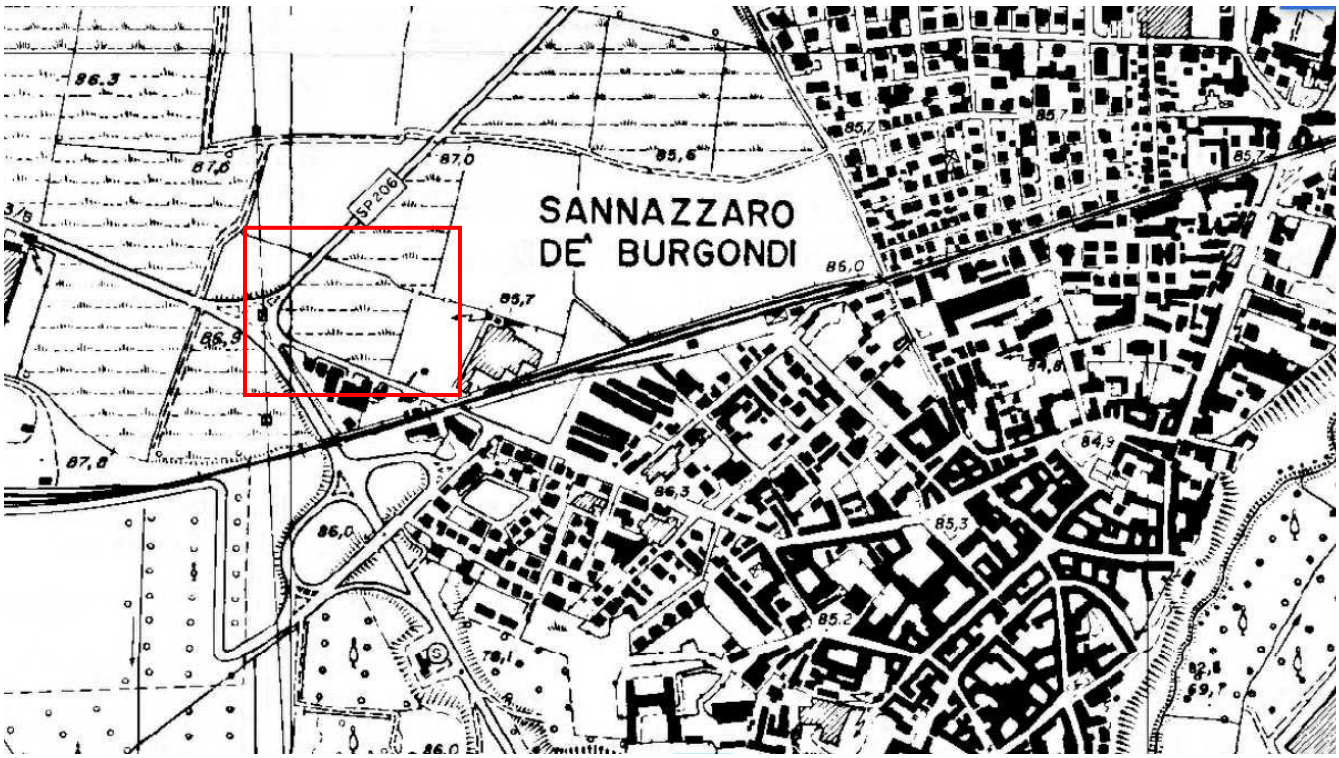


Figura 1: Corografia con ubicazione dell'area in esame
(stralcio della *Carta Regionale Tecnica* in scala 1:10.000, aggiornamento 1994).

Figura 2: Stralcio da *google earth* con la posizione dell'area di intervento

Figura 3: ubicazione indicativa degli interventi in oggetto

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Sannazzaro de' Burgondi, come buona parte della bassa pianura Lombarda è costituita da alluvioni di diversa età.

L'apporto alluvionale più consistente si è avuto durante tutto il Quaternario, quando ampie calotte glaciali hanno in più fasi occupato le vallate alpine spingendosi fino alle zone pedemontane. Le acque di fusione glaciale drenate da torrenti e fiumi hanno apportato alle pianure significativi quantitativi di sedimenti. Larga parte della pianura lombarda è costituita infatti per le prime decine di metri da depositi fluviali e fluvioglaciali, principalmente depositatisi nell'ultima grande glaciazione (glaciazione wurmiana). I depositi fluvioglaciali in questione sono tanto estesi da essere indicati in letteratura come *"Livello fondamentale della pianura"*.

A tali sedimenti si associano i depositi legati all'azione fluviale dei principali corsi d'acqua e dei loro precursori (paleo – fiumi), nello specifico caso il vicino fiume Po.

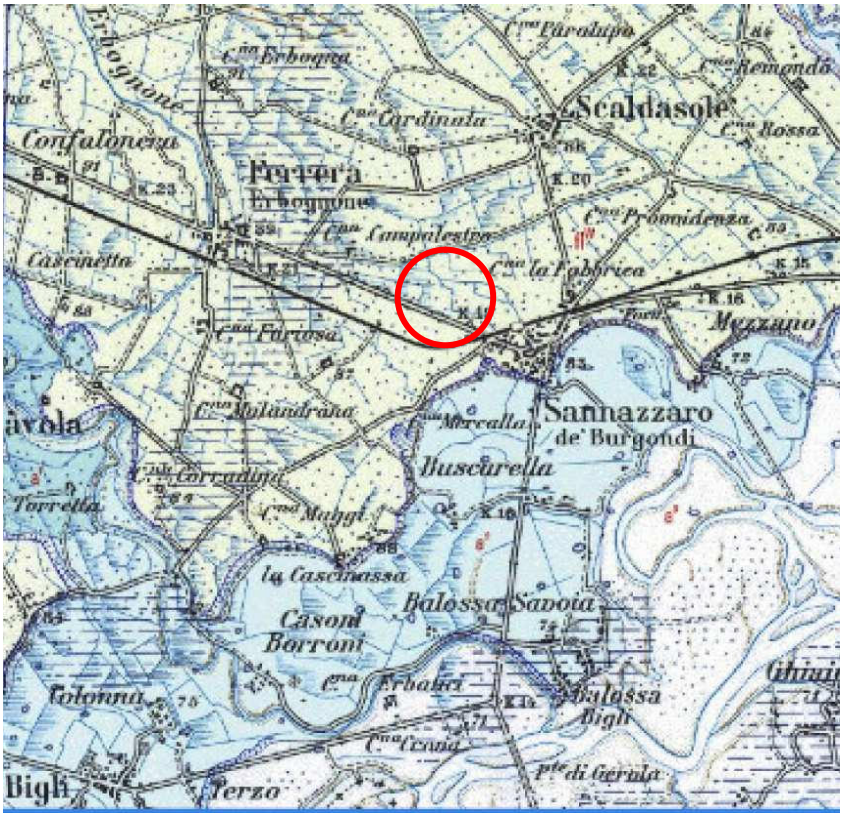
I corsi d'acqua mostrano una tendenza nel tempo a variare il proprio corso (divagazione dell'alveo) alternando fasi di deposizione e di erosione dei depositi. Il risultato di tale complessa serie di eventi è riscontrabile nella serie di terrazzi morfologici presenti nelle adiacenze dei corsi d'acqua, costituiti da depositi fluviali di diversa età.

L'area oggetto dell'intervento è caratterizzata dalla presenza di livelli prevalentemente talora limosi , con suolo ben sviluppato di colore bruno, appartenenti ai depositi fluviali e fluvioglaciali del Wurm $\mathbf{fl^W}$ (si veda a riguardo la figura successiva , tratta dalla carta geologica classica).

In linea di massima al di sotto del primo livello di coltivo sono presenti livelli sabbiosi, debolmente alterati ed ocracei nel primo metro, passanti a livelli francamente sabbiosi; subordinati livelli più limosi in profondità .

Da un punto di vista morfologico, i pochi elementi di rilievo sono legati alle modificazioni antropiche (soprattutto con le attività agricole e con i riporti argillosi legati all'utilizzo come risaia del sito). Tali elementi morfologici sono relazionati alla presenza di depositi di diversa età e sono spesso obliterati dall'azione dell'uomo.

La zona indagata, così come in generale tutta l'area caratterizzata geologicamente dai depositi wurmiani, presenta quote medie intorno ai 87 m s.l.m (figura 1), leggermente ribassata rispetto alle strade contermini.



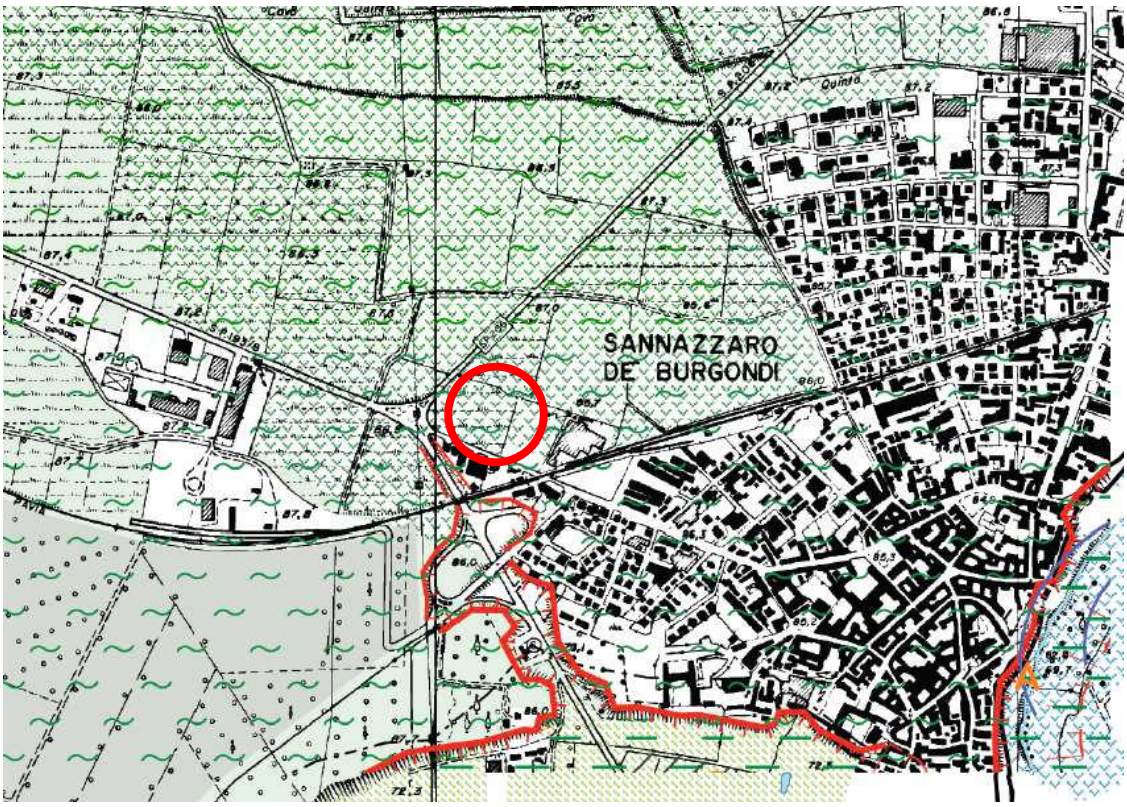
Alluvioni fluviali, per lo più sabbiose, talora limose, con debole alterazione ocracea o bruna nella sola parte superficiale: livello principale della pianura. (*Fluviale Würm.*). ***PLEISTOCENE RECENTE***.

Alluvioni terrazzate sabbioso-ghiaiose sensibilmente sospese sui corsi d'acque. (*"Alluvium antico" s. l.*). ***OLOCENE ANTICO***.

Alluvioni sabbioso-ghiaiose fissate degli alvei abbandonati, debolmente sospese ed eccezionalmente esondabili. (*"Alluvium medio"*). ***OLOCENE MEDIO***.

Figura 4: Stralcio della Carta Geologica d'Italia 1.100.000 - Foglio 58-Mortara

Per un maggior dettaglio si riporta lo stralcio della carta geologica geomorfologica e pedologica (figura 5) realizzata nell'ambito dello studio geologico a supporto del PGT del comune di Sannazzaro de' Burgondi (Dr. Maccabruni) che conferma l'attribuzione del sito al Livello Fondamentale della Pianura e non fa rilevare processi geomorfologici significativi per il sito in oggetto. Si segnalano in superficie limi da sabbiosi ad argillosi passanti a sabbie in profondità.



DEPOSITI FLUVIALI RIFERIBILI ALL'"ALLUVIUM ATTUALE"
Terreni costituenti il ripiano alluvionale più recente, da sabbiosi a limosi nella porzione superficiale, con permeabilità da buona a bassa e drenaggio buono.

DEPOSITI FLUVIALI RIFERIBILI ALL'"ALLUVIUM MEDIO"
Terreni costituenti il ripiano sul quale si sviluppano i centri abitati, da sabbioso limosi a limo argillosi nella porzione superficiale, con permeabilità da bassa a molto bassa e drenaggio lento.

DEPOSITI FLUVIALI RIFERIBILI AL "FLUVIALE WURM"
Terreni costituenti il "livello principale della pianura", da sabbioso limosi a limo argillosi nella porzione superficiale, sabbiosi in profondità, con permeabilità da moderata a bassa e drenaggio da buono a lento.

Figura 5: Stralcio della Carta Geologica , Geomorfologica e Pedologica tratta dallo studio Geologico a supporto del vigente PGT

(studio a cura di Dr. Geol. Alberto Maccabruni, Studio Geo*Idro*tecnico Padano, 2016).

3. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDROGEOLOGICO

3.1 *Aspetti idrologici*

Dal punto di vista idrologico non esistono elementi di particolare interesse per il sito in oggetto.

3.2 *Aspetti idrogeologici*

La struttura idrogeologica di questo settore della Pianura Padana, nelle sue linee fondamentali è ben conosciuta; esiste infatti una ricca documentazione bibliografica di studi e ricerche condotte sia da enti pubblici che privati che hanno permesso di ricostruire con un buon dettaglio la struttura idrogeologica del sottosuolo e a cui si è attinto e fatto riferimento per la redazione della presente relazione.

Nel passato la ricostruzione della struttura idrogeologica ha avuto come principale finalità quella di individuare la geometria e la litologia di quei corpi sedimentari in grado di ospitare degli acquiferi sfruttabili a scopo idropotabile, che rientrano nella terminologia classica di "acquifero tradizionale"; tale acquifero è stato sottoposto nel tempo ad un inteso sfruttamento ed è stato caratterizzato da un progressivo degrado qualitativo. Ciò ha spinto all'utilizzo di falde sempre più profonde, in grado di avere un livello qualitativo soddisfacente per le esigenze idropotabili, portando parallelamente ad acquisire sempre maggiori conoscenze della struttura profonda del sottosuolo e dei rapporti di interconnessione tra i vari acquiferi presenti.

Utilizzando un modello idrogeologico molto generale, gli acquiferi possono essere distinti nel seguente modo:

1 - *acquifero superficiale*, costituito prevalentemente da sabbie più o meno ghiaiose con intercalazioni argilloso-limose prevalenti;

2 - *acquifero intermedio*, costituito da depositi fluvioglaciali più antichi, nei quali prevalgono i limi, con acquiferi sabbiosi che interessano uno spessore fino a quasi duecento metri di profondità;

3 - *acquifero profondo*, costituito prevalentemente da livelli (spessore decametrico) di limi ed argille di colore grigio, talvolta giallastro, con intercalate rare sabbie e ghiaietto (Villafranchiano

Idrogeologicamente, per quanto riguarda la prima falda si ha una direzione da nord ovest verso sud est, in direzione del fiume Po, con una soggiacenza che nell'area è mediamente intorno ai 9 metri; nelle prove effettuate (maggio 2024, con falda mediamente elevata a causa delle precipitazioni dei mesi scorsi)) la soggiacenza della falda è stata incontrata a 9,8 metri dal piano campagna attuale, confermando il dato riportato nella figura seguente tratta dallo studio geologico a supporto del PGT vigente citato.

Ai nostri fini si può considerate la falda con soggiacenza sempre superiore ad almeno 8 metri dal piano campagna attuale e quindi non interagenti con le fondazioni e gli edifici in progetto.

Da sottolineare come ulteriori elementi di caratterizzazione idrogeologica:

- lo strato areato, fino al livello della falda è eminentemente sabbioso ed ha buone caratteristiche di permeabilità e di smaltimento delle acque meteoriche
- a valle del sito è presente il pozzo idropotabile di via Loreto, di cui si riporta in allegato la stratigrafia
- l'area è compresa nella fascia di rispetto di questo pozzo stabilita con criterio geometrico (fascia dei 200 metri, si veda figura 7), anche se, viste le caratteristiche del pozzo (con primo filtro a 94 metri e la presenza di livelli non permeabili al di sopra per più di una ventina di metri complessivi) si ritiene che si possa presumere la possibilità di ridurre la fascia di rispetto con un criterio idrogeologico fino ai 10 metri della fascia di tutela assoluta, secondo le modalità previste dalla normativa vigente in materia (RR 6/2006 e smi)
- il sito è compreso nel perimetro di rispetto monitorato per fini ambientali in funzione della pericolosità relativa alla Raffineria ENI posta poco più a sud ovest.
- l'area è lontana e non interessata dagli scenari di pericolosità e di rischio relativi al PAI (Piano Assetto Idrogeologico) ed al PGRA (Piano Gestione del Rischio di Alluvioni del bacino del Po).

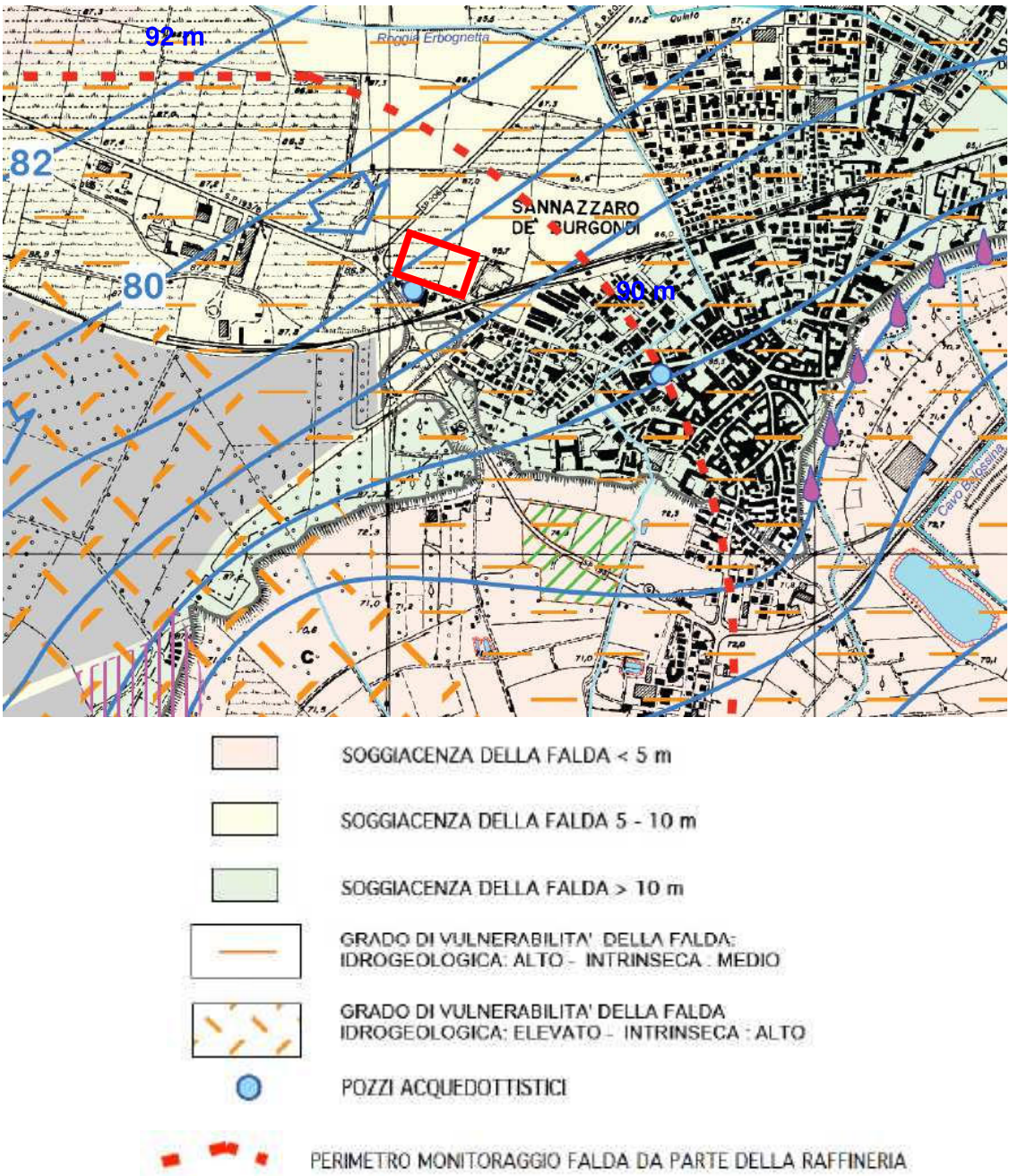
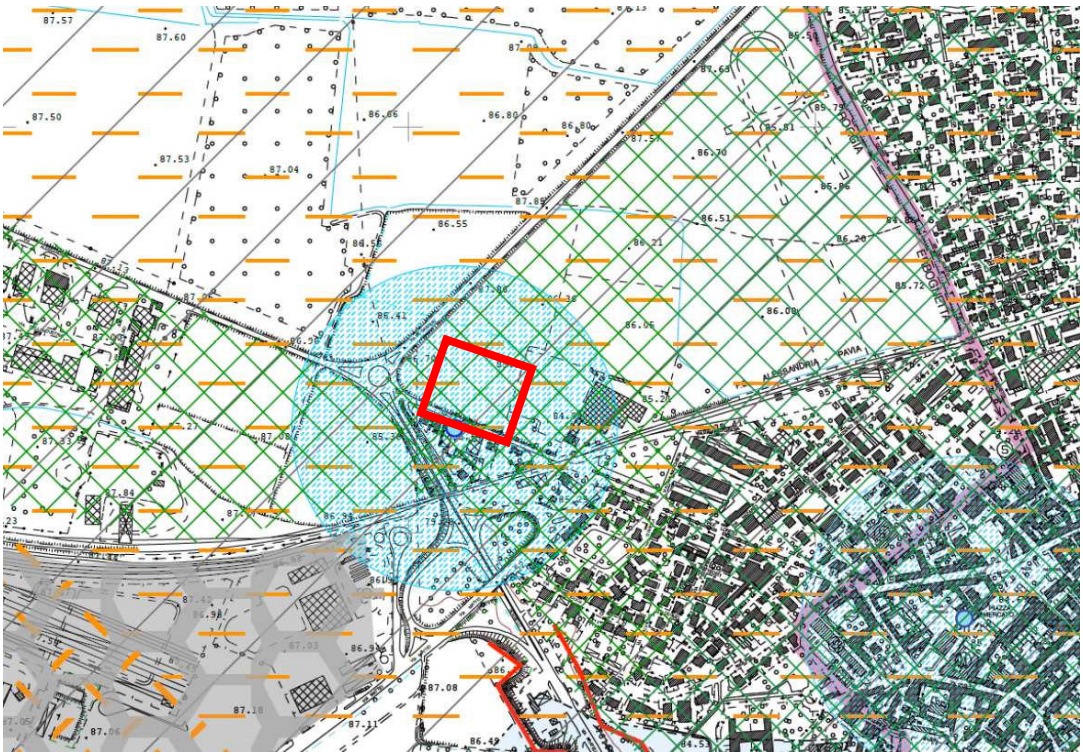


Figura 6: Stralcio "Tavola 2 carta di inquadramento idrogeologico" allegata al PGT di Sannazzaro de' Burgondi ; quota media del sito in esame circa 87,0 m slm

(tratta dallo studio a cura di Dr. Geol. Alberto Maccabruni, Studio Geo*Idro*tecnico Padano, 2016).



Grado di vulnerabilita' idrogeologica: alto - Grado di vulnerabilita' intrinseca : medio

Grado di vulnerabilita' idrogeologica: elevato - Grado di vulnerabilita' intrinseca : alto

Ambiti Territoriali Estrattivi individuati dal Piano Cave Provinciale (ATE g05, g06, g07)

Fascia di rispetto di m 10 dei corsi d'acqua, a partire dal ciglio superiore della scarpata lungo le rive e dal piede esterno degli argini, in assenza del Piano del reticolo idrico approvato

Pozzi acquedottistici: area di tutela assoluta (D. Lgs. 152/2006, art. 94)

Fascia di rispetto dei pozzi acquedottistici (D. Lgs. 152/2006, art. 94)

Alvei abbandonati del F. Po, localmente particolarmente ribassati rispetto al piano campagna

Area occupata dalla raffineria ENI spa. Si tratta di uno stabilimento a rischio di incidente rilevante sottoposto a normative nazionali.

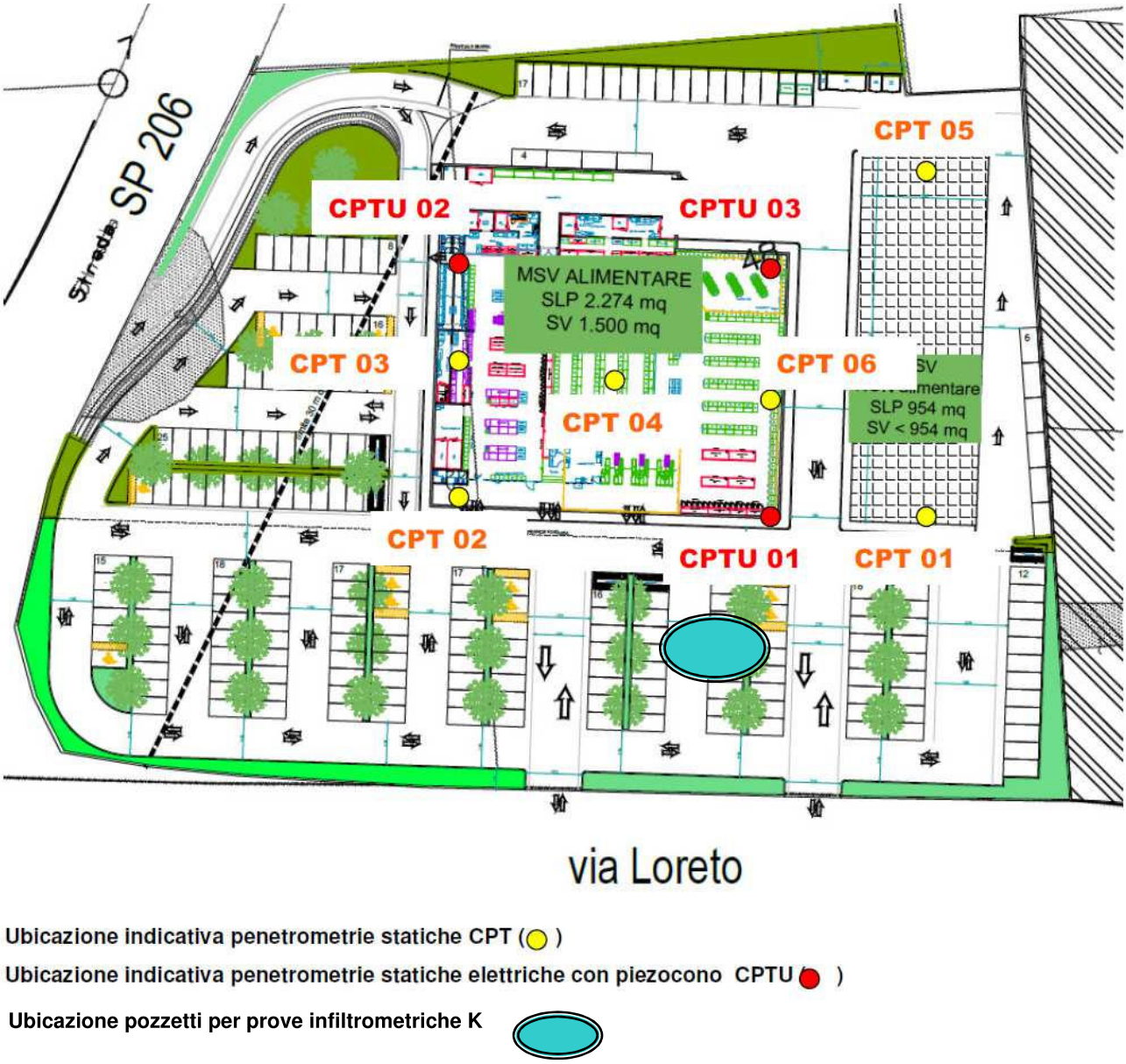
Figura 7: Stralcio "Tavola 4aN carta dei vincoli" allegata al PGT di Sannazzaro de' Burgondi (tratta dallo studio a cura di Dr. Geol. Alberto Maccabruni, Studio Geo*Idro*tecnico Padano, agg. 2017).

4. INDAGINI ESEGUITE

Considerato lo stato dei luoghi, le future esigenze progettuali e le indicazioni delle normative si sono eseguite nella fase di studio in oggetto le seguenti indagini geognostiche :

- Esecuzione di n. 3 prove penetrometriche statiche a punta elettrica CPTU rappresentative delle diverse porzioni dell'area (CPTU 1, spinta fino a 19,3 metri, CPTU 2 e CPTU 3 spinte fino a 10 m da p.c.))
- Esecuzione integrativa di sei prove penetrometriche statiche a punta meccanica a completamento delle informazioni recedenti (CPT 1÷6) spinte alla profondità di 8 metri dal piano campagna
- Esecuzione di undici trincee esplorative (**T1÷T11**) eseguite con escavatore meccanico e spinte fino a circa due metri dal piano campagna per una valutazione diretta delle caratteristiche litostratigrafiche dei primi livelli di terreno eseguite congiuntamente all'indagine Ambientale Preliminare realizzata dalla Tauw
- Realizzazione di due prove infiltrometriche in pozzetto per la valutazione della permeabilità del terreno, eseguite a due quote diverse, rappresentative delle diverse litostratigrafie (prova K1 da -1 ,0 m e prova K2 da -2 ,0 m)
- Raccolta delle indagini contenute nello studio geologico a supporto del PGT vigente già citato con particolare riferimento alla prova sismica MASW effettuata nell'area e la conseguente analisi di secondo livello eseguita sistemi delle normative regionali
- Raccolta ed utilizzo delle stratigrafie più significative disponibili dell'ambito (pozzi idrici, indagini pregresse in aree contigue con pozzetti, sondaggi geognostici), disponibile nelle banche date del comune e Regione Lombardia: (www.cartografia.servizirl.it).

Nella due figure successive si riportano rispettivamente l'ubicazione delle penetrometrie e dei pozzetti esplorativi effettuati; si rimanda agli allegati per tutta la relativa documentazione.



Ubicazione indicativa penetrometrie statiche CPT ( )

Ubicazione indicativa penetrometrie statiche elettriche con piezocono CPTU ( )

Ubicazione pozzetti per prove infiltrometriche K

Figura 8: Ubicazione penetrometrie eseguite (maggio 2024) e area prove infiltrometriche

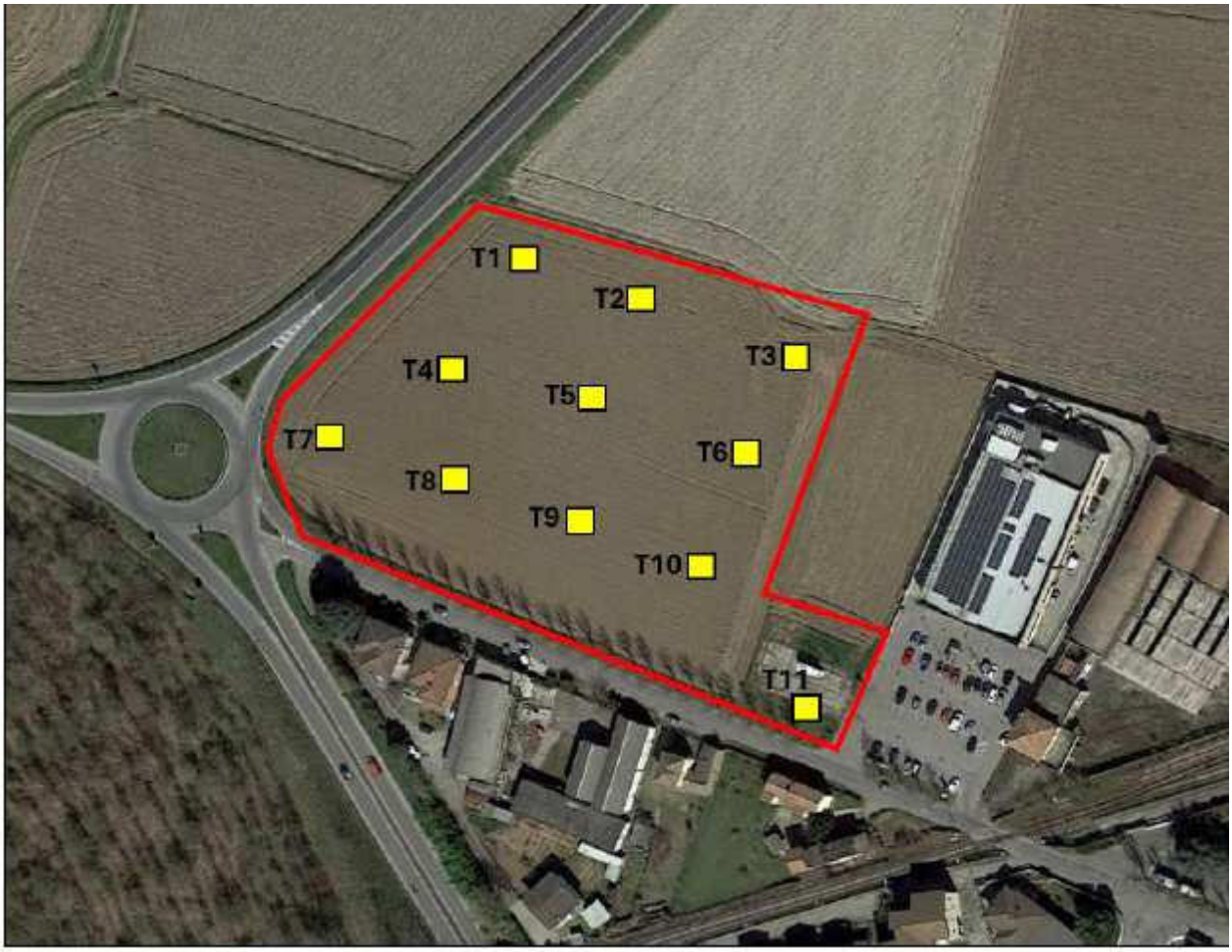


Figura 9: Ubicazione pozzetti esplorativi TAUW per indagini ambientali di riferimento (maggio 2024)

5 ANALISI DELLE INDAGINI ESEGUITE

5.1 Interpretazione delle prove penetrometriche statiche CPT a punta meccanica o a punta elettrica

Le prove penetrometriche statiche sono oggettivamente la prova migliore dal punto di vista costi/benefici per indagare i terreni come quelli in esame, prevalentemente fini, in quanto permettono di caratterizzare in continuo e con una precisione centimetrica le caratteristiche di resistenza alla punta, di attrito laterale e di pressione interstiziale da cui è possibile ricavare tutti i parametri necessari per una corretta caratterizzazione geotecnica e sismica del sito.

La prove penetrometriche statiche a punta meccanica permettono di ricostruire con buon dettaglio e con continuità le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati che risultano funzione dei valori di resistenza alla penetrazione (R_P) e dell'attrito laterale (R_L).

Le prove penetrometriche statiche a punta elettrica permettono di ricostruire con maggior continuità e dettaglio le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati che risultano funzione dei valori di resistenza alla penetrazione (RP) e dell'attrito laterale (RL); hanno inoltre la possibilità di rilevare la pressione interstiziale (*u*) che è un elemento molto utile per identificare con buona approssimazione la frazione argillosa, grazie alla registrazione in condizioni non drenate del suo aumento.

Questo permette di fornire anche più precise valutazioni su altri importanti elementi quali la sovraconsolidazione, la sensibilità e la possibilità di liquefazione, ad esempio.

Per la caratterizzazione geologico-tecnica dei vari livelli che costituiscono il modello stratigrafico di riferimento, si è fatto uso delle correlazioni più diffuse ed usate implementate in un foglio di calcolo predisposto internamente :

- Per i livelli coesivi, la resistenza al taglio non drenata C_u viene ricavata direttamente dai valori dalle prove CPT attraverso l'espressione

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k}$$

con N_k = 18;

mentre il modulo elastico E attraverso:

$$E = 100 \cdot C_u$$

- Per i <u>livelli incoerenti</u> sabbiosi e sabbioso-limosi, la densità relativa D_R è stato calcolata con la formula di Jamiolkowski mentre l'angolo di attrito di picco ϕ'_P è stato determinato in funzione del valore di D_R con la curva 1 di Schmertmann:

$$D_R = -98 + 66 \log_{10}(q_c / (\sigma'_{VO})^{0.5}))$$

dove per ϕ'_p :

1 - ϕ'_P=28+0.14D_R	(sabbia fine uniforme)
2 - ϕ'_P=31.5+0.115D_R	(sabbia media uniforme/fine ben gradata)
3 - ϕ'_P=34.5+0.10D_R	(sabbia grossa uniforme/media ben gradata)
4 - ϕ'_P=38+0.08D_R	(ghiaietto uniforme/sabbia e ghiaia poco limosa)

Si è successivamente applicata una riduzione del **5-7%** al valore dell'angolo di attrito di picco in modo da tenere in conto della presenza di una certa percentuale di materiale fine, mentre per la determinazione del modulo elastico dei materiali granulari si è utilizzata la formula di Berardi e Lancellotta

$$E = K_E \cdot P_a \cdot \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{0.5}$$

In cui:

K_E = numero adimensionale del modulo funzione della densità relativa;

P_a = pressione di riferimento, pari ad 1 atmosfera da esprimere nel sistema di unità prescelto; nel caso specifico, utilizzando il sistema internazionale ed esprimendo le grandezze in kN e m, si assume P_a = 100 kPa;

σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità considerata

Il rapporto fra modulo elastico di Young e la resistenza alla punta e regolata dai seguenti rapporti [Berardi et al. - 1991] :

$E'/q_c(0.25\%)$=2.0-3.5 [depositi molto recenti N.C. (man made)]
$E'/q_c(0.10\%)$=3.5-6.0 [depositi molto antichi N.C.]
$E'/q_c(0.10\%)$=6.0-12.0 [depositi O.C.]
N.B. : E'/q_c - decresce al crescere della D_R e del rapporto $q_c/(\sigma'_{vo})^{0.5}$

Ci sono poi diversi grafici e tabulati che, a partire dai rapporti fra resistenze alla punta e laterali, definiscono i litotipi presumibili quali il coefficiente Ic di Robertson (2010), la Soil Classification di Schneider ed al (2008) e programmi di calcolo che utilizzando varie tipologie di elaborazione cercano di interpretare e valorizzare al meglio quanto emerge da queste prove; a questo proposito si veda anche il rapporto di elaborazione delle indagini riportato in allegato D.

I risultati sono stati confrontati criticamente con quanto emerge utilizzando il più classico e diffuso programma di calcolo relativo alle prove penetrometriche a punta elettrica appositamente realizzato dalla GEOLOGISMIKI, denominato "CPET-IT" versione 2.3.1.9, i risultati relativi sono riportati in allegato. .

5.2 Risultati delle indagini penetrometriche e relative indicazioni

Rimandando a tutti i grafici relativi riportati in allegato nelle due figure seguenti si riportano i valori di resistenza alla punta ricavati di tutte le prove statiche CPT e CPTU eseguite nel sito in oggetto da cui si evince una sostanziale uniformità di caratteristiche su tutta l'area in oggetto, con la prevalenza di un litotipo sabbioso fine, più o meno limoso con rare intercalazioni di limi sabbiosi e limi argillosi.

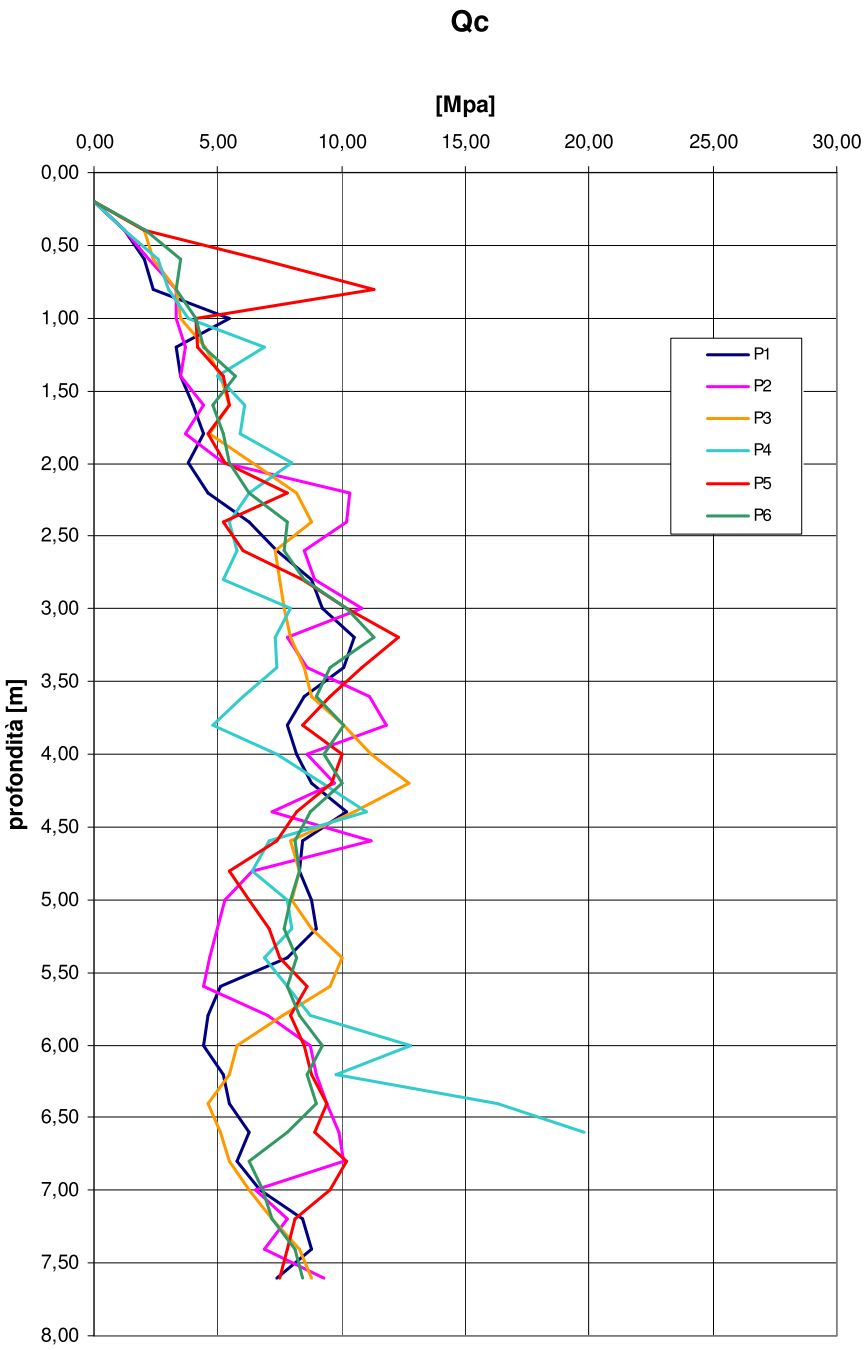


Figura 10 : resistenza alla punta prove penetrometriche statiche P1÷P6

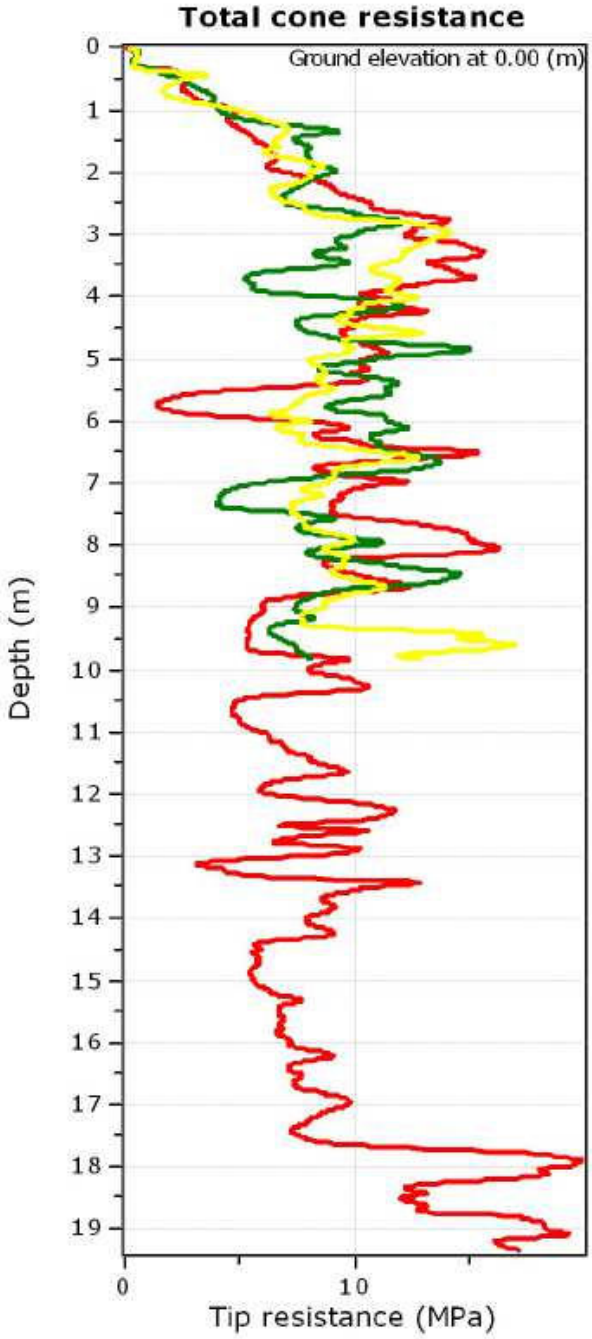


Figura 11 : resistenza alla punta prove penetrometriche statiche CPTU1÷CPTU3

E' quindi possibile suddividere il terreno in diverse unità sovrapposte che per buona parte hanno una corrispondenza con le unità litostratigrafiche e geologiche note :

- esiste un primo livello di suolo agrario a matrice argillosa con spessori variabile fra i 20 ed i 40 cm ; nel sub ambito materiali di riporto con spessori variabili (***unità V/R***)
- a seguire uno primo strato di sabbie limose di colore nocciola giallastra, per alterazione con spessori generalmente intorno al metro (80÷150) (***unità A***)
- a partire da 1,0÷1,5 metri di profondità, la litologia diventa più francamente sabbiosa, di colore nocciola chiaro fino ad almeno 4÷5 metri di profondità, (***unità B***)
- al di sotto, si segnala la presenza di intercalazioni limoso sabbiose o limoso argillose in un contesto comunque prevalentemente incoerente e sabbioso fino alla massima profondità indagata (20 metri) (***unità C***) all'interno di questa unità si segnala la presenza di un livello più fine ed a maggior contenuto argilloso intorno ai 5÷6 m a fra i 10 ed i 15 m di profondità (***unità C'***)

Rimandando agli allegati per le analisi e le caratterizzazioni dettagliate di ogni singola prova di seguito si riporta un estratto relativo all'interpretazione del comportamento secondo il litotipo (SBT) della CPTuA secondo Robertson 1990.

La superficie piezometrica è mediamente intorno ai 9 metri; nelle indagini è stata trovata a 9,8 m dal piano campagna, si ritiene che la quota massima non siano inferiore a 8 metri dal piano campagna.

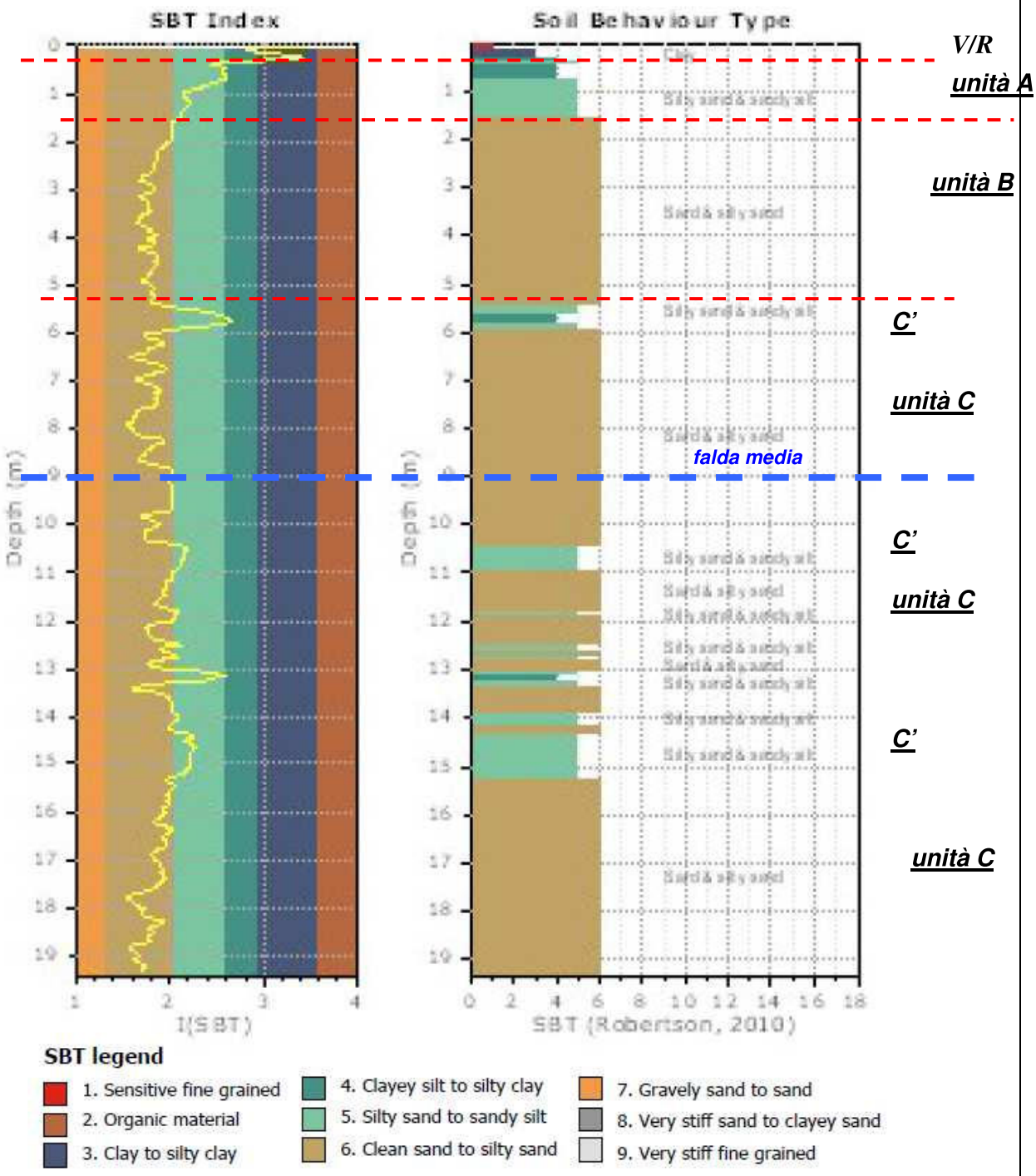


Figura 12 : litotipo sulla base del comportamento in CPTu1 (SBT secondo Robertson 1990)

Come è possibile verificare da un'osservazione attenta dei calcoli effettuati e riportati negli allegati alla relazione, la composizione litologica e le caratteristiche di addensamento o di consistenza, portano ad individuare con una buona precisione tutti i parametri geotecnici utili per i successivi dimensionamenti progettuali.

Inlinea generale i parametri di caratterizzazione ottenuti sono da considerarsi come buoni e compatibili con fondazioni dirette per le opere in oggetto, poste nell'unità A o B.

5.3 Indicazioni dai pozzetti esplorativi e prove di permeabilità

Come anticipato nei pozzetti effettuati si riscontra chiaramente il passaggio fra il primo livello di sabbie limose ocracee per alterazione alle sottostanti sabbie di colore nocciola chiaro posto intorno al metro circa; si osserva una omogeneità litostratigrafica su tutta l'area, se si escludono alcuni punti isolati (pozzetti T1, T3 e T11) dove sono presenti riporti o macerie sepolte (prevalentemente tegole).

Le due prove di infiltrazione effettuate in pozzetti appositamente realizzati consentono di determinare in modo molto semplice la permeabilità di un terreno superficiale al di sopra del livello della falda idrica.

Operativamente si realizza uno scavo, lo si riempie d'acqua e si valuta la portata necessaria per mantenere un livello costante (prove a carico costante) o si valuta l'abbassamento dell'acqua all'interno dello scavo (prove a carico variabile).

Il pozzetto di prova può essere di forma quadrata o circolare e le dimensioni possono essere scelte basandosi sugli strumenti di scavo disponibili.

In linea di principio comunque le dimensioni devono aumentare all'aumentare delle dimensioni dei granuli del terreno.

In particolare il lato del quadrato (nel caso di pozzetti a base quadrata) o il diametro del cerchio (per pozzetti circolari) deve essere superiore a 10-15 volte la dimensione della frazione granulometrica significativa.

Se il terreno è sabbioso o comunque con componente sabbiosa dominante, la dimensione del pozzetto è sempre superiore a 15 volte la dimensione dei granuli di sabbia.

Occorre comunque evitare di avvicinarsi eccessivamente alla superficie di falda perché, secondo le raccomandazioni AGI, deve risultare che il pozzetto deve essere a profondità non superiore ad 1/7 rispetto al livello della falda.

Nel nostro caso la profondità della falda è intorno ai 10 metri e quindi compatibile con le geometrie delle prove effettuate.

Prima di eseguire la prova il terreno deve essere preventivamente saturato mediante immissione d'acqua e si deve stabilire un regime di flusso permanente.

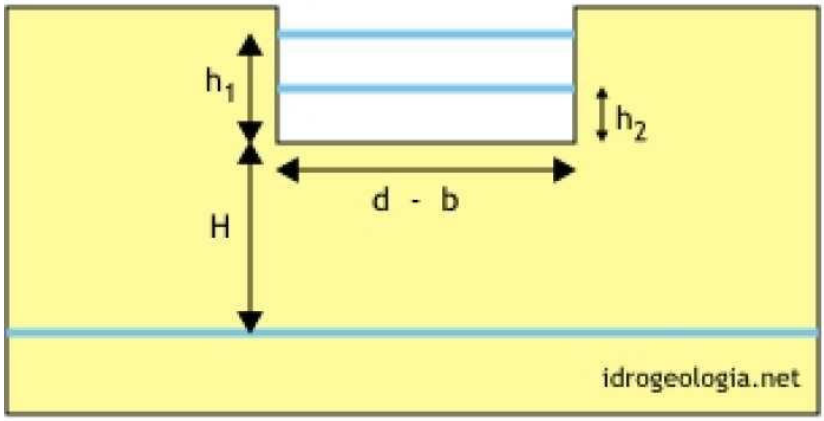


Figura 13 : modello teorico prova di permeabilità in pozzetto quadrato

La prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto quadrato viene calcolata secondo la seguente formula :

$$K = h_1 - h_2/t_2 - t_1*1+(2h_m/b)/27*(h_m/b)+3$$

dove :

b: lato del pozzetto a base quadrata;

h_m: altezza media dell'acqua nel pozzetto durante la prova

h_1 e h_2: altezze dell'acqua nel pozzetto, misurate dalla base del pozzetto, all'inizio e alla fine della prova

t_2-t_1: durata della prova a carico variabile.

Nelle formule tutte le distanze sono espresse in metri, i tempi in secondi e le portate in m^3/sec.

Il valore risultante della permeabilità è espresso quindi in metri/sec.

Le due prove effettuate si sono rilevate come significative per il sito in oggetto (si veda allegato seguente).

Tenendo presenti le variabili in gioco e la necessità di individuare un valore significativo in tempi medio lunghi si ritiene come utilizzabile **un valore medio minore od uguale a 1,0 * 10 $^{-3}$ m/s** per l'unità B, a partire dai circa un metro di profondità.

K 1(m/s) UNITA'A da -1,0 a – 1,5 m	K 2 (m/s)UNITA'B da -2,0 a – 2,5 m	valore conservativo da utilizzare (m/s)
≈ 3,9 * 10^{-3}	≈ 7,6 * 10^{-3}	**≤ 1.0 * 10^{-3}**

Tabella 1: valori di permeabilità in sito

6. ASPETTI SISMICI

L'emanazione dell'ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 ha determinato la classificazione sismica del territorio nazionale attraverso la definizione di 4 zone sismiche.

Questa classificazione è stata definita ed integrata dalla vigente D.G.R. n. X/2129 del 11 luglio 2014 (figura seguente). Secondo questa classificazione il comune di Sannazzaro de' Burgondi , appartiene **alla zona sismica 3,**; in particolare la **Delibera citata definisce per Sannazzaro il valore di accelerazione massima pari a 0,067871.**

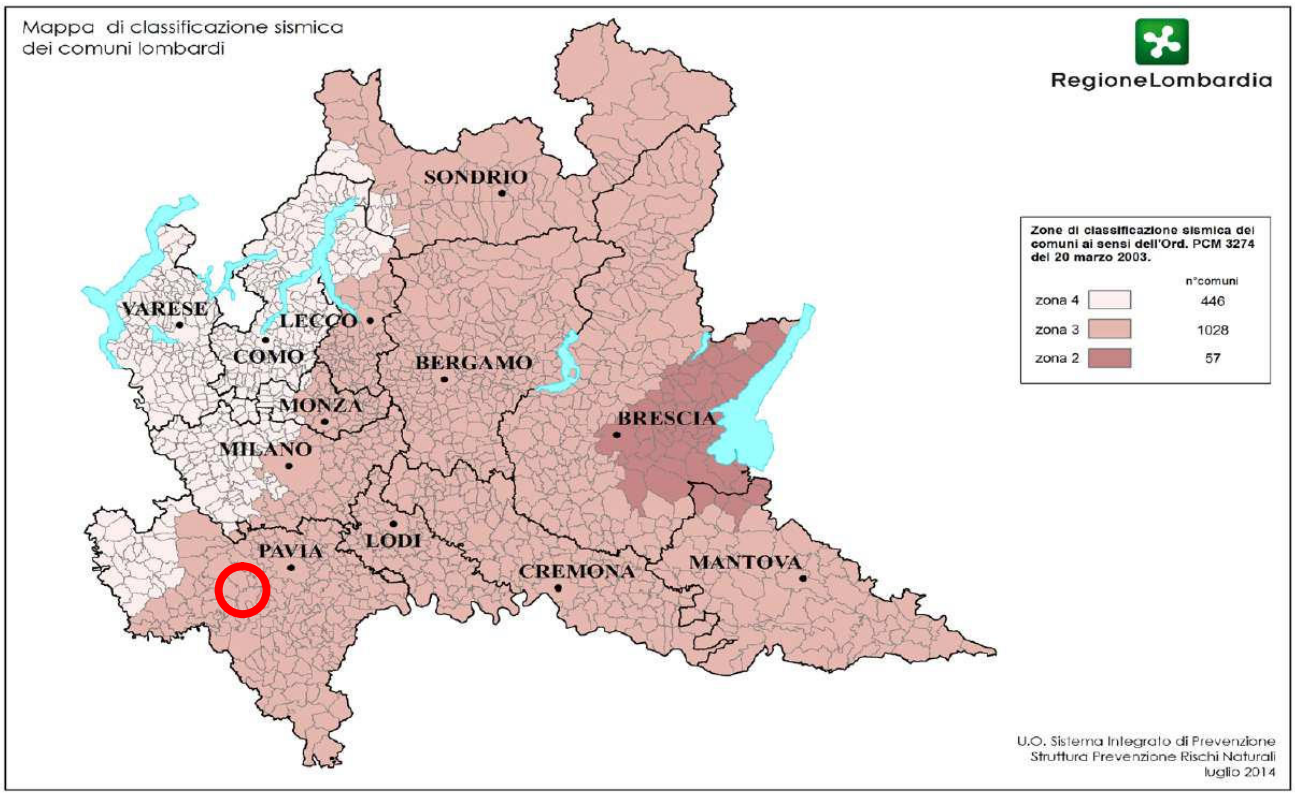


Figura 14: classificazione sismica dei comuni della Lombardia
(D.G.R. n.X/2129 , 11 luglio 2014).

6.1 Zona pericolosità sismica

Il punto di partenza per la valutazione della pericolosità sismica sitospecifica sono le mappe prodotte dall INGV (istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; la mappa della figura seguente,

centrata sul nostro sito, rappresenta il modello di pericolosità sismica con i valori di scuotimento PGA (*Peak Ground Acceleration*), espressa in termini di g (accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido di classe A (Vs30 > 800 m/s).

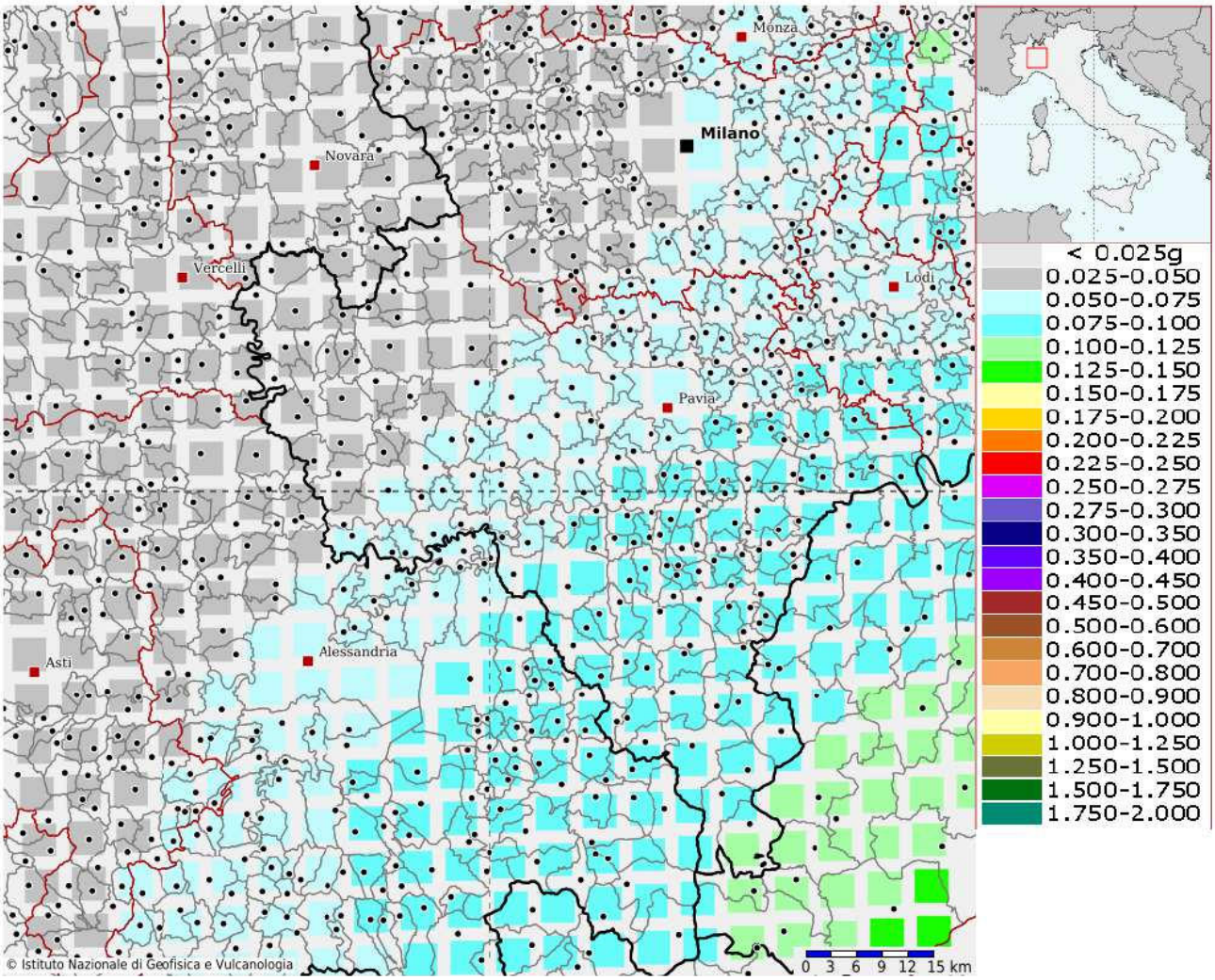
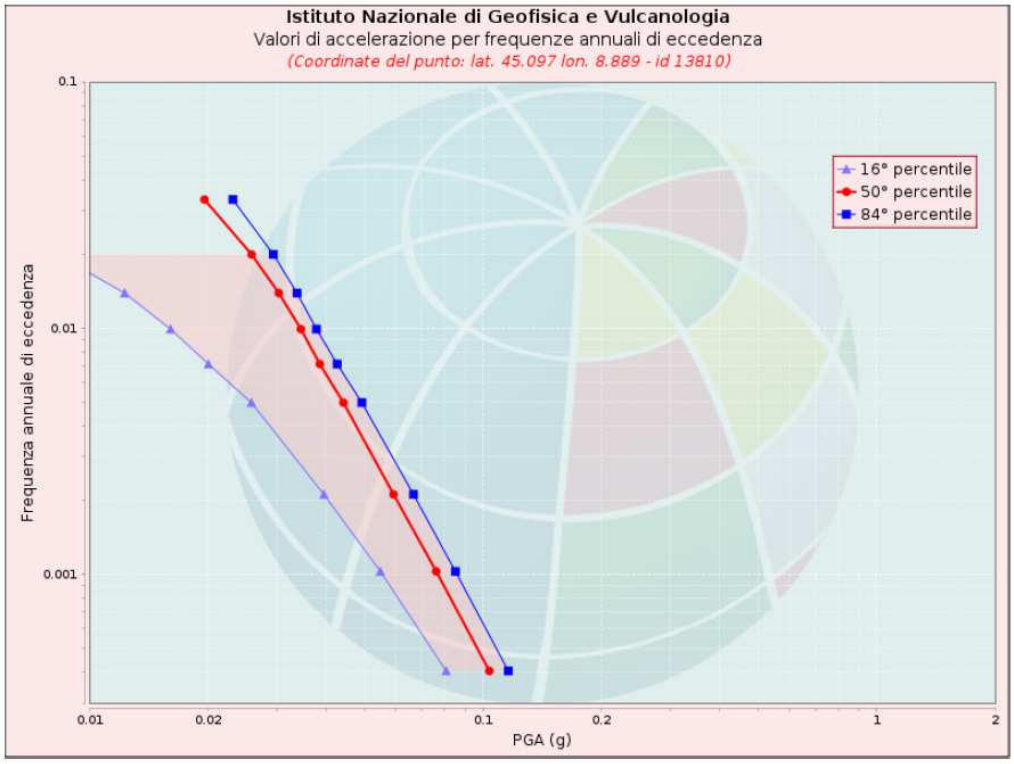


Figura 15 : mappa di pericolosità sismica centrata sul sito in oggetto

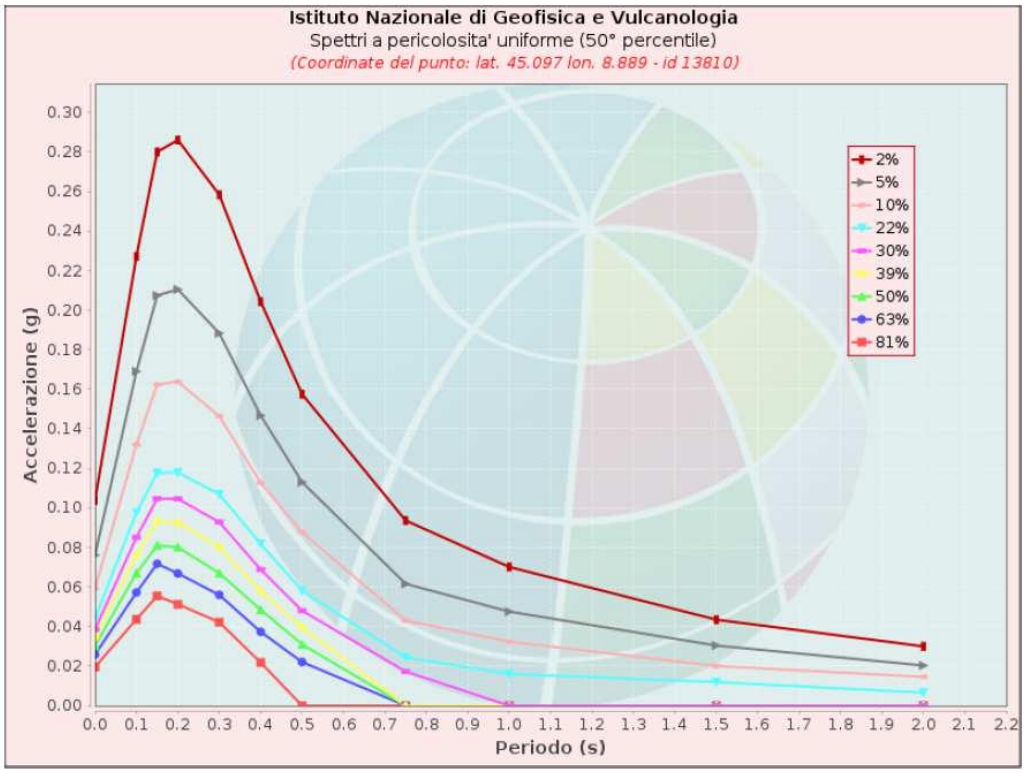
Di seguito si riportano le curve di pericolosità intesa come l'insieme dei valori di scuotimento (sempre riferito alle PGA), per diverse frequenze annuali in un rapporto inversamente proporzionale fra eccedenza e periodo di ritorno. Vengono riportati nel grafico e nella tabella collegata i valori di PGA al 16°, 50° e 84° percentile.



Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.081	0.104	0.116
0.0010	0.055	0.076	0.085
0.0021	0.039	0.059	0.067
0.0050	0.026	0.044	0.049
0.0071	0.020	0.039	0.043
0.0099	0.016	0.034	0.038
0.0139	0.012	0.030	0.034
0.0199	0.008	0.026	0.029
0.0332	0.000	0.020	0.023

Figura 16 : diversi valori di scuotimento delle PGA nel sito (grafico e tabella)

Nella successiva figura si riportano gli spettri a pericolosità uniforme riferiti al 50° percentile fra i zero ed i due secondi a secondo delle diverse probabilità di eccedenza in 50 anni (da 2% a 81%)



PoE in 50 anni	Spettri a pericolosita' uniforme (50° percentile) — Accelerazione (g), Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.104	0.227	0.280	0.286	0.258	0.204	0.158	0.094	0.070	0.044	0.030
5%	0.076	0.169	0.207	0.210	0.188	0.147	0.113	0.062	0.048	0.030	0.020
10%	0.059	0.132	0.162	0.164	0.146	0.113	0.088	0.043	0.032	0.020	0.015
22%	0.044	0.098	0.118	0.118	0.107	0.082	0.058	0.024	0.016	0.012	0.007
30%	0.039	0.085	0.105	0.105	0.093	0.069	0.048	0.017	0.000	0.000	0.000
39%	0.034	0.076	0.093	0.093	0.080	0.058	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
50%	0.030	0.067	0.081	0.080	0.067	0.049	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.026	0.057	0.072	0.067	0.056	0.037	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.020	0.044	0.055	0.051	0.042	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 17 : spettri a pericolosità uniforme per 50° percentile (grafico e tabella)

A completamento di questa analisi statistica relativa al sito viene fornita da INGV un grafico di disaggregazione ed una tabella che fornisce la coppia di valori fra valore di Magnitudo e

distanza epicentrale dal sito in esame, molto utile come elemento informativo per la scelta del terremoto di progetto.

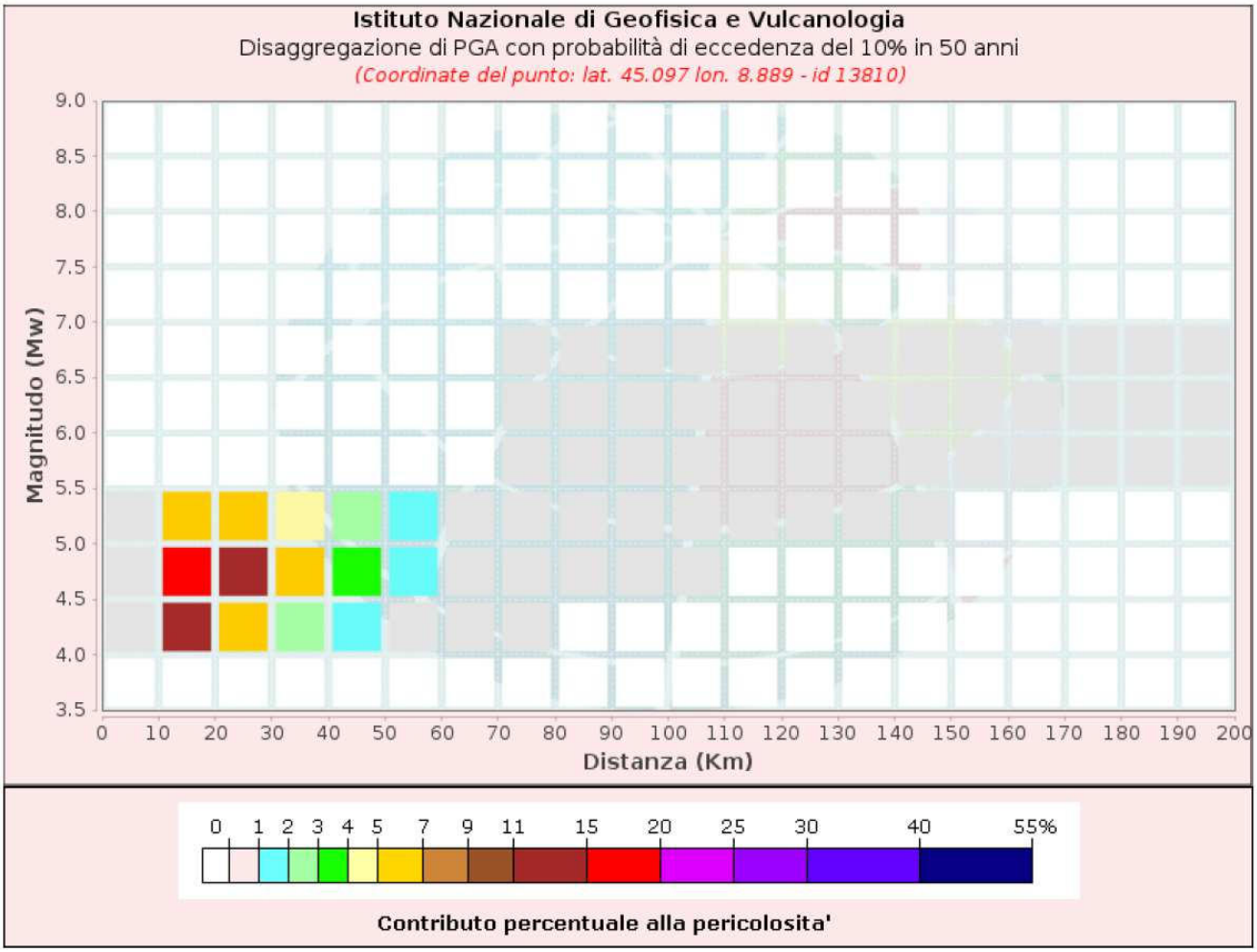


Figura 18 : contributi alla pericolosità per intervalli di magnitudo e distanza epicentrale dal sito in oggetto (grafico di disaggregazione)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Distanza in Km	Magnitudo 3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.7790	0.9940	0.3200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	11.1000	16.7000	6.7400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	5.9100	12.9000	6.9500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	2.9300	6.7000	4.6500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	1.0200	3.0500	2.6600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.2000	1.1800	1.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0017	0.3120	0.5960	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0072	0.3530	0.7590	0.3490	0.0812	0.0143	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.2320	0.9970	0.9650	0.4180	0.0762	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0563	0.5640	0.6980	0.2990	0.0577	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0053	0.2610	0.4650	0.2570	0.0513	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.1130	0.3420	0.2870	0.0496	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0593	0.3300	0.3940	0.0449	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0247	0.3310	0.4460	0.0405	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.3210	0.4870	0.0350	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2350	0.4620	0.0299	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1370	0.3850	0.0240	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0566	0.2230	0.0182	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0094	0.0532	0.0134	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.0298	0.0093	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.89 ; distanza = 35.2 ; epsilon = 1.22

Tabella 2 : tabella relativa ai valori della figura precedente

Da cui si evince che il valore medio di Magnitudo è inferiore a pari a 4,89; se però, come consigliato da diversi autori (Aiello, 2012) consideriamo, con un criterio molto conservativo, tutti i dati disaggregati otteniamo per distanza 0÷50 Km (si veda riquadro rosso in tabella precedente) :

- M 4,0-4,5 = 22,73%
- M 4,5-5.0 =40,34 %
- M 5,0-5,5 = 21,32%

Per una percentuale complessiva pari a 84,4 % che suggerirebbe di utilizzare come magnitudo massima un valore molto conservativo di Mw= 6.0

A completamento si riportano i parametri sito specifici dei valori dei coefficienti sismici per la categoria di suolo C e dei parametri a_g, Fo e T*c per classe nominale IV (funzioni pubbliche e d uffici strategici) .

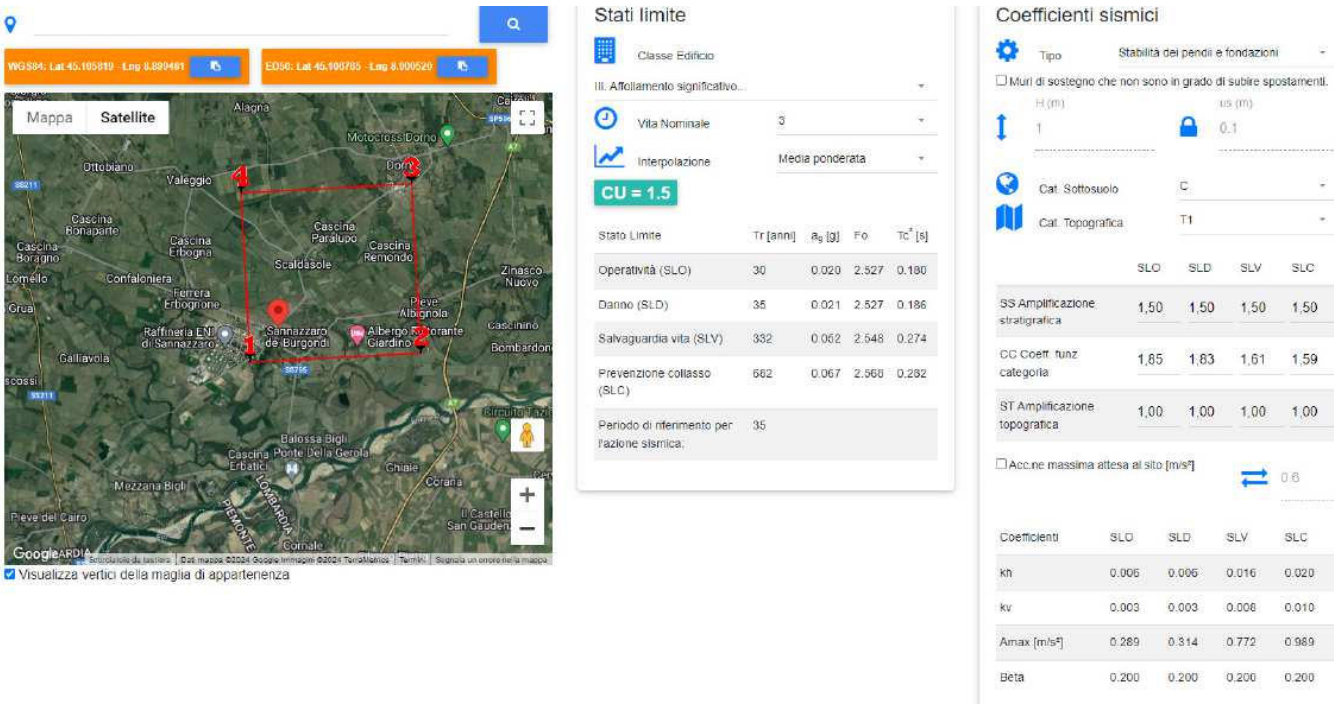


Figura 19 : i parametri sito specifici dei valori dei coefficienti sismici per la categoria di suolo C e dei parametri a_g, Fo e T*c per classe nominale II (da sito *Geostru: gestione dei parametri sismici*)

6.2 Modello sismico monodimensionale, pericolosità sismica locale e categoria di suolo

Sulla base della normativa vigente e dello studio geologico allegato alla variante di PGT vigente si rileva che l'area in oggetto è interessata dall'amplificazione litologica relativa ai depositi alluvionali di pianura granulari e/o coesivi, appartenenti alla classe Z4a.

L'analisi di secondo livello consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi per l'area in oggetto e si concretizza con la stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di amplificazione (FA).

La valutazione del fattore FA, tenuto conto delle caratteristiche dell'area in esame (zona sub-pianeggiante), viene condotta per uno scenario suscettibile di amplificazione di tipo litologico o stratigrafico, ovvero viene "quantificato" l'effetto delle condizioni litostratigrafiche locali in grado di modificare l'intensità delle onde sismiche generate da un terremoto.

La procedura prevede il confronto del valore di FA caratteristico dell'area rispetto al valore di FA caratteristico del territorio comunale in cui l'area è inserita: tale valore, detto "*di soglia*", è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Nei capitoli successivi e nella determinazione dei valori di FA si è fatto riferimento a quanto contenuto ed indicato nell'Allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616 del 30.11.2011.

Nel caso presente si è fatto riferimento all' "Approfondimento sismico di secondo livello" redatto dal dr. Geol. Alberto Maccabruni (febbraio 2017) di cui si prende atto e nell'ambito del quale si è eseguita una delle 5 prove MASW eseguite , in particolare la numero L1.

La prova Masw, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde di taglio S con la profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Di seguito si riporta il modello di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ricostruito a partire dal profilo MASW L1 citato :

Spessore	Profondità	Vs (m/sec)
1,2	0,0-1,2	**147**
1,5	1,2-2,7	**181**
2,6	2,7-5,3	**218**
2,6	5,3-7,9	**230**
3,3	7,9-11,2	**249**
5,3	11,2-16,5	**237**
5,6	16,5-22,1	**281**
7,9	22,1-30,0	**319**

Tabella 3: modello sismico monodimensionale di riferimento (op. cit.)

A partire dal profilo Vs-profondità ricostruito per l'area in esame (figura seguente) è possibile calcolare la categoria di sottosuolo, a partire dal valore delle $V_{s,eq}30$, a secondo del piano di partenza preso a riferimento.

Si fa presente che nel nostro caso si fa riferimento inizialmente al piano campagna nel punto dove è stata eseguita la prova.

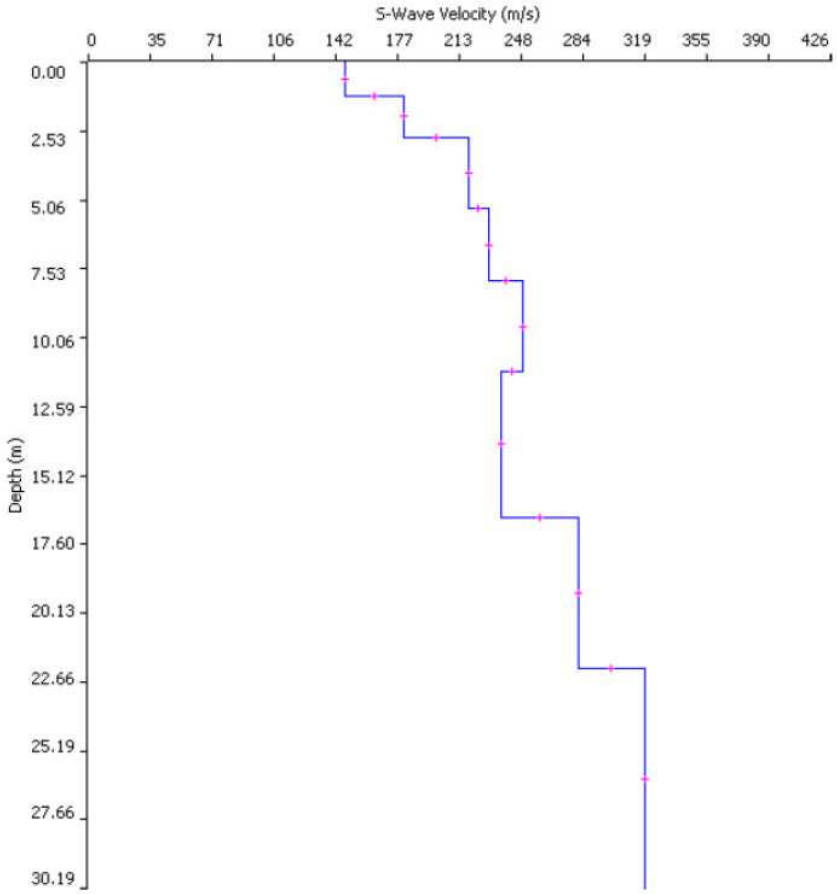


Figura 20: grafico velocità onde S (m/s) / profondità (m) (op. cit.)

Per il calcolo delle $V_{s,eq}30$ si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 17.01.2018 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

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

dove H_i e $V_{S,i}$ indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo, (in m/s) per un totale di N; H è la profondità in m del substrato simico (Vs ≥ 800 m/s), pari a 30 metri se la sua profondità è superiore a questa.

Utilizzando la formula sopra riportata si può stimare la categoria di suolo, secondo quanto definito dalle NTC 2018 (tabella seguente) alla profondità fondazionale richiesta.

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.

Tabella 4: secondo il capitolo 3.2.2 del DM. 17.01.2018 (NTC), tabella 3.2.II

Di seguito si riporta il valore riferiti a tre quote di riferimento

Quota (m)	$V_{(s,eq)}$ 30 (m/s)	Categoria di Suolo
p.c.	**250**	**C**

Tabella 5: categoria di suolo (dalla MASW di riferimento)

Si evince che i valori medi di Vs_{30} sono tipici per la categoria di suolo.

6.3 Analisi sismica di secondo livello e categoria di suolo

Come espressamente previsto nell'allegato 5 alla DGR 2616/2011 quando, come nel caso in esame, il sito in oggetto presenta uno scenario di pericolosità sismica locale (PSL) vanno previste verifiche e modellazioni con un'analisi di II° livello ed eventualmente III° livello.

Il secondo livello è applicabile nel nostro caso in quanto :

- sono assenti fenomeni 2D legati alla risonanza del bacino
- sono assenti inversioni di velocità significative
- i contrasti di impedenza sismica sono <3
- i valori di V_{sh} sono > 250 m/s

Per l'analisi vengono utilizzati i dati della prova MASW; pertanto, come già detto, il **livello di attendibilità**, derivante da indagini sismiche dirette, è da considerarsi **alto** ai sensi della tabella 2 dell'allegato 5 alla DGR IX/2616 del 2011.

Individuazione della scheda di valutazione

Sulla base della natura litostratigrafica dei terreni indagati e, soprattutto, dell'andamento delle Vs con la profondità ricostruito per il sito in esame, si è utilizzata la scheda litologica di riferimento più pertinente fra quelle proposte nell'allegato 5 della DGR citata, che è risultata essere quella denominata come "sabbiosa"

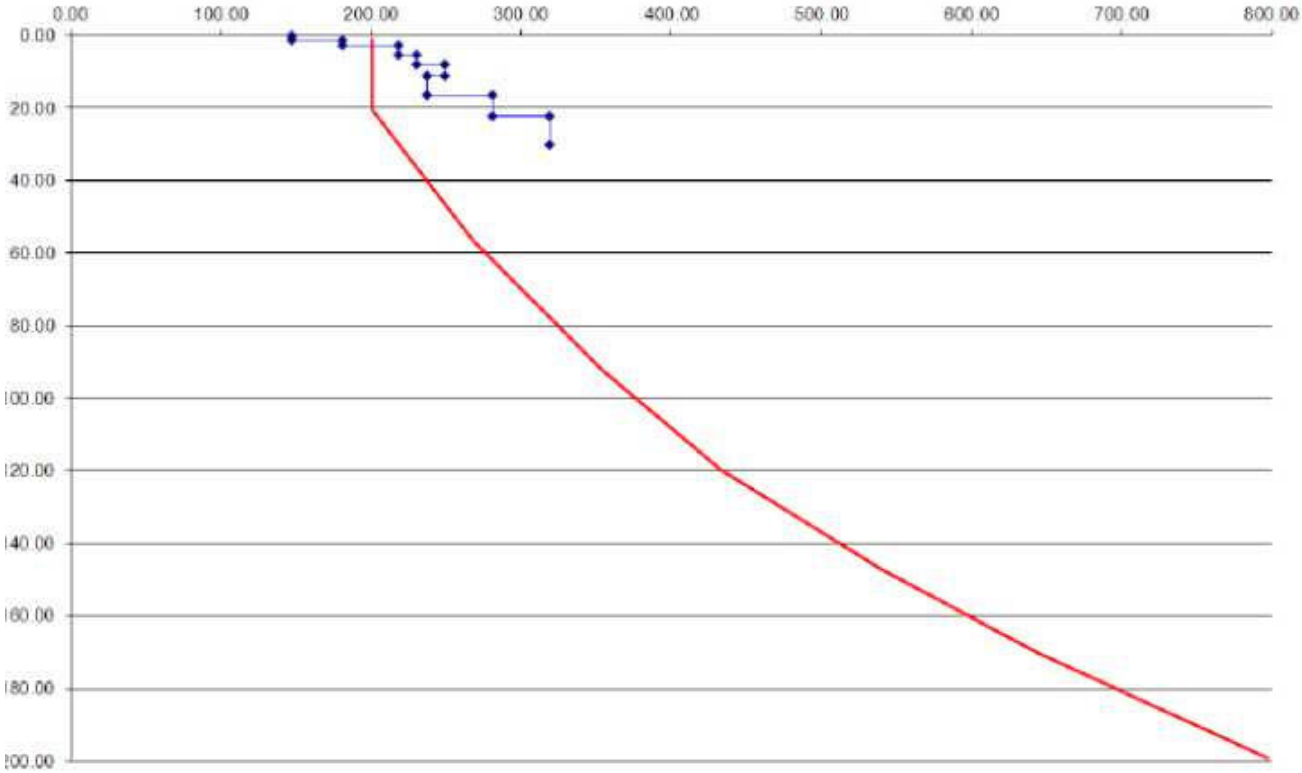


Figura 21 : campo di validità litologia sabbiosa per la Vs misurata nella MASW L1 (op. cit.)

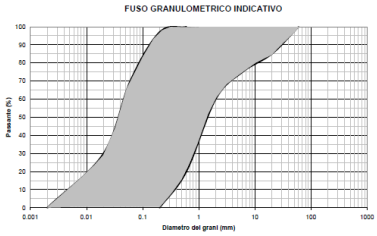
Di seguito si riporta la scheda "litologia sabbiosa" in oggetto.

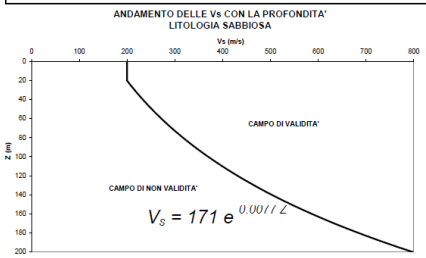
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%





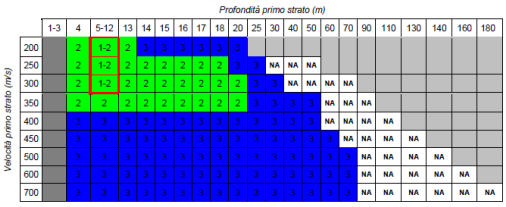


Figura 22: scheda litologia sabbiosa, prima parte (all. 5 DGR IX/2616 del 2011)

Dall'analisi effettuata, per valori dei periodi di ritorno T delle strutture compresi fra 0.1s÷0.5s si sono ottenuti fattori di soglia Fa ≈ 1,0, mentre per valori dei periodi di ritorno T delle strutture compresi fra 0.5s÷1.5s si sono ottenuti fattori di soglia Fa ≈ 1,8

Per cui, essendo la soglia per il suolo C fissata, per il comune di Sannazzaro de' Burgondi in 1.9 per edifici bassi e pari a 2,4 per edifici alti, si ottiene che

<u>Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)</u>

per cui si prescrive :

- **di adottare qualsiasi sia la quota di base delle fondazioni <u>la categoria di suolo C</u> nelle valutazioni progettuali delle strutture per gli edifici in esame per qualsiasi periodo proprio T**

6.4 Verifica alla liquefazione

Le NTC attualmente in vigore propongono una griglia di casi per i quali il sito non presenta possibilità di liquefazione dei terreni; in particolare la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze :

a) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0,1 g
b) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna
c) depositi costituiti da sabbie pulite con $NSPT_{(60)} > 30$ o $q_{c1N} > 180$
d) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figure riportate in normativa (prevalenza componente sabbiosa e limosa)

Per una valutazione del potenziale di liquefazione le prove penetrometriche statiche a punta elettrica con piezocono sono sicuramente quelle che forniscono i più affidabili risultati in assoluto, fra le prove di campagna.

Nel nostro caso si sono analizzate con diverse ipotesi di calcolo i valori ottenuti dalla prova CPTU 1 utilizzando il software specifico **Liquef.exe** (autori A. Marcellini, J. Facciorusso, D. Gerosa, 2017) ; questo programma consente di effettuare il calcolo del potenziale di liquefazione e degli indici di severità di liquefazione a partire dai risultati di una prova CPTU o CPT, utilizzando il metodo di Robertson 2009 (*ROB09 – Robertson, P.K. 2009. Performance based earthquake design using the CPT Proceeding, IS- Tokio 2009, June 2009, Tokio, Jaan, pp.23-20*).

Di seguito si riporta la definizione del Potenziale di Liquefazione

Potenziale di liquefazione

$$Fs = \frac{CCR}{CSR} \bullet MSF$$

CCR = resistenza al taglio mobilitabile nello strato
CSR = sforzo tagliante indotto dal sisma
MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma

Sforzo tagliante

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0'}} r_d$$

a_{max} = accelerazione sismica massima
g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/sec^2
σ_{vo} = pressione litostatica totale alla profondità z dal p.c.
$\sigma_{vo'}$ = tensione litostatica efficace alla profondità z dal p.c.
rd = coefficiente funzione della profondità dal p.c.

Resistenza al taglio

$$CCR = 0.03 \cdot \left(\frac{V_{s1}}{100}\right)^2 + \frac{0.9}{V_{s1c} - V_{s1}} - \frac{0.9}{V_{s1}}$$

V_{s1} (m/s) = $Vs(1/\sigma_{vo'})^{0.25}$ = velocità delle onde S nello strato corretta, con Vs velocità misurata e $\sigma_{vo'}$ (k/cm^2) pressione litostatica efficace a metà strato

V_{s1c} (m/sec) – valore critico delle onde S nel deposito (V_{s1c} variabile tra 200 e 220 m/sec in funzione della percentuale di fino)

da queste definizioni si ricava il parametro "Indice di Potenziale Liquefazione IL" (Iwasaki et al. 1978) esplicabile mediante le seguenti relazioni:

$$I_L = \int_0^{Zcrit} F(z) \times w(z) \cdot dz$$

dove:

F(z) = 0	per FSL ≥ 1,2
F(z) = 2 • 10^6 exp (-18,427 • FSL)	per 1,2 >FSL > 0,95
F(z) = 1-FSL	per FSL ≤ 0,95

$w(z) = 10 - 0{,}5 \times z$

z = profondità dal piano campagna;
zcrit = profondità critica pari a 20 m.

Dal valore di I_L ricavato è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione sulla base della tabella seguente:

Valore IL	Potenziale di liquefazione
IL = 0	Non liquefacibile (FSL ≥ 1,2)
0 < IL ≤ 2	Basso
2 < IL ≤ 5	Moderato
5 < IL ≤ 15	Alto
IL > 15	Molto alto

Tabella 6 : classificazione del potenziale di liquefazione

Con il programma di calcolo **Liquef.exe** si ottengono dei tabulati analiti molto particolareggiati (a disposizione negli archivi societari), da cui si evincono nel dettaglio le propensioni alla liquefazione di ogni singolo livello centimetrico. I dati di ingressi (*input*) del programma sono, per ognuno di questi strati :

depth	profondità
Qt	Resistenza alla punta totale
fs	resistenza per attrito laterale
u	pressione interstiziale

Tabella 7 : tabella file *input* del programma ***liquef.exe***

I file di *output* sono riportati nella tabella seguente

Rf	rapporto di attrito
Gamma	peso di volume – Robertson 2010
sv	tensione litostatica verticale totale
u0	pressione neutra
sv1	tensione litostatica verticale efficace
F	rapporto di attrito normalizzato
Qn	resistenza alla punta normalizzata
n1	esponente di normalizzazione
CN	fattore di normalizzazione rispetto alla tensione litostatica
Ic	Soil behaviour type - indice di tipo del terreno
qt1N	resistenza alla punta normalizzata rispetto alla tensione litostatica
K	fattore correttivo per sabbie pulite
qt1NCS	resistenza alla punta normalizzata equivalente per sabbie pulite
Rd	fattore di riduzione delle tensioni di taglio indotte dal terremoto
CSR	rapporto delle tensioni di taglio cicliche indotte dal sisma
Ksig	attore di correzione della resistenza rispetto alla pressione efficace di confinamento
MSF	fattore di scala della magnitudo
CRR	rapporto di resistenza ciclica
liqsan	indice di liquefacibilità (0=non liquefacibile; 1= FSL>1.2; 2= 0.95<FSL<1.2;3= 0.5<FSL<0.95;4= FSL<0.5)
CRRL	rapporto di resistenza ciclica per i soli strati liquefacibili
FSL	fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione
LPb	probabilità di liquefazione
DRCS1	densità relativa da Tatsuoka et al. (1990) - decimale
DRCS2	densità relativa da Salgado et al. (1997) - decimale
gammamax1	deformazione di taglio massima (utilizzando DRCS1)
gammamax2	deformazione di taglio massima (utilizzando DRCS2)
epsv1	deformazione volumetrica (usando gammamax1)
epsv2	deformazione volumetrica (usando gammamax2)
zminliq	profondità del tetto dello strato liquefacibile
zmaxliq	profondità della base dello strato liquefacibile
Dzliq	spessore dello strato liquefacibile
H1	spessore dello strato non liquefacibile superficiale
H2	massimo spessore dello strato liquefacibile
W10	funzione di pesi calcolata assumendo la profondità critica zcr =10m
W20	funzione di pesi calcolata assumendo la profondità critica zcr =20m
LPI10	Indice del potenziale di liquefazione calcolato assumendo la profondità critica zcr =10m
LPI20	Indice del potenziale di liquefazione calcolato assumendo la profondità critica zcr =20m
LDI10	Indice di spostamento laterale calcolato assumendo la profondità critica zcr =10m
LDI20	Indice di spostamento laterale calcolato assumendo la profondità critica zcr =20m
LSI10	Indice di cedimento verticale calcolato assumendo la profondità critica zcr =10m
LSI20	Indice di cedimento verticale calcolato assumendo la profondità critica zcr =20m
Lpbl10	Indice di probabilità di liquefazione calcolato assumendo la profondità critica zcr =10m
Lpbl20	Indice di probabilità di liquefazione calcolato assumendo la profondità critica zcr =20m

Tabella 8 : tabella file *output* del programma ***liquef.exe***

Nelle simulazioni si sono utilizzati un valore di magnitudo di riferimento pari a 6,0 M_{max}, con una profondità indicativa della falda pari a 8,0 metri ed un'accelerazione massima a_{max} non

inferiore a 0,1 ; sono valori che si considerano adeguatamente conservativi e congrui rispetto al sito ed all'opera in oggetto

Rimandando a tutti i tabulati di output a disposizione negli archivi societari, si possono in sintesi trarre le seguenti conclusioni :

- Per la CPTU esaminata risulta verificata sostanzialmente come a POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE NULLO, con un indice IL massimo calcolato pari a zero
- L'indice di probabilità di liquefazione con una profondità critica di 10 m. è trascurabile (0,001 % massimo)

Da tutte queste considerazioni si ritiene l'area in oggetto come non liquefacibile in particolare per l'elevato addensamento dei terreni in zona satura.

6.5 Categoria topografica

Come si evince facilmente dall'areofotogrammetrico comunale (in scala 1:5.000) l'area in oggetto è pianeggiante e quindi, ai sensi della tabella 3.2.III del capitolo 3.2.2 delle NTC2018 corrispondente alla categoria topografica T1 (con coefficiente topografico S_T =1,0).

7 MODELLO GEOLOGICO E DI PRIMA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1 Analisi stratigrafica e sezioni geologiche

I risultati delle indagini disponibili confermano sostanzialmente la successione stratigrafica tipica di questo settore del sottosuolo di Sannazzaro de' Burgondi, come si evince anche dalla stratigrafia del pozzo pubblico idropotabile di via Loreto ubicato poco a sud del sito (si veda stratigrafia in allegato)

Al di sotto di un primo livello con spessori decimetrici di suolo agrario a prevalente componente argilloso e limitate aree con riporti, il terreno naturale è sostanzialmente costituito da sabbie con subordinate intercalazioni più limose e o argillose; in particolare è evidente un primo livello sabbioso con spessore di circa un metro che presenta una certa alterazione e di colore nocciola ocraceo a cui seguono sabbie nocciola biancastre; alcuni livelli limoso sabbiosi e/o limoso sabbiosi sono segnalati intorno ai 5÷6 metri e con una maggior frequenza fra i 10 ed i 15 metri di profondità, in un contesto comunque prevalentemente incoerente e sabbioso

La falda, trovata nelle prove eseguite nel maggio del corrente anno, in un periodo ad elevata piovosità , ad una profondità di circa 9,8 metri può oscillare mediamente fino ad un minimo di otto metri dal piano campagna attuale, valore da assumere come falda di progetto.

7.2 Modello geologico e di prima caratterizzazione

Dai risultati sin qui ottenuti è possibile schematizzare un modello geologico e di prima caratterizzazione geotecnica dell'area in oggetto, base di partenza per le considerazioni successive che andranno sviluppate in fase progettuale Nella seguente tabella verrà descritto uno schema del modello individuato a partire dalle indagini effettuate.

La descrizione litologico - tecnica è stata effettuata secondo le norme di classificazione della Associazione Geotecnica Italiana A.G.I., 1977.

Pertanto il modello geologico e sismostratigrafico di riferimento (può essere così schematizzato nelle seguenti unità.

Unità Geotecnica	γ [kN/m^3]	Dr [%]	ϕ'	Cu kPa	Mod. E [MPa]	Profondità da p.c. [m]	Litologia	Note
R	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.0/0.5	Terreni agrari argillosi	In alcuni punti T1, T3 e T11, riporti con macerie puntuali e spessore ordine di uno/due metri, da rimuovere
A	18.5	40-60	32-36°	0	10-20	0,5÷1,0	Sabbie fini limose di colore nocciola giallastro/ocraceo	comportamento incoerente (permeabilità 1 * 10 $^{-3}$ m/s)
B	18	40-60	34-36°	0 (200)	20-60	1,0÷4,5	Sabbie fini e medie prevalenti colore nocciola chiaro	comportamento incoerente (permeabilità 6 * 10 $^{-3}$ m/s)
C	18.5	20-50	30-32°	(200-500)	20-40 →100	4,5÷20,0	Sabbie prevalenti con intercalazioni limoso sabbiose e/o limoso argillose subordinate, più frequenti intorno ai 5 – 6 ed intorno ai 10-15 m	comportamento prevalentemente incoerente, livelli coesivi subordinati e trascurabili

(per i dettagli sui parametri si rimanda alle sintesi delle analisi sulle prove riportate negli allegati)

NB : Falda di progetto – 8,0 m da p.c. attuale

Tabella 9: modello geologico tecnico preliminare di riferimento

8 GESTIONE DEI MATERIALI DI SCAVO

Ulteriore aspetto importante da considerare è la gestione dei materiali di scavo, in particolare in riferimento ad eventuali asporti e bonifiche tecniche ed in rapporto all'iter prescelto per il titolo abitativo. A questo proposito – in linea generale - si ricorda che l'operatore può scegliere di gestire i materiali da scavo risultanti da attività edilizie:

1. in qualità di rifiuti secondo le relative norme (avvio a recupero o smaltimento, eventuali bonifiche); ipotesi, da utilizzare senz'altro per le macerie.
2. reimpiegandoli nel medesimo sito di escavazione per rinterri, ai sensi dell'art. 185 comma 1 lettera c) del DLgs 152/06.
3. impiegandoli in altro sito o processo produttivo in qualità di "sottoprodotti".

I terreni in oggetto devono innanzitutto essere conformi alle soglie di contaminazione (CSC) previste dall'Allegato 5 alla parte 4, titolo V del D.lgs n. 152/06 e relative alle destinazioni d'uso previste o essere messi in sicurezza e/o bonificati come previsto in normativa; per questo è in corso una Indagine Ambientale Preliminare eseguita da Tauw Italia srl a cui si rimanda per i relativi dettagli tecnici e normativi.

La gestione delle terre e rocce da scavo è attualmente regolata dal DPR 13 giugno 2017 n. 120 pubblicato sulla GU n. 183 anno 158° del 7 agosto 2017 e vigente dal 22 agosto 2016.

Si segnala che è stato recentemente emesso il Decreto Legge n. 13 del 24 febbraio 2023 ("*Disposizioni urgenti del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) e del Piano nazionale degli investimenti complementari al PNRR (PNC), nonché per l'attuazione delle politiche di coesione e della politica agricola comune.")* pubblicato sulla GU Serie Generale n. 47 del 24-02-2023.

Questo decreto, una volta convertito in legge porterà, come definito all'articolo 48, all'adozione di un nuovo decreto avente come oggetto la disciplina semplificata per la gestione delle terre e delle rocce da scavo che abolirà anche il vigente DPR120/2017 che comunque attualmente è ancora la normativa di riferimento.

In questo decreto si semplificheranno le procedure in particolare relativamente :

a) alla gestione delle terre e delle rocce da scavo qualificate come sottoprodotti ai sensi dell'articolo 184-bis del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, provenienti da cantieri di piccole dimensioni, di grandi dimensioni e di grandi dimensioni non assoggettati a VIA o ad AIA, compresi quelli finalizzati alla costruzione o alla manutenzione di reti e infrastrutture;

b) ai casi di cui all'articolo 185, comma 1, lettera c), del decreto legislativo n. 152 del 2006, di esclusione dalla disciplina di cui alla parte quarta del medesimo decreto del suolo non contaminato e di altro materiale allo stato naturale escavato;

c) alla disciplina del deposito temporaneo delle terre e delle rocce da scavo qualificate come rifiuti;

d) all'utilizzo nel sito di produzione delle terre e delle rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti;

e) alla gestione delle terre e delle rocce da scavo nei siti oggetto di bonifica;

f) alle disposizioni intertemporali, transitorie e finali.

Si fa inoltre presente che è vigente il Regolamento regionale 23 novembre 2017 n. 7 riguardante il "*Regolamento recante i criteri per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)"* e smi.

Si rimanda alla specifica relazione per i dettagli; in quella sede verranno ripresi i concetti di competenza raccolti nella presente relazione con particolare riferimento al modello idrogeologico.

9 ASPETTI RELATIVI ALLA FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO

Il sito in oggetto è stato inserito dallo studio geologico vigente **in classe di fattibilità 2'**, aree pianeggianti con "fattibilità con modeste limitazioni" (figura seguente); queste limitazioni sono da collegarsi sostanzialmente alla vulnerabilità della falda e dall'utilizzo agronomico del sito (ex risaie) con le conseguenti problematiche.

A questo proposito si riportano le prescrizioni definite nelle norme contenute nella relazione geologica redatta a supporto del PGT vigente e citata (aggiornamento 2017), da cui non si evincono particolari criticità dal punto di vista geologico in senso lato per l'utilizzo dei mappali in oggetto.

:

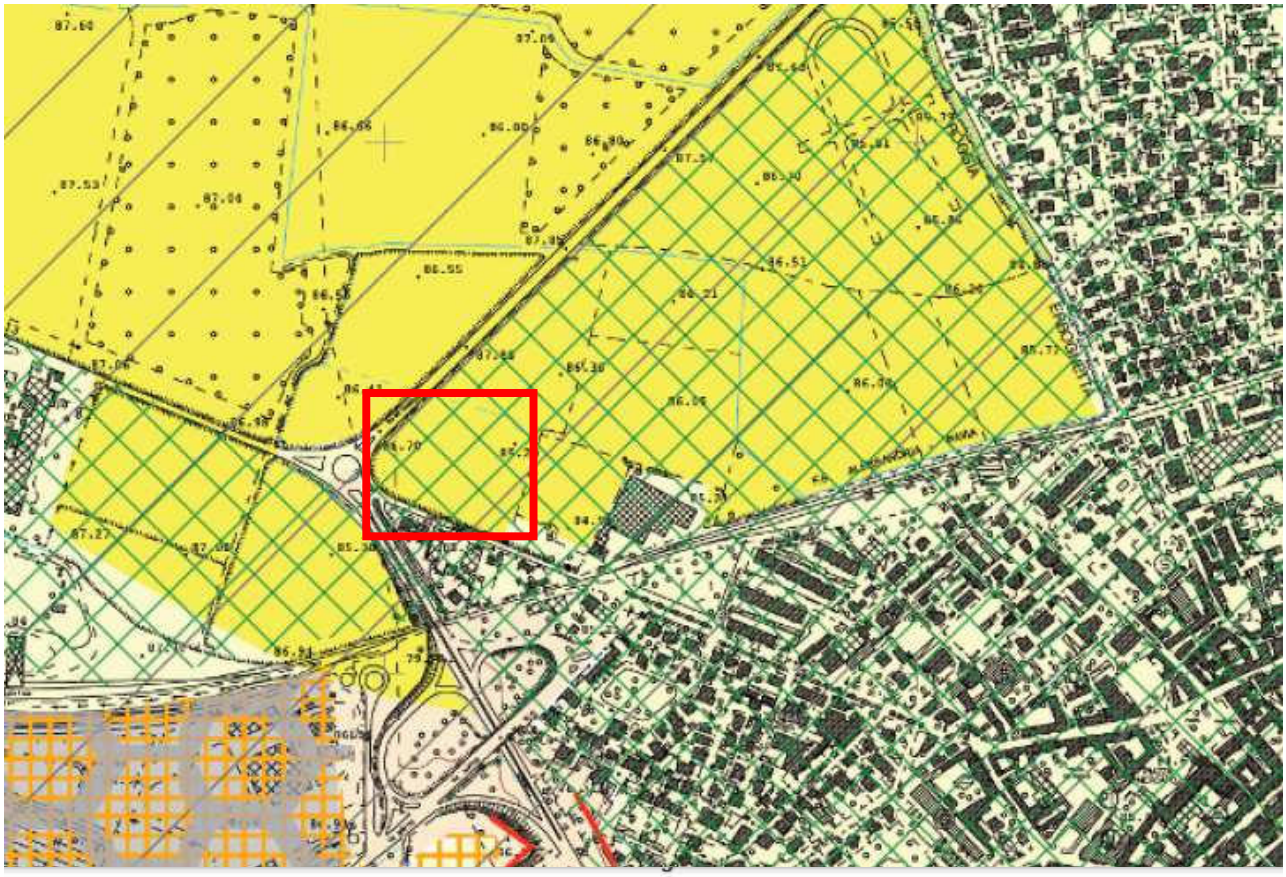
2. CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

CLASSE 2a - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI. Nessuna specifica controindicazione di carattere geologico tecnico alla urbanizzazione, salvo il rispetto delle disposizioni del D. Min. Infrastrutture 14/01/2008.

E' richiesta la realizzazione di approfondimenti di carattere geologico tecnico e idrogeologico finalizzati alla verifica della stabilità dei suoli ed al razionale drenaggio delle acque piovane e di scarico, al fine di evitare effetti negativi sulle acque superficiali/sotterranee e sulle aree limitrofe.

CLASSE 2b - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI. Sussistono le stesse prescrizioni previste per la "Classe 2a". Su queste aree è vietato lo spandimento dei fanghi di depurazione per utilizzo agronomico, in quanto classificate "non adatte" nella "Base informativa Pedologica" della Regione Lombardia.

Comune di SANNAZZARO DE' BURGONDI– PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO ex L.R. 12/05 - COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA (d.g.r. 22 dicembre 2005 n. 8/1566) - *NORME GEOLOGICHE DI PIANO* – REVISIONE febbraio 2017 *pag.* 2



2a CLASSE 2a - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI. Nessuna specifica controindicazione di carattere geologico tecnico alla urbanizzazione, salvo il rispetto delle disposizioni del D. Min. Infrastrutture 14/01/2008. E' richiesta la realizzazione di approfondimenti di carattere geologico tecnico e idrogeologico finalizzati alla verifica della stabilità dei suoli ed al razionale drenaggio delle acque piovane e di scarico, al fine di evitare effetti negativi sulle acque superficiali/sotterranee e sulle aree limitrofe.

2b CLASSE 2b - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI. Sussistono le stesse prescrizioni previste per la "Classe 2a". Su queste aree è vietato lo spandimento dei fanghi di depurazione per utilizzo agronomico, in quanto classificate "non adatte" nella "Base informativa Pedologica" della Regione Lombardia.

Approfondimento di 2° livello (scenario Z4a - suolo categoria C)
Intervallo 0,1 - 0,5 s: Fa inferiore al valore di soglia
Intervallo 0,5 - 1,5 s: Fa inferiore al valore di soglia

Figura 23: stralcio carta della fattibilità geologica a supporto del PGT vigente (stralcio da Tavola 5a "Carta della fattibilità geologica", agg. 2017, op. cit.)

Va segnalato, come riportato nella tavola 4 carta dei vincoli allegata allo studio geologico a supporto del PGT vigente (si veda figura 7 precedente) che i terreni in esame sono interessati dalla fascia di rispetto del pozzo idropotabile di via Loreto che è stata indicata con metodo geometrico del limite dei 200 metri.

Questo limita ad esempio la possibilità di poter fare infiltrare nel sottosuolo le acque meteoriche provenienti da strade e piazzali per motivi di vulnerabilità.

Si fa presente , come già segnalato al capitolo 3 precedente che viste le caratteristiche del pozzo (con primo filtro a 94 metri e la presenza di livelli non permeabili al di sopra per più di una ventina di metri complessivi) che si potrebbe ridurre la fascia di rispetto con un criterio idrogeologico fino ai 10 metri della fascia di tutela assoluta, secondo le modalità previste dalla normativa vigente in materia (RR 6/2006 e smi), permettendo quindi lo smaltimento delle acque, con indubbi vantaggi in riferimento alla gestione delle acque ed all'invarianza idraulica (si veda a riguardo la relazione relativa allegata al presente progetto)

Sulla base di quanto finora constatato nei capitoli precedenti si conferma la fattibilità del progetto in oggetto in riferimento alle condizioni geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche, geotecniche e sismiche del sito .

ALLEGATO A

STRALCIO INDAGINI GEOGNOSTICHE

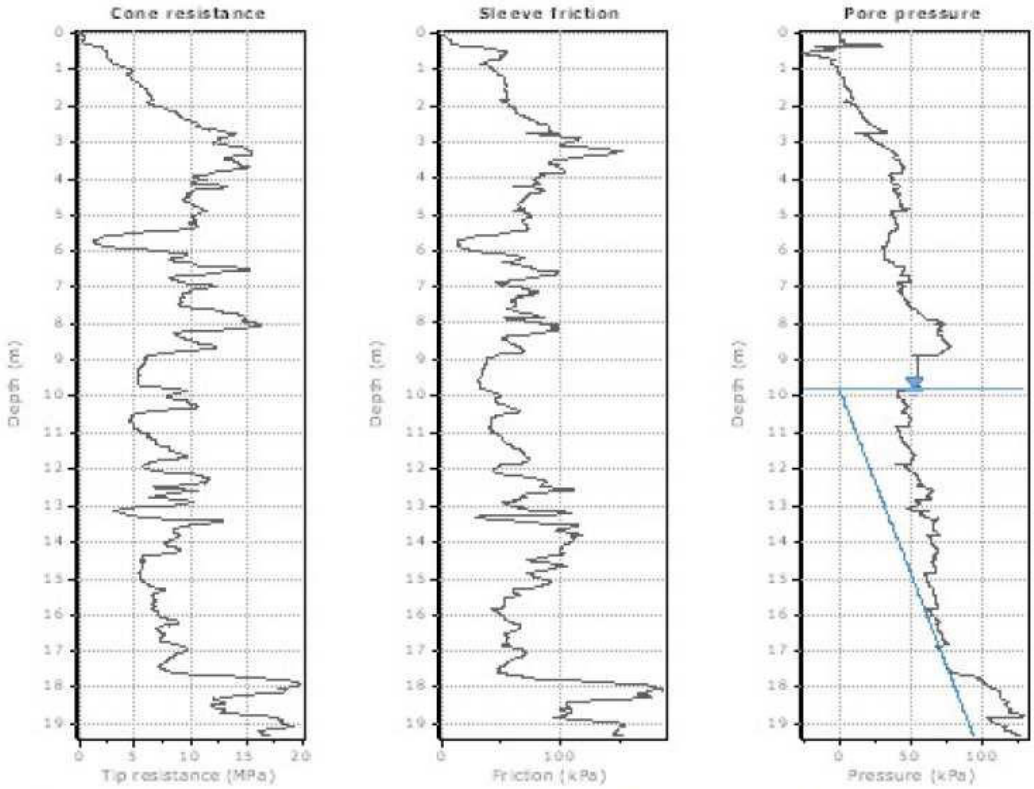
(PENETROMETRIE STATICHE CPT e CPTU)

GEOLOGISMIKI Geotechnical Software

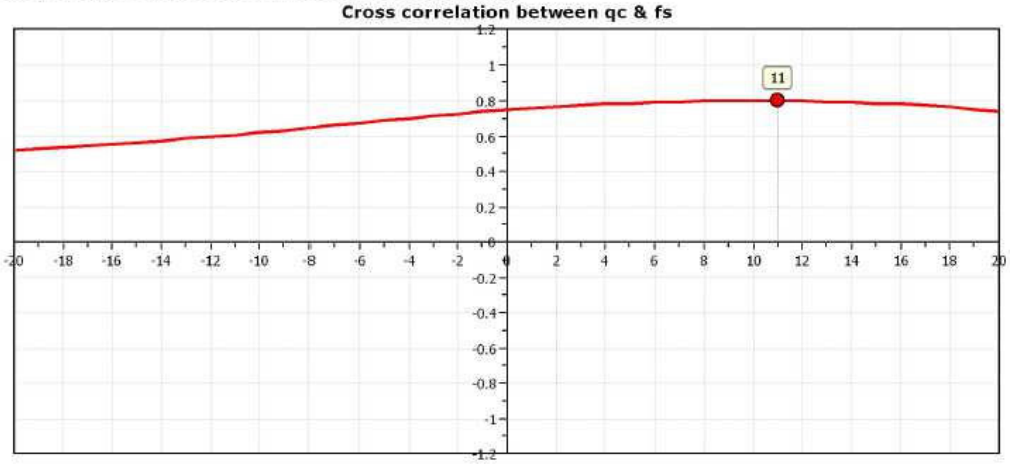
Gian Luca Corsi
via Prevostura n° 48
29121 piacenza
tel: 3472301270

Project: Sannazzaro dei Borgundi
Location: Sannazzaro

CPT: CPTU 01
Total depth: 19.34 m, Date: 22/05/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Pagani K581
Cone Operator: Corsi Gian Luca



The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).

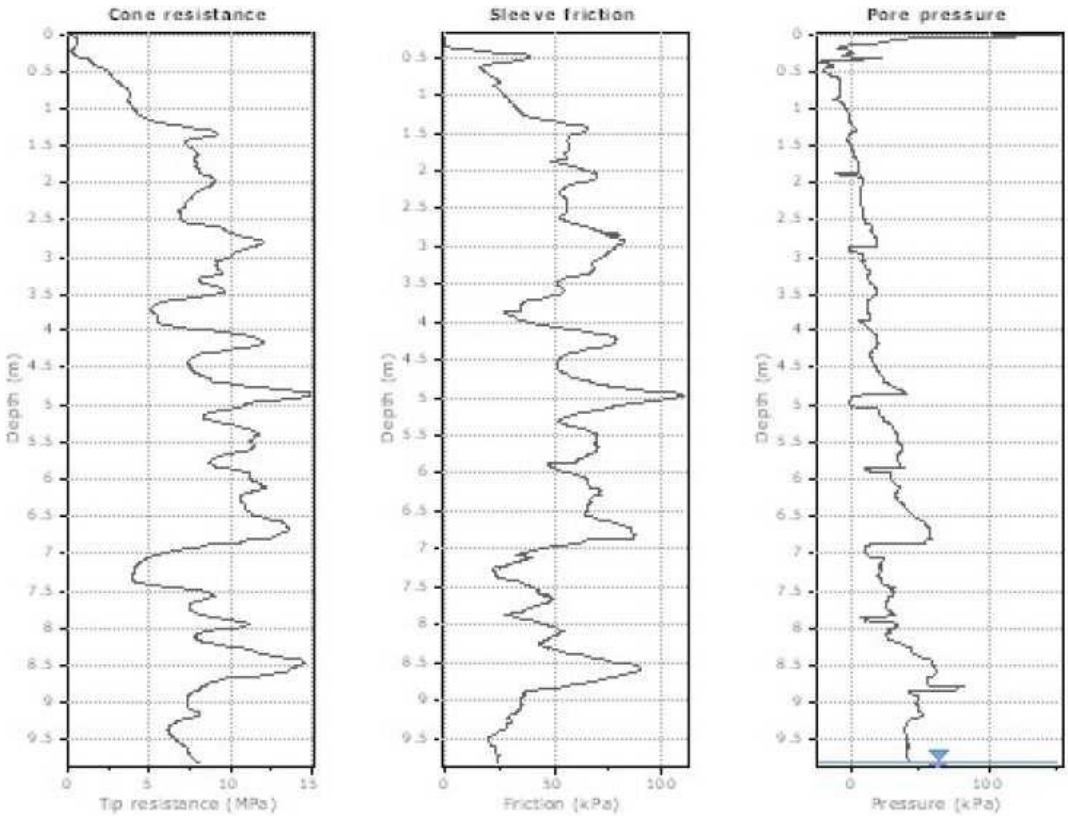


GEOLOGISMIKI Geotechnical Software

Gian Luca Corsi
via Prevostura n° 48
29121 piacenza
tel: 3472301270

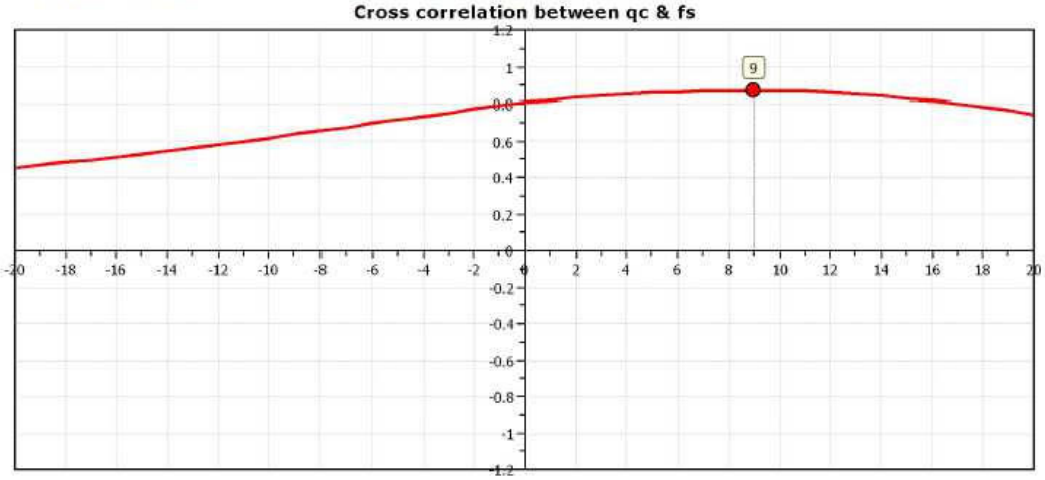
CPT: CPTU 02
Total depth: 9.82 m, Date: 22/05/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Pagani K581
Cone Operator: Corsi Gian Luca

Project: Sannazzaro dei Borgundi
Location: Sannazzaro



The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs

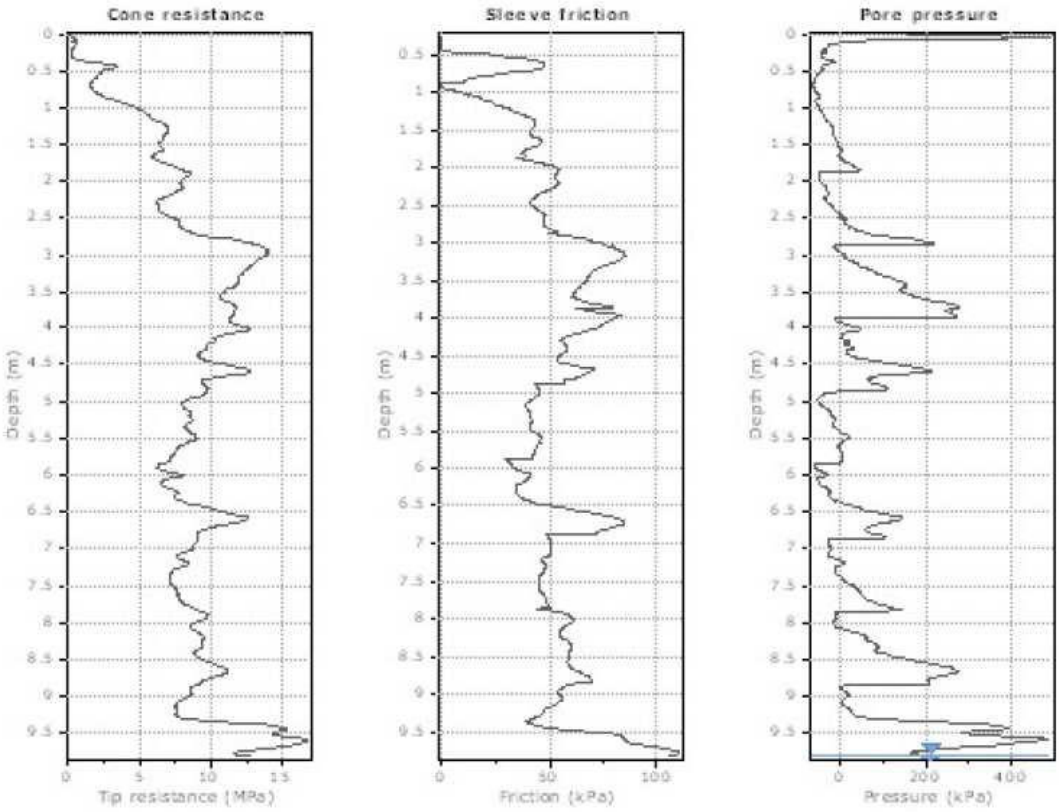


GEOLOGISMIKI Geotechnical Software

Gian Luca Corsi
via Prevostura n° 48
29121 piacenza
tel: 3472301270

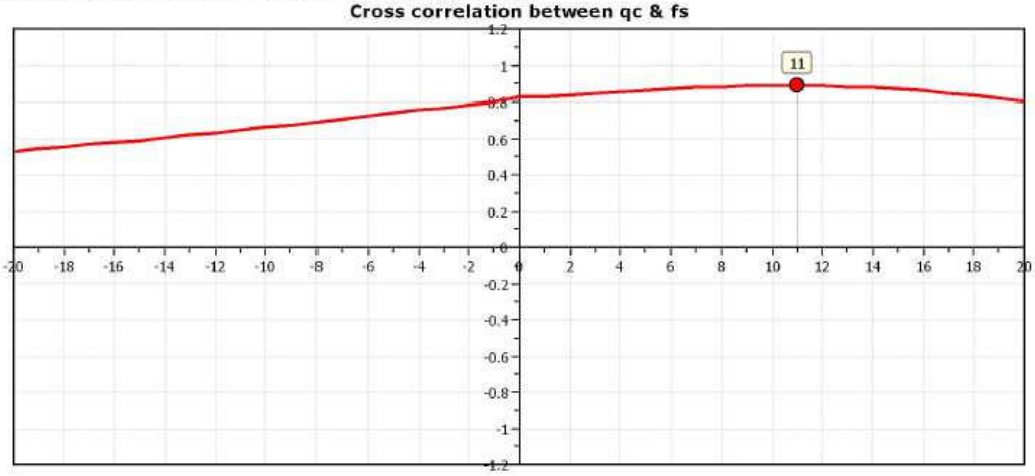
Project: Sannazzaro dei Borgundi
Location: Sannazzaro

CPT: CPTU 03
Total depth: 9.82 m, Date: 22/05/2024
Surface Elevation: 0.00 m
Coords: X:0.00, Y:0.00
Cone Type: Pagani K581
Cone Operator: Corsi Gian Luca

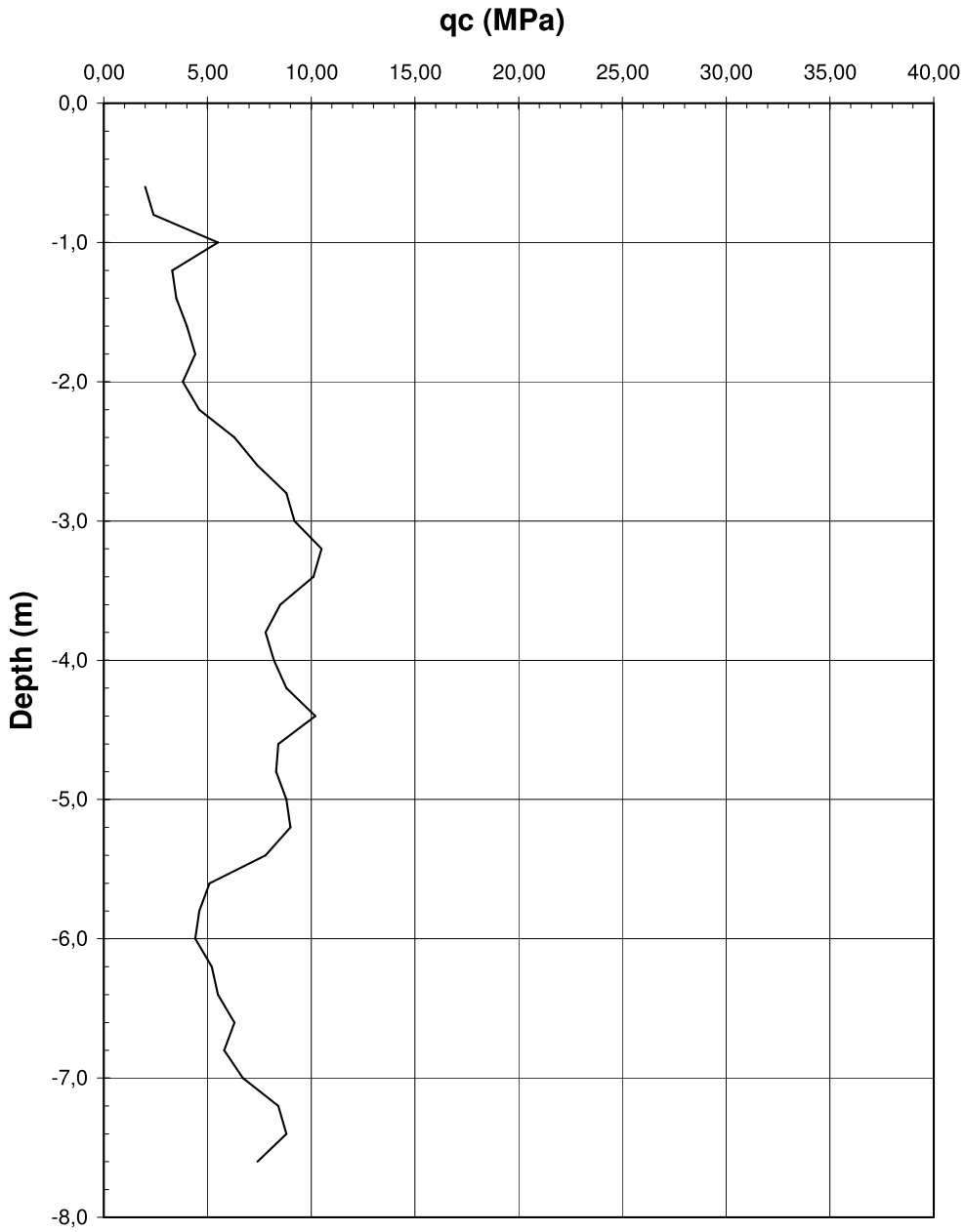


The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).

Cross correlation between qc & fs

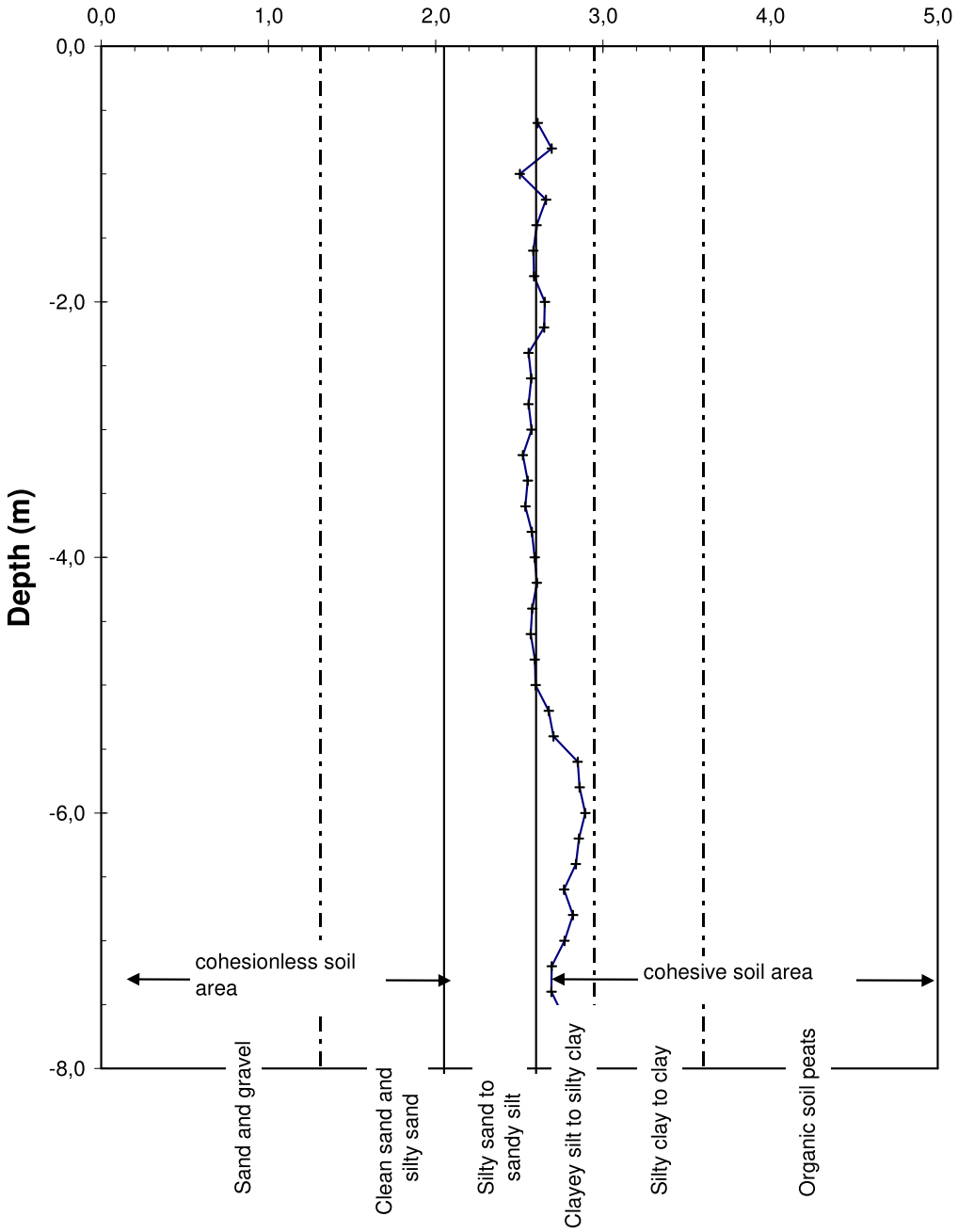


CPT1

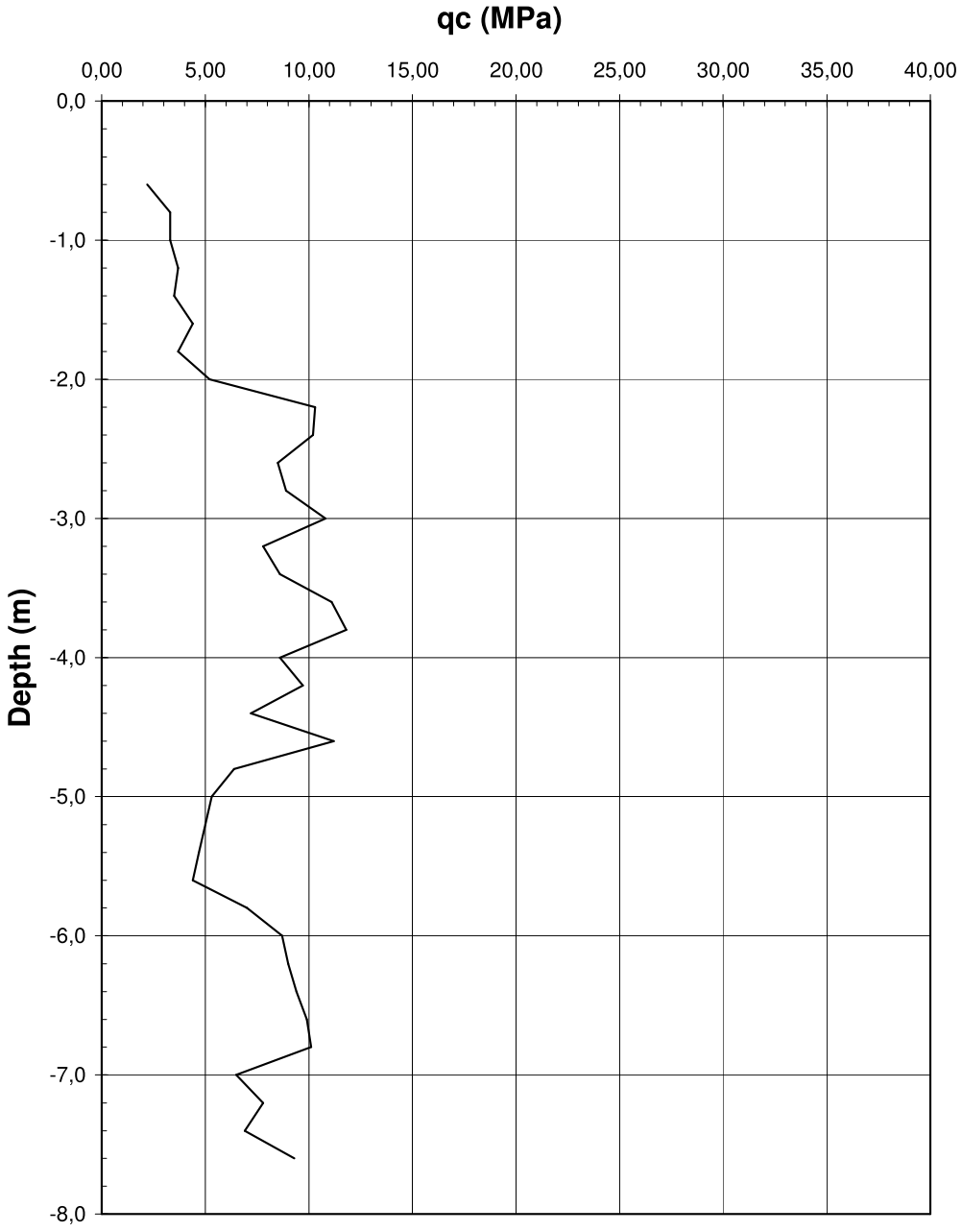

qc (MPa)
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
Depth (m)
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
-6,0
-7,0
-8,0

CPT1

Robertson Ic coefficient (1998)

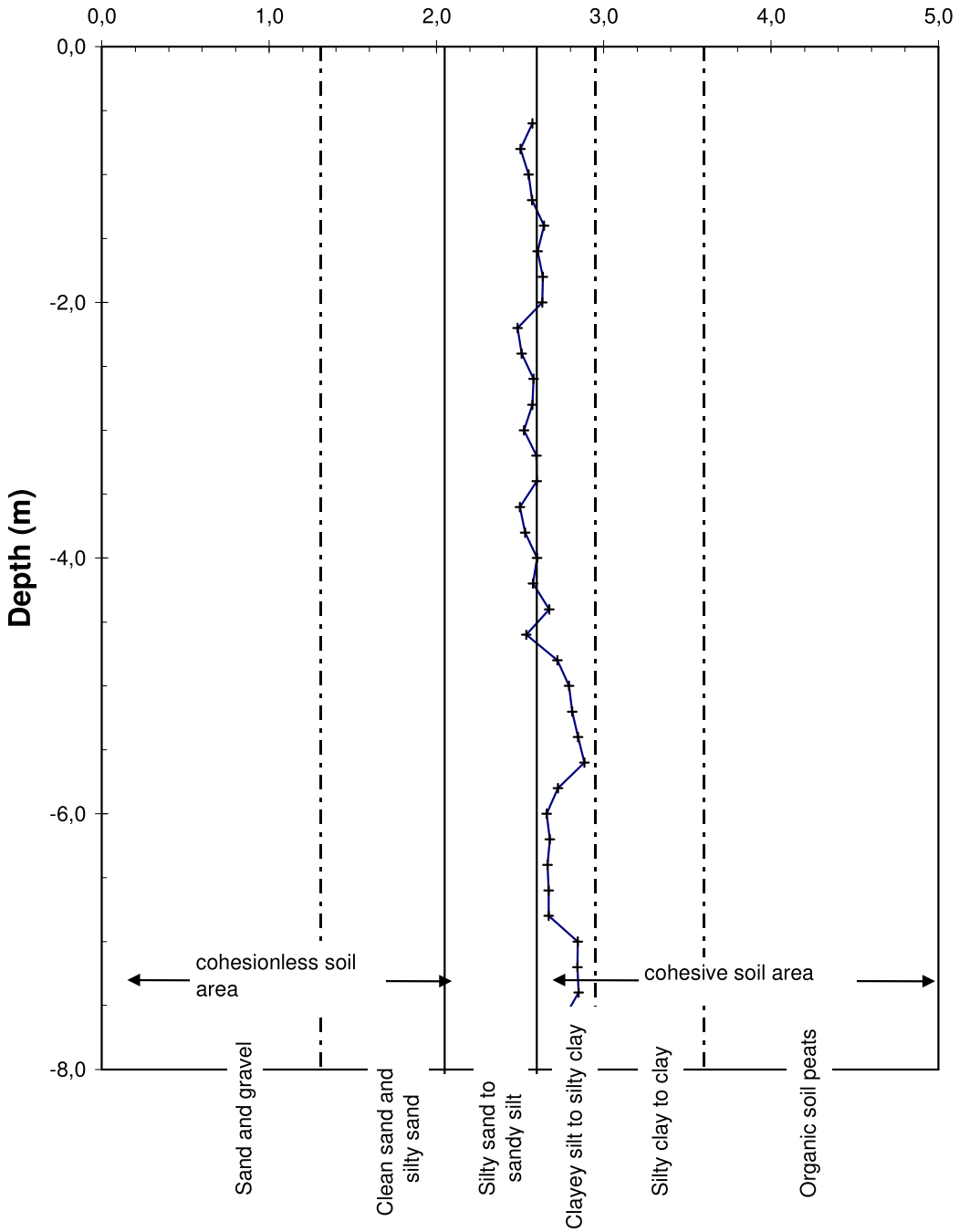


CPT2

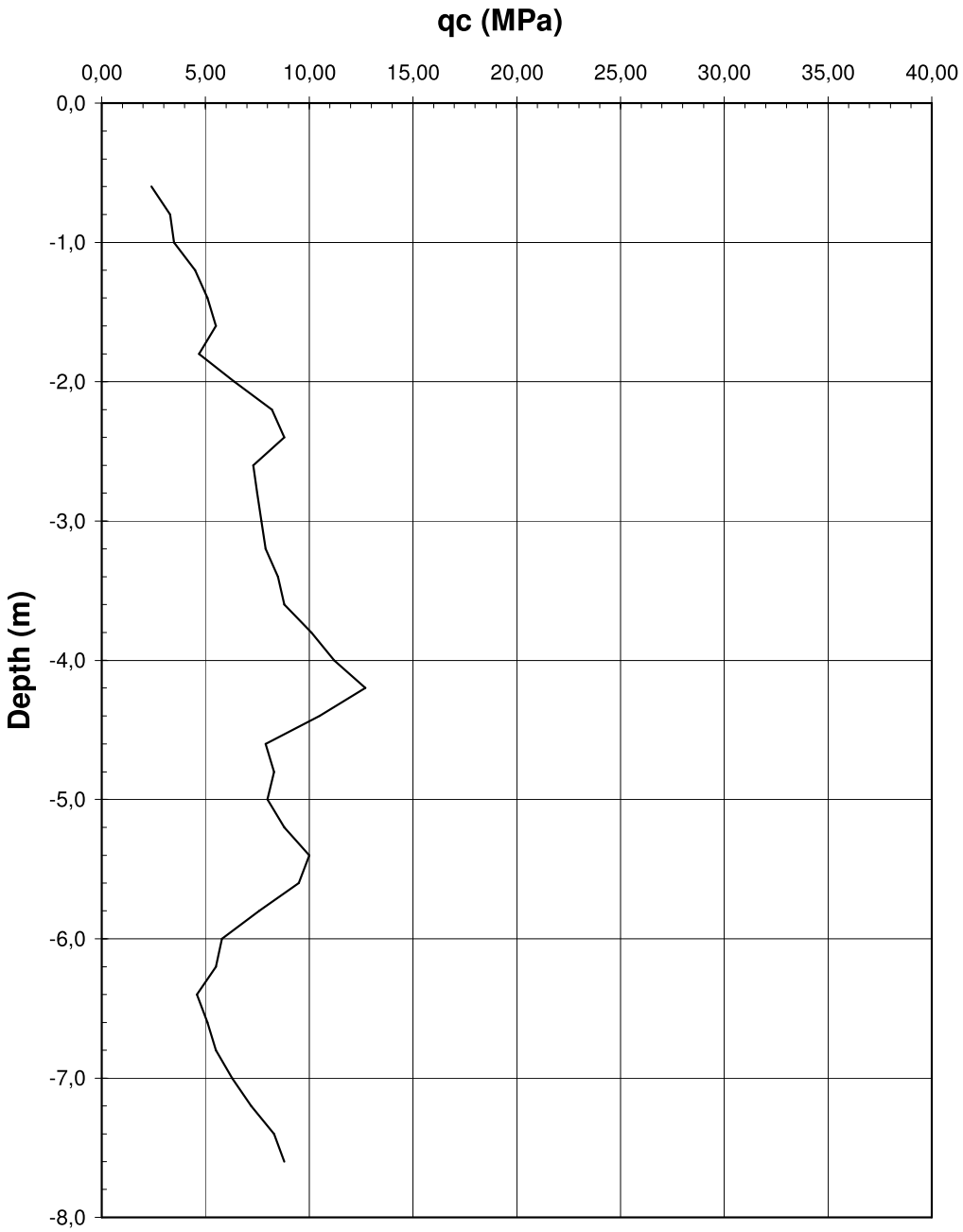

qc (MPa)
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
Depth (m)
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
-6,0
-7,0
-8,0

CPT2

Robertson Ic coefficient (1998)

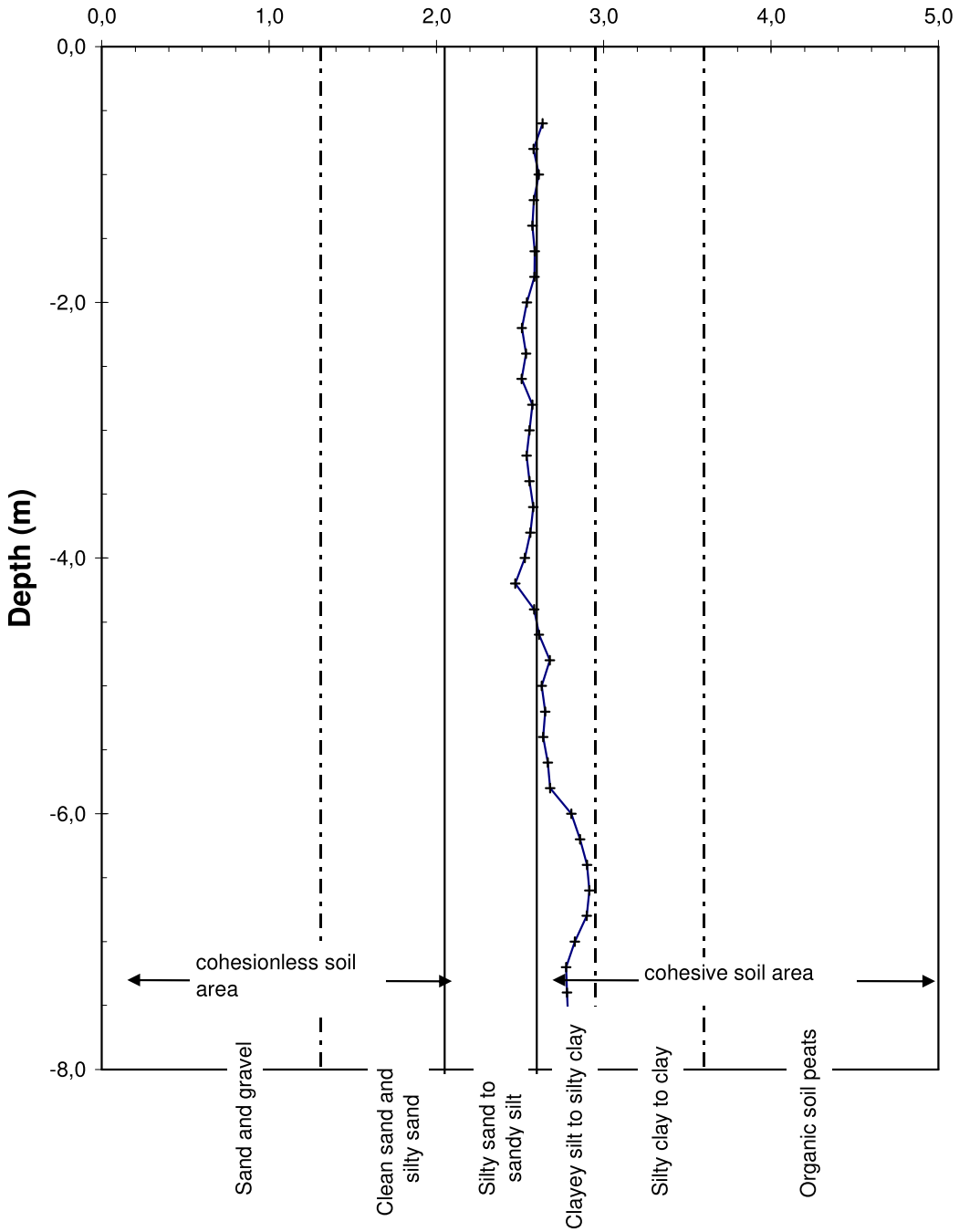


CPT3

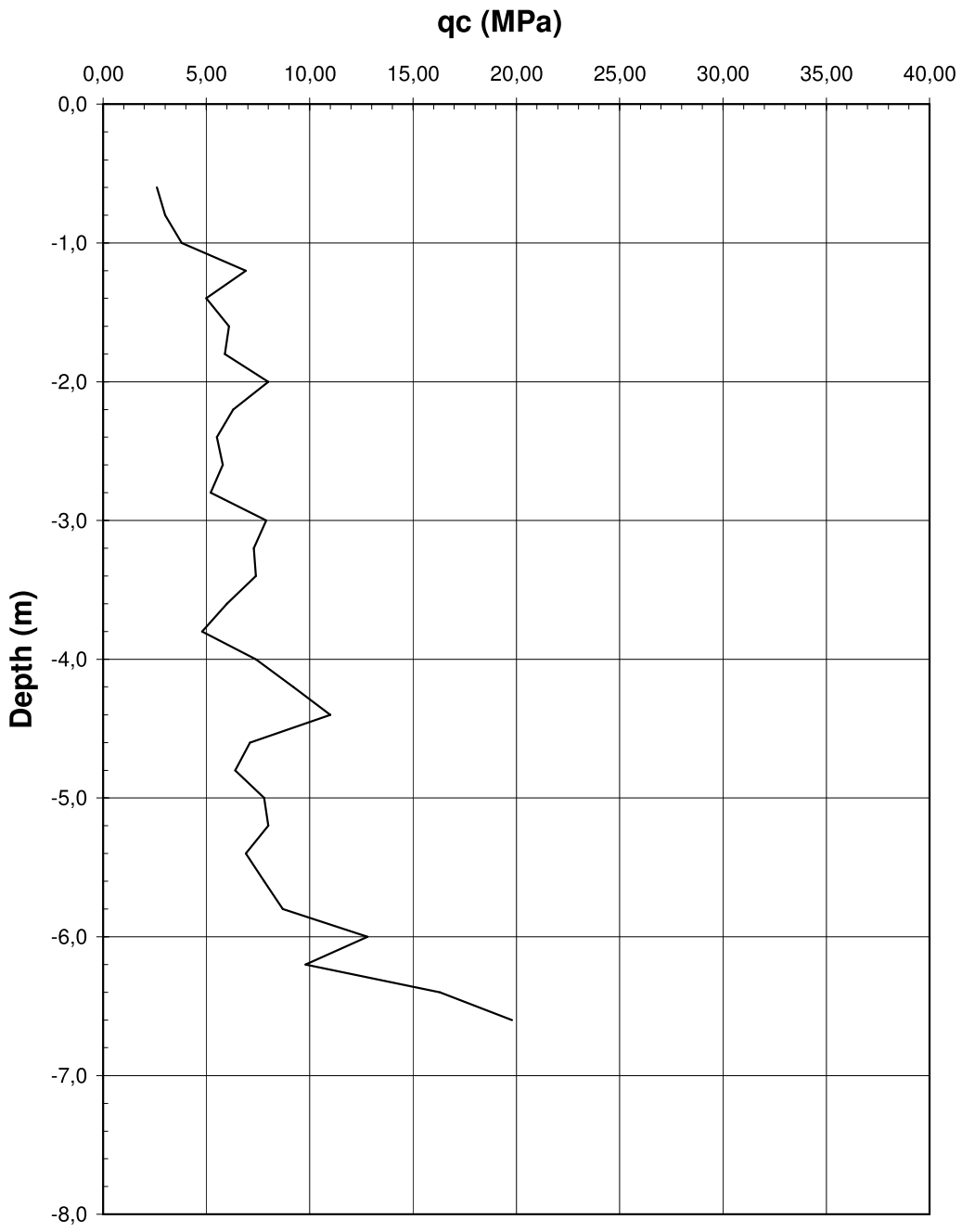

qc (MPa)
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
Depth (m)
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
-6,0
-7,0
-8,0

CPT3

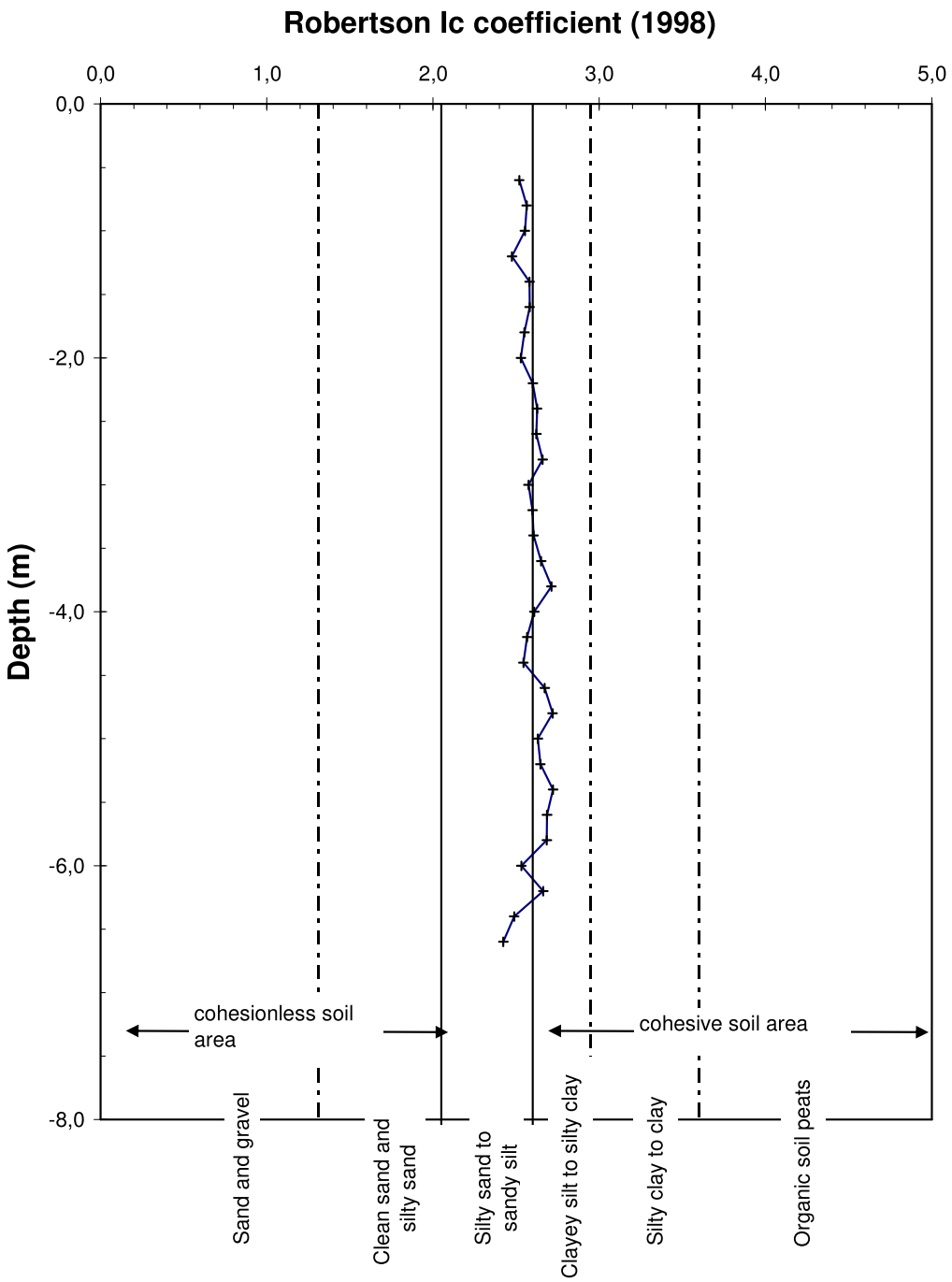
Robertson Ic coefficient (1998)



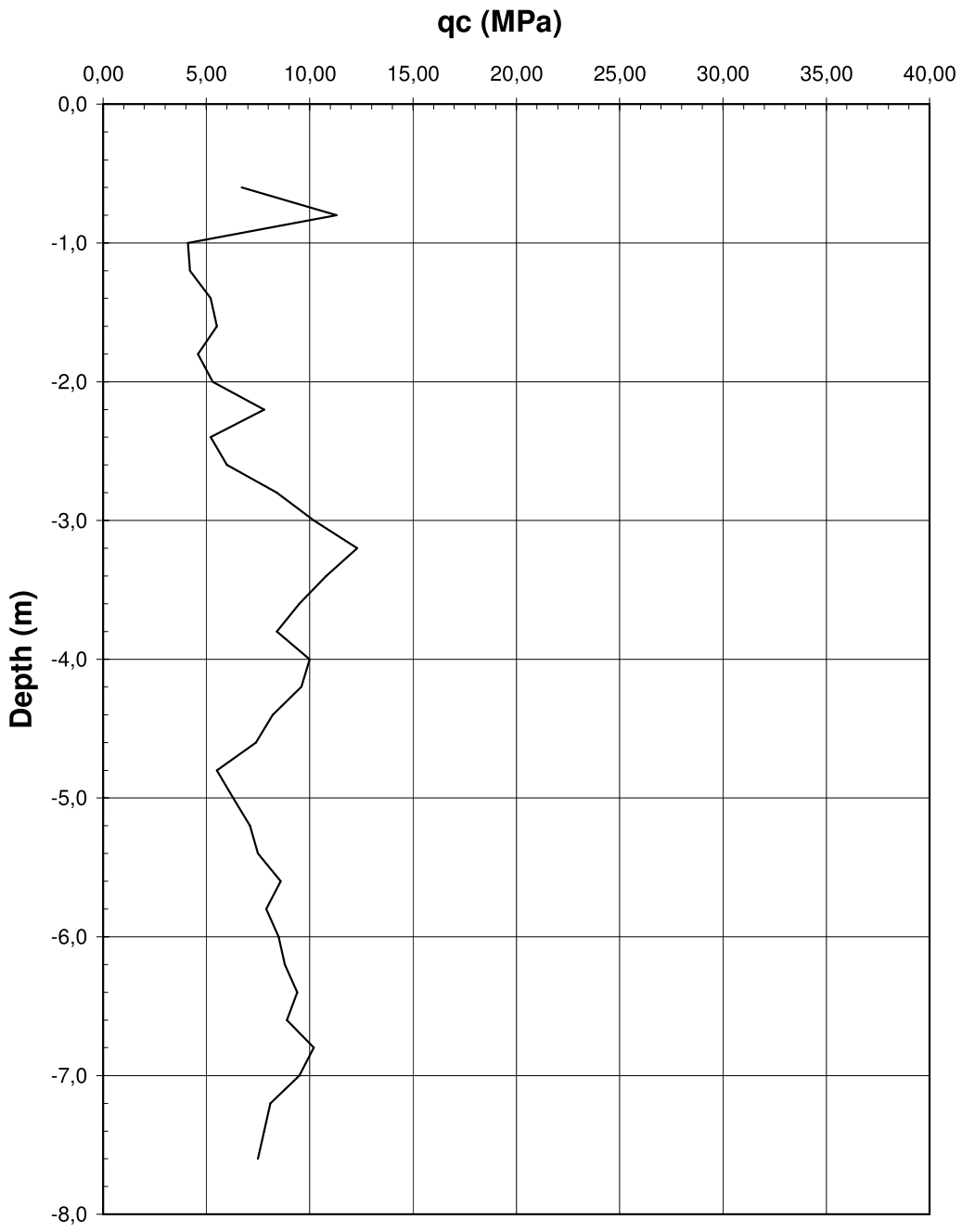
CPT4


qc (MPa)
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
Depth (m)
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
-6,0
-7,0
-8,0

CPT4

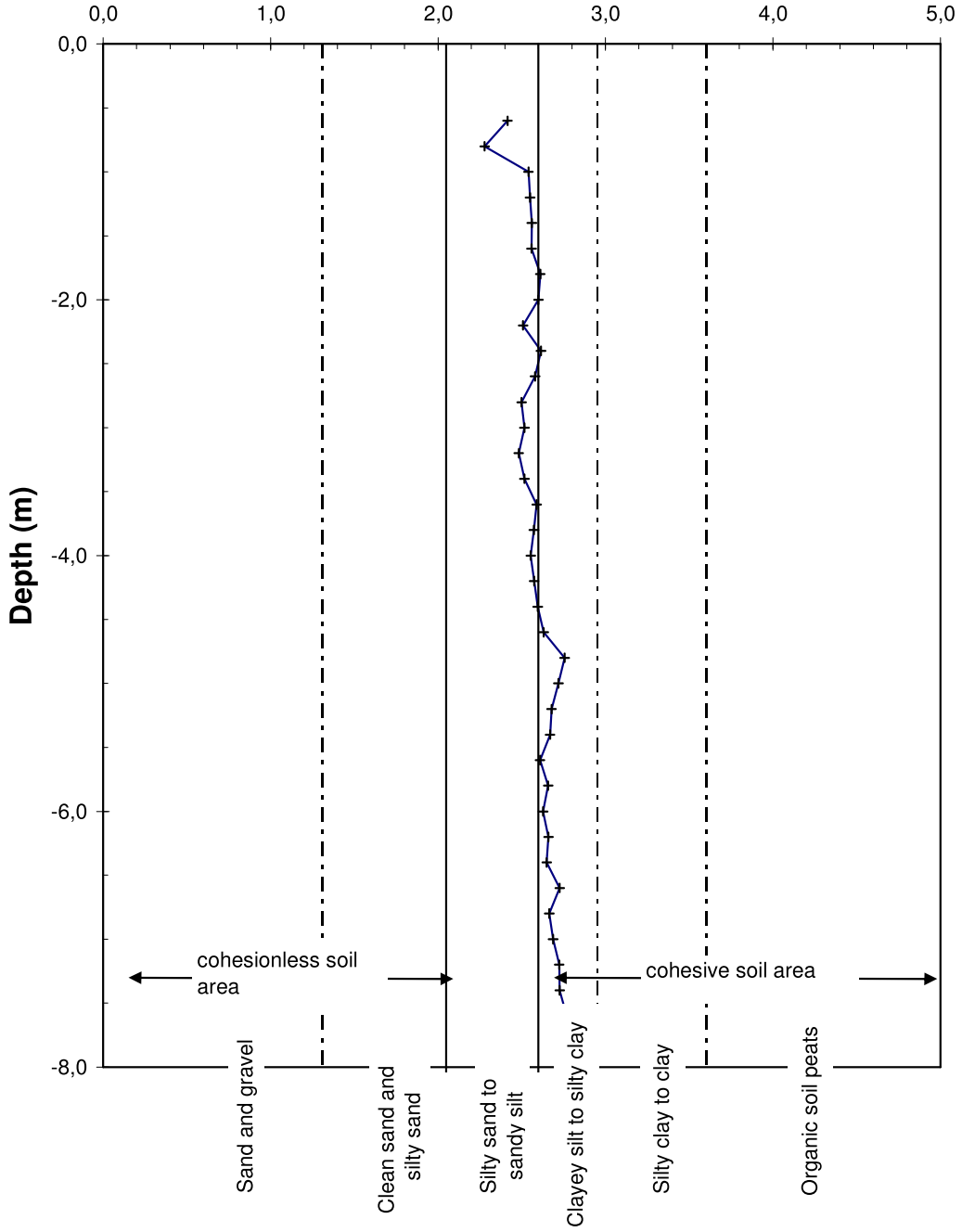

Robertson Ic coefficient (1998)
0,0
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
Depth (m)
0,0
-2,0
-4,0
-6,0
-8,0
cohesionless soil area
cohesive soil area
Sand and gravel
Clean sand and silty sand
Silty sand to sandy silt
Clayey silt to silty clay
Silty clay to clay
Organic soil peats

CPT5

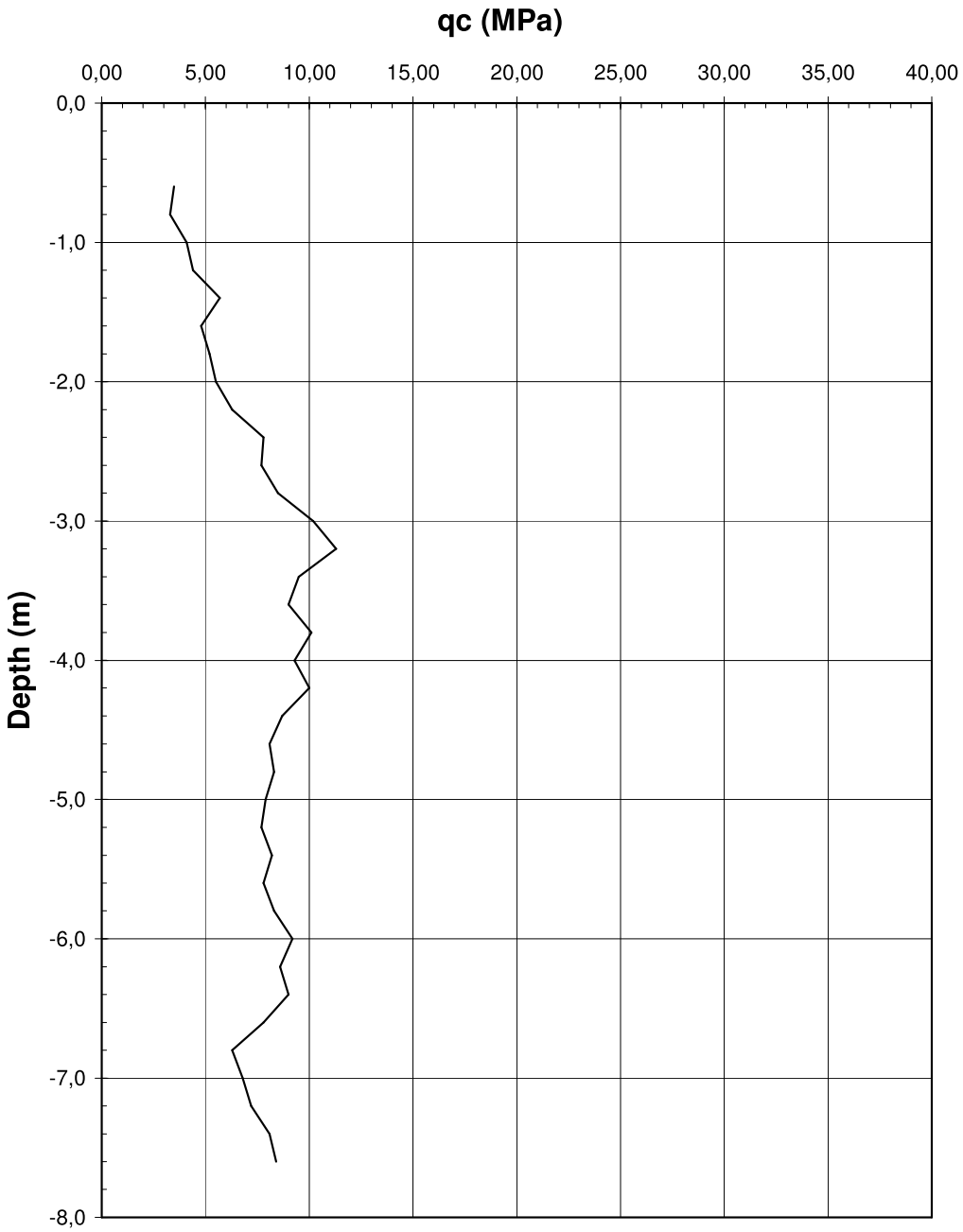

qc (MPa)
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
Depth (m)
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
-6,0
-7,0
-8,0

CPT5

Robertson Ic coefficient (1998)

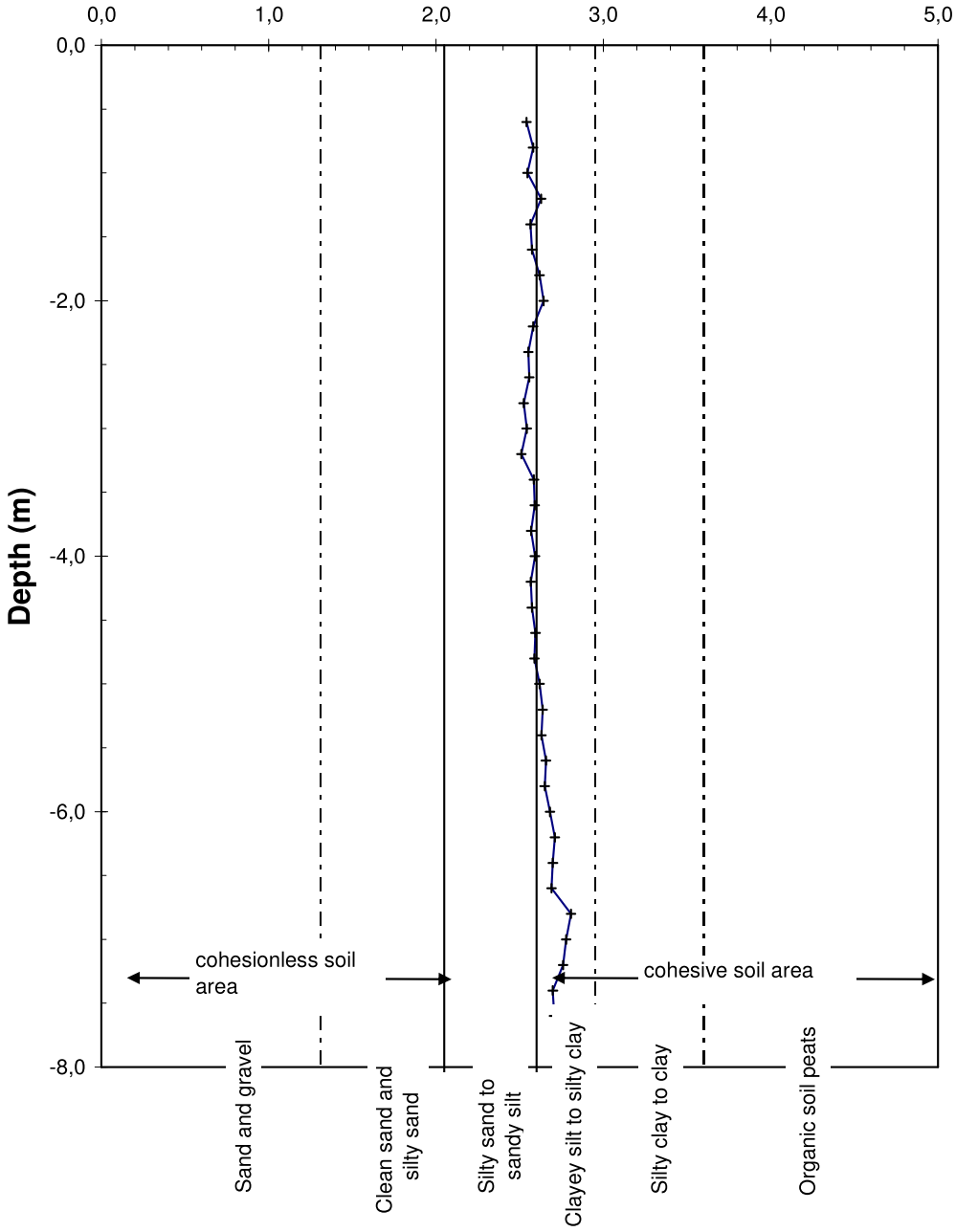


CPT6


qc (MPa)
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
35,00
40,00
Depth (m)
0,0
-1,0
-2,0
-3,0
-4,0
-5,0
-6,0
-7,0
-8,0

CPT6

Robertson Ic coefficient (1998)



ALLEGATO D

SINTESI POZZETTI ESPLORATIVI

(da campagna ambientale di Tauw Italia srl)

stralcio report Tauw R001-1669795SLM-V01_2024 del 18 giugno 2024

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T1**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0		Sabbia debolmente limosa con rari frammenti di laterizi. Colore: marrone-rosso.			T1/1				
1,0 – 2,0		Sabbia con rari frammenti di laterizi. Colore: beige-giallo ocra.			T1/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T2**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0		Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T2/1				
1,0 – 2,0		Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T2/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T3**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0		Sabbia debolmente limosa con frammenti di laterizi (mattonelle rosse). Colore: marrone-rosso.			T3/1	T3/1 R			
1,0 – 2,0		Sabbia con frammenti di laterizi (mattonelle rosse). Colore: beige-rosso.			T3/2	T3/2 R			

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T4**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

LITOLOGIA (m da p.c.)	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0	Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T4/1				
1,0 – 2,0	Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T4/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T5**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

LITOLOGIA (m da p.c.)	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0	Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T5/1				
1,0 – 2,0	Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T5/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T6**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

LITOLOGIA (m da p.c.)	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0	Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T6/1				
1,0 – 2,0	Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T6/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T7**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0		Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T7/1				
1,0 – 2,0		Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T7/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T8**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0		Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T8/1				
1,0 – 2,0		Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T8/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T9**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz
0,0 – 1,0		Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.			T9/1				
1,0 – 2,0		Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.			T9/2				

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T10**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	(m da p.c.)	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	(m da p.c.)	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz	(m da p.c.)
0,0		Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.	0,0			0,0	T10/1					0,0
1,0		Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.	1,0			1,0	T10/2					1,0
2,0			2,0			2,0						2,0

TAUW

PROGETTO:	N°	TRINCEA:
Indagine ambientale preliminare sul sottosuolo insaturo	1669795	**T11**

CLIENTE:	LOCALITA':
One Italy S.r.l.	Area di Viale Loreto - Sannazzaro de' Burgondi (PV)

MODALITA' DI PERFORAZIONE:	Ø PERFORAZIONE:	Ø PIEZOMETRO:	QUOTA (m da p.c.):	DATA:
Escavatore meccanico	-	-	-	22/05/2024

(m da p.c.)	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	(m da p.c.)	ANOMALIE VISIVE	ANOMALIE ORG.	(m da p.c.)	CAMPIONI TERRENO	CAMPIONI RIPORTO	VALUE PID	FALDA	Pz	(m da p.c.)
0,0		Sabbia debolmente limosa. Colore: marrone-nocciola.	0,0			0,0	T11/1					0,0
1,0		Sabbia. Colore: beige-giallo ocra.	1,0			1,0	T11/2					1,0
2,0			2,0			2,0						2,0

ALLEGATO C

STRALCIO INDAGINI PREGRESSE

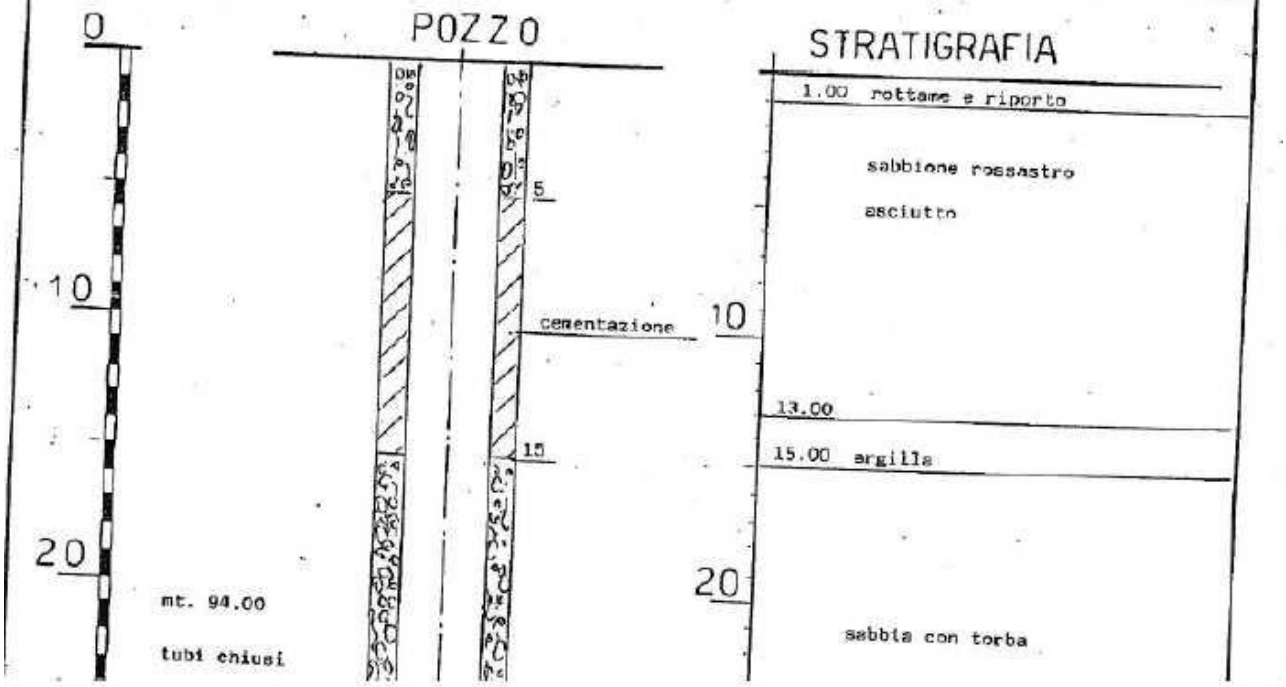
(POZZO DI VIA LORETO E PROVA MASW)

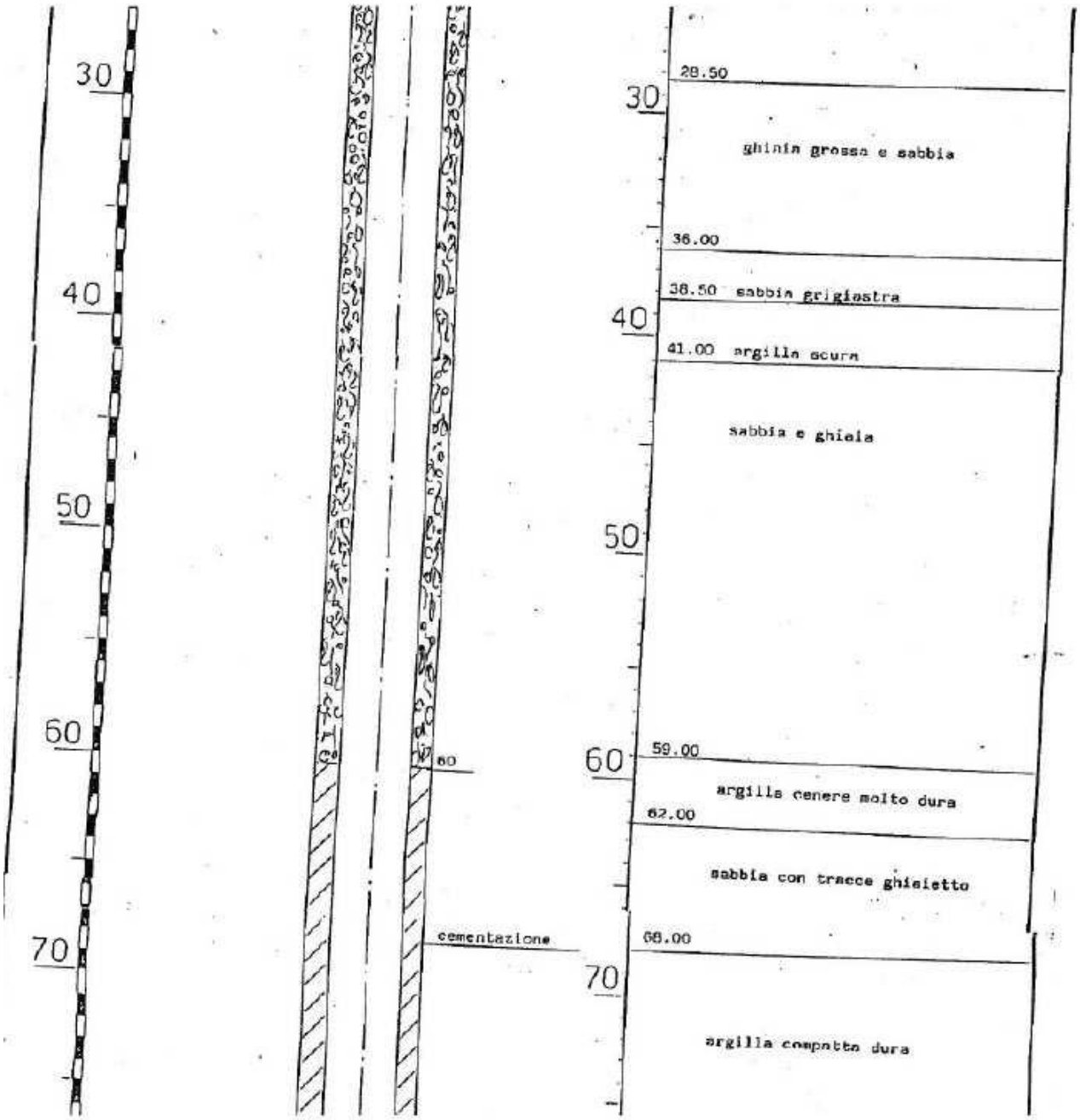
IMPRESA NEGRETTI S.r.l. CORTEOLONA

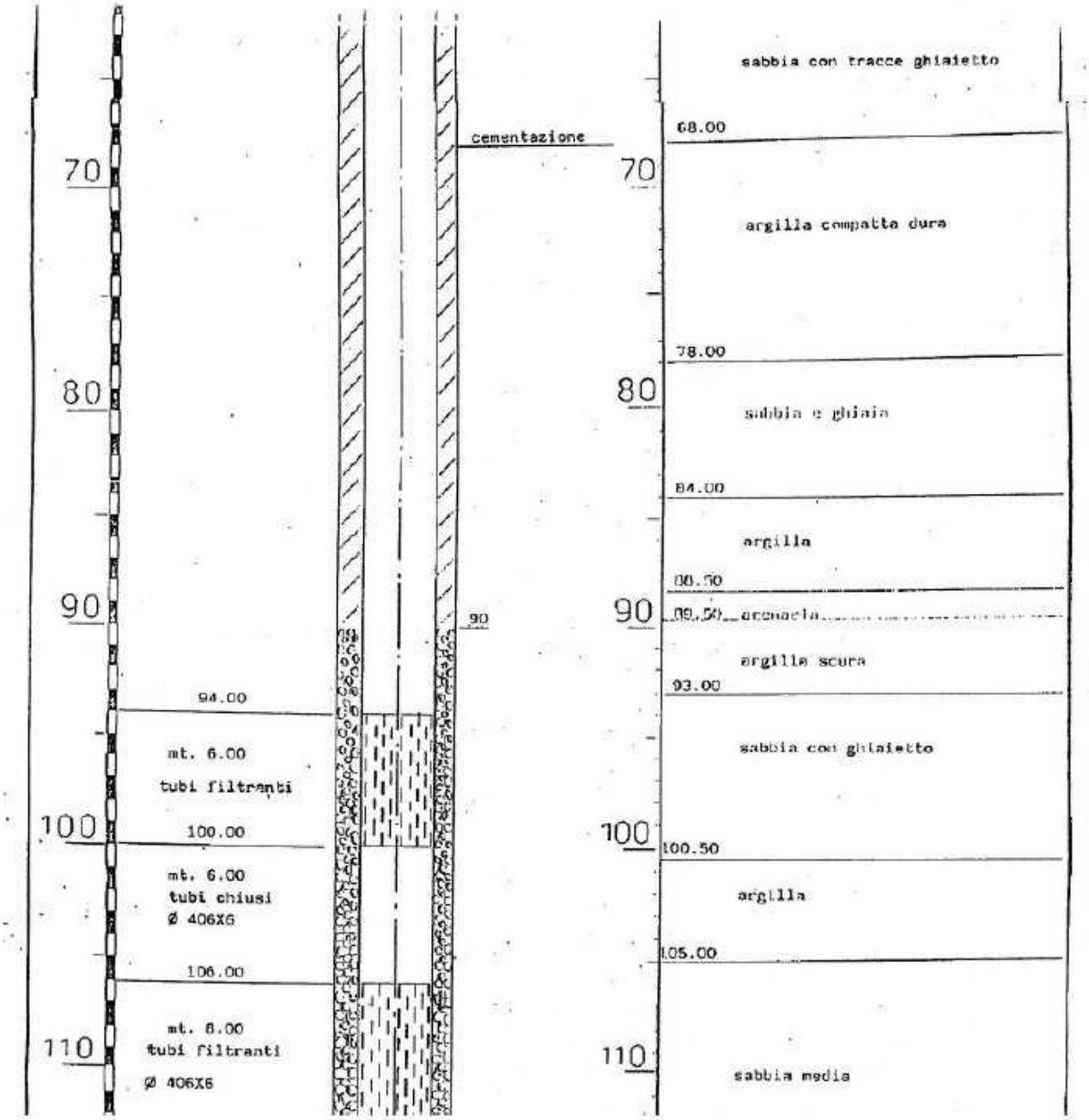
POZZO S.NAZZARO DE BURGONDI - ACQUEDOTTO COMUNALE

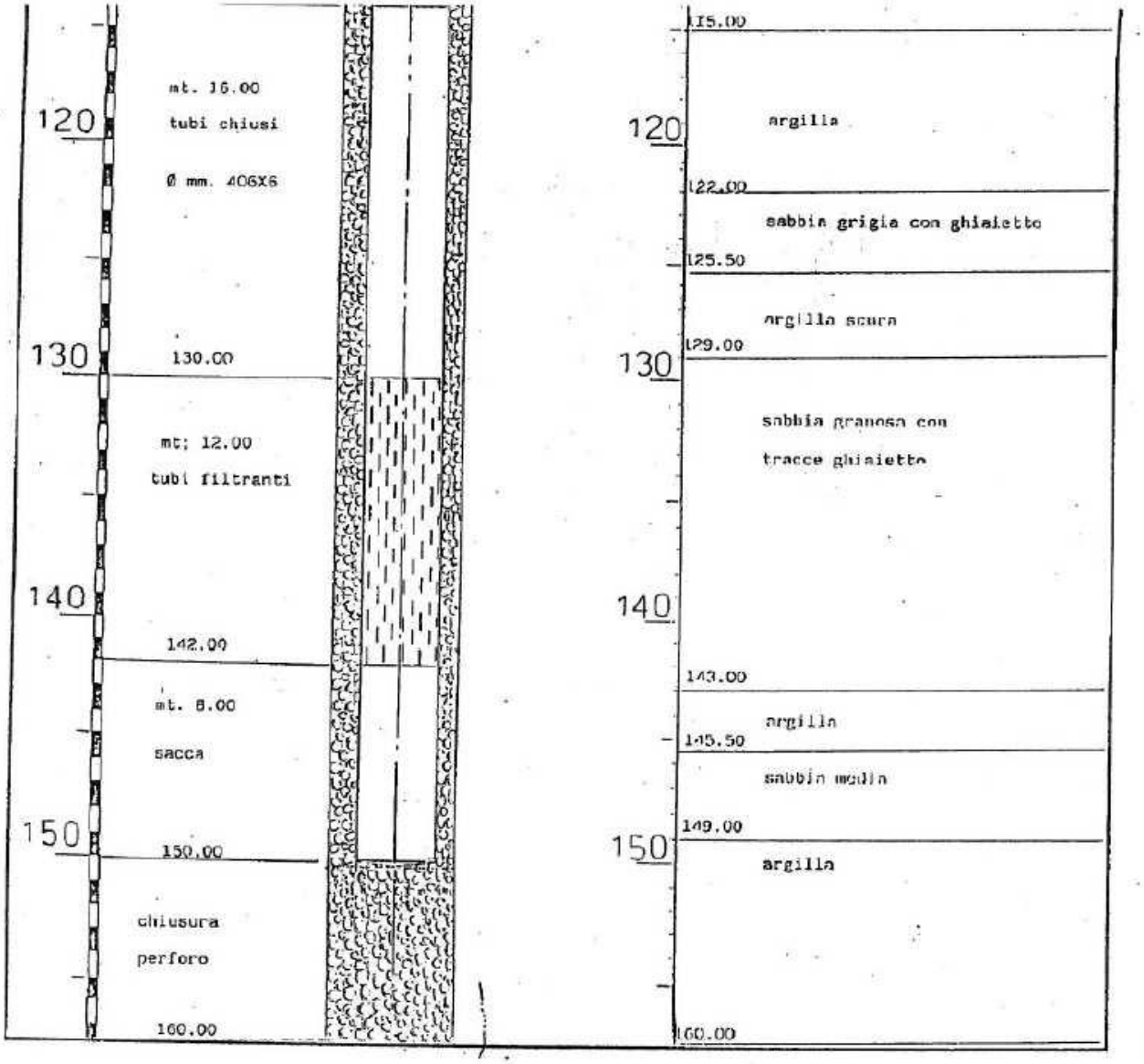
COMMITT. IMPRESA TACCHINI ALBINO & C. S.A.S. - SCALDASOLE

DATA PROVE					NOTE :
PORTATA L/S	70				V.le Loreto
LIVEL. STATICO	5,10				
LIVEL. DINAMICO	11,70				DATA Giugno 1980




30
40
50
60
70
60
cementazione
28.50
ghiaia grossa e sabbia
36.00
38.50 sabbia grigiastra
41.00 argilla scura
sabbia e ghiaia
59.00
argilla cenere molto dura
62.00
sabbia con tracce ghiaietto
68.00
argilla compatta dura


70
80
90
100
110
94.00
mt. 6.00
tubi filtranti
100.00
mt. 6.00
tubi chiusi
Ø 406X6
106.00
mt. 6.00
tubi filtranti
Ø 406X6
cementazione
90
sabbia con tracce ghiaietto
68.00
argilla compatta dura
78.00
sabbia e ghiaia
84.00
argilla
88.50
89.50
argilla scura
93.00
sabbia con ghiaietto
100.50
argilla
105.00
sabbia media


120
130
140
150
mt. 16.00
tubi chiusi
Ø mm. 406X6
130.00
mt; 12.00
tubi filtranti
142.00
mt. 8.00
sacca
150.00
chiusura
perforo
160.00
115.00
argilla
122.00
sabbia grigia con ghiaietto
125.50
argilla scura
129.00
sabbia grossa con
tracce ghiaietto
143.00
argilla
145.50
sabbia media
149.00
argilla
160.00

3.1 – Stendimento sismico L1

Nella figura sottostante si riporta il sismogramma frutto della somma di ciascuna acquisizione lungo lo stendimento sismico L1 (Tav.2):

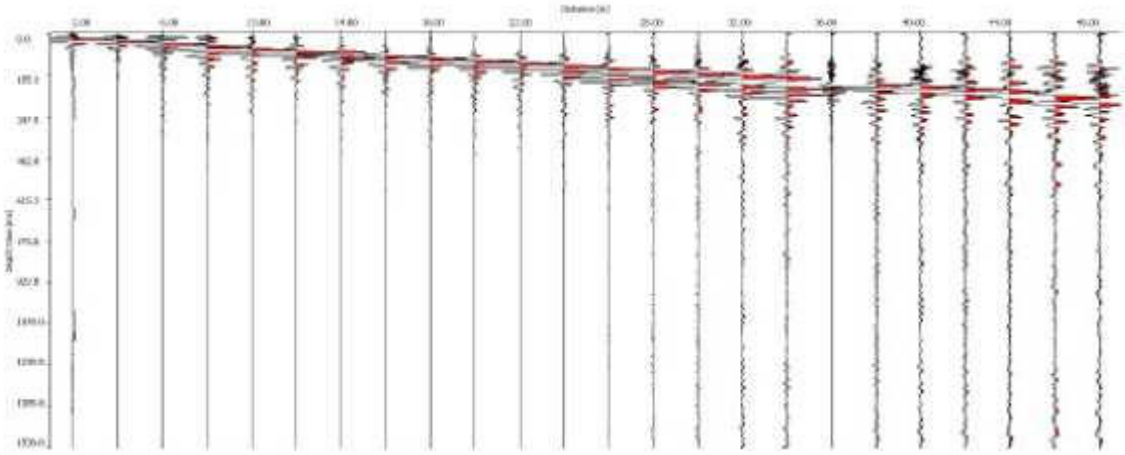


Fig. 3.1.1 – Sismogramma (L1)

3.1.1. Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei dati ha consentito di estrapolare la trasformata di Fourier da cui si ricava la curva di dispersione. Di seguito vengono riportati i grafici:

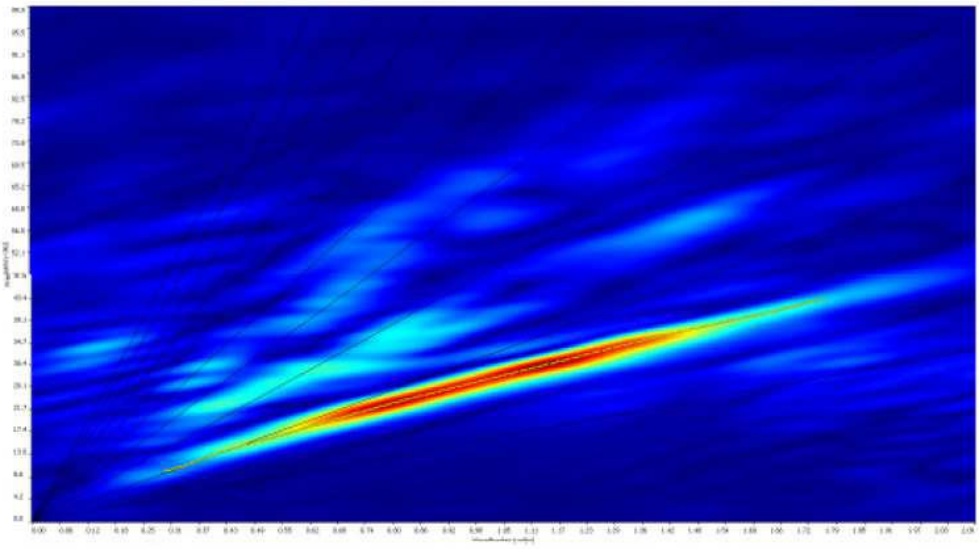


Fig. 3.1.1.1 – Trasformata di Fourier (L1)

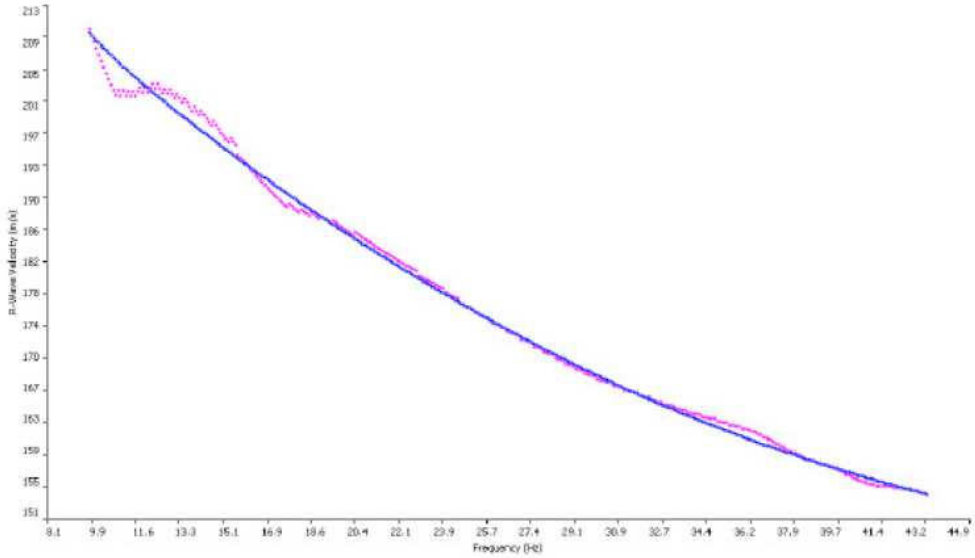


Fig. 3.1.1.2 – Curva di dispersione (in magenta la curva teorica, in bleu la curva calcolata) (L1)

3.1.1.1. Ricostruzione del sottosuolo mediante le velocità delle onde S

Dalle elaborazioni è stato possibile identificare, in base alle velocità di propagazione, una successione di orizzonti:

Spessore	Profondità	Vs (m/sec)
1,2	0,0-1,2	**147**
1,5	1,2-2,7	**181**
2,6	2,7-5,3	**218**
2,6	5,3-7,9	**230**
3,3	7,9-11,2	**249**
5,3	11,2-16,5	**237**
5,6	16,5-22,1	**281**
7,9	22,1-30,0	**319**

Tabella 1 – Spessori, profondità e Vs per ogni orizzonte (L1)

Dall'analisi degli orizzonti si è ricavato il grafico in cui è riportato il diagramma delle velocità delle onde S in funzione della profondità:

Rel. 006-17

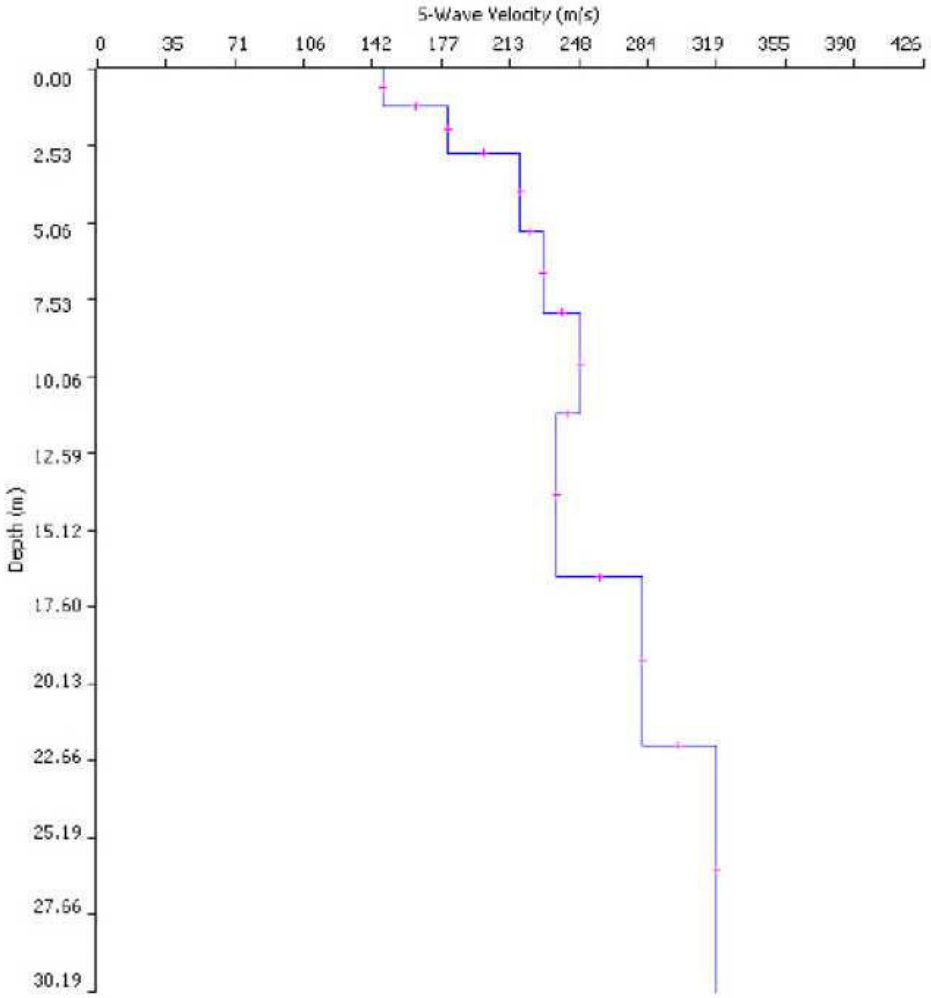


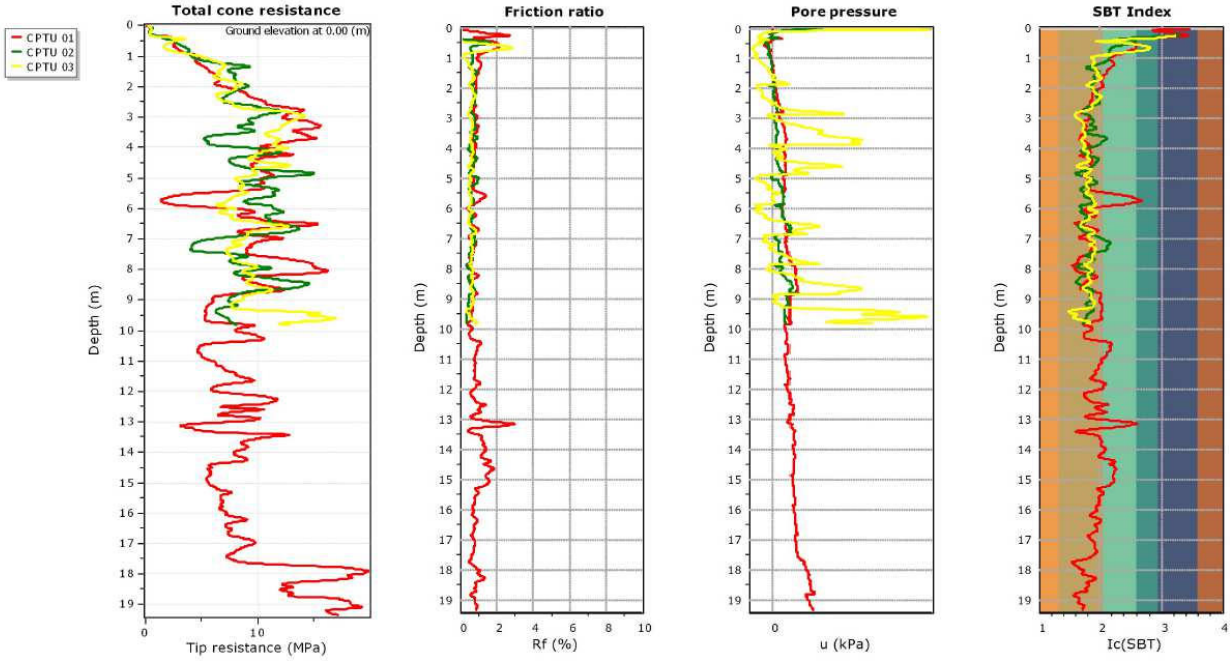
Fig. 3.1.1.1.1 – Diagramma delle Vs in funzione della profondità (L1)

ALLEGATO D

STRALCIO INTERPRETAZIONI INDAGINI PENETROMETRICHE STATICHE

Project: Sannazzaro dei Borgundi
Location: Sannazzaro

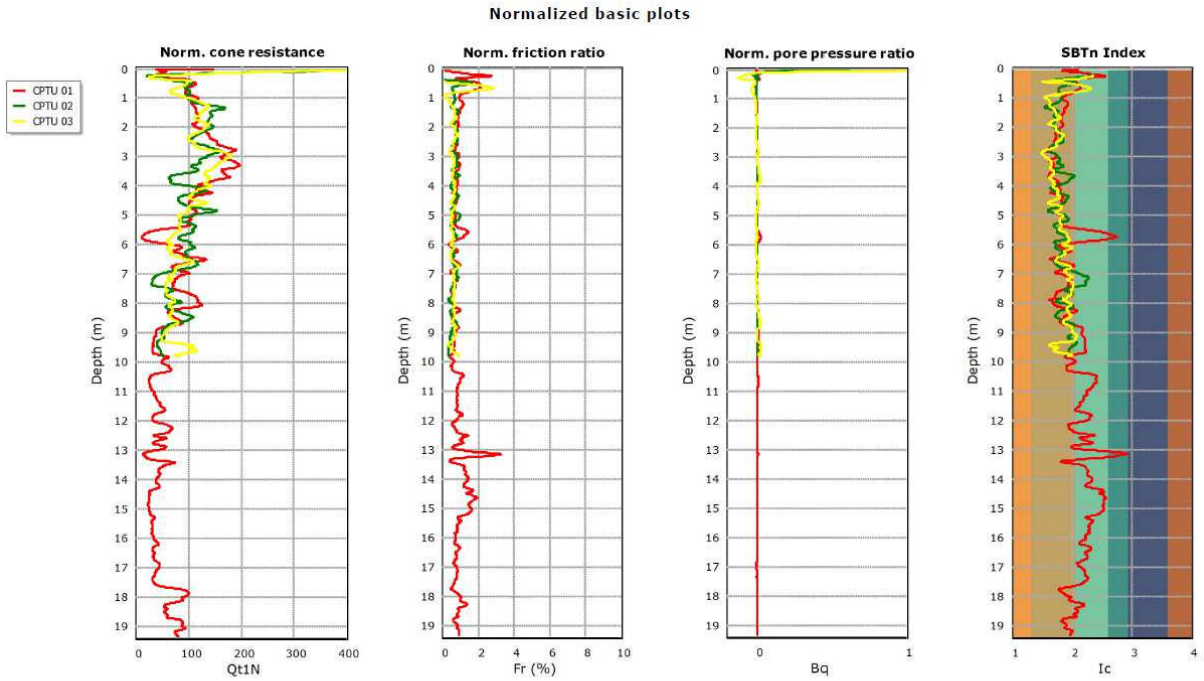
Overlay basic interpretation plots



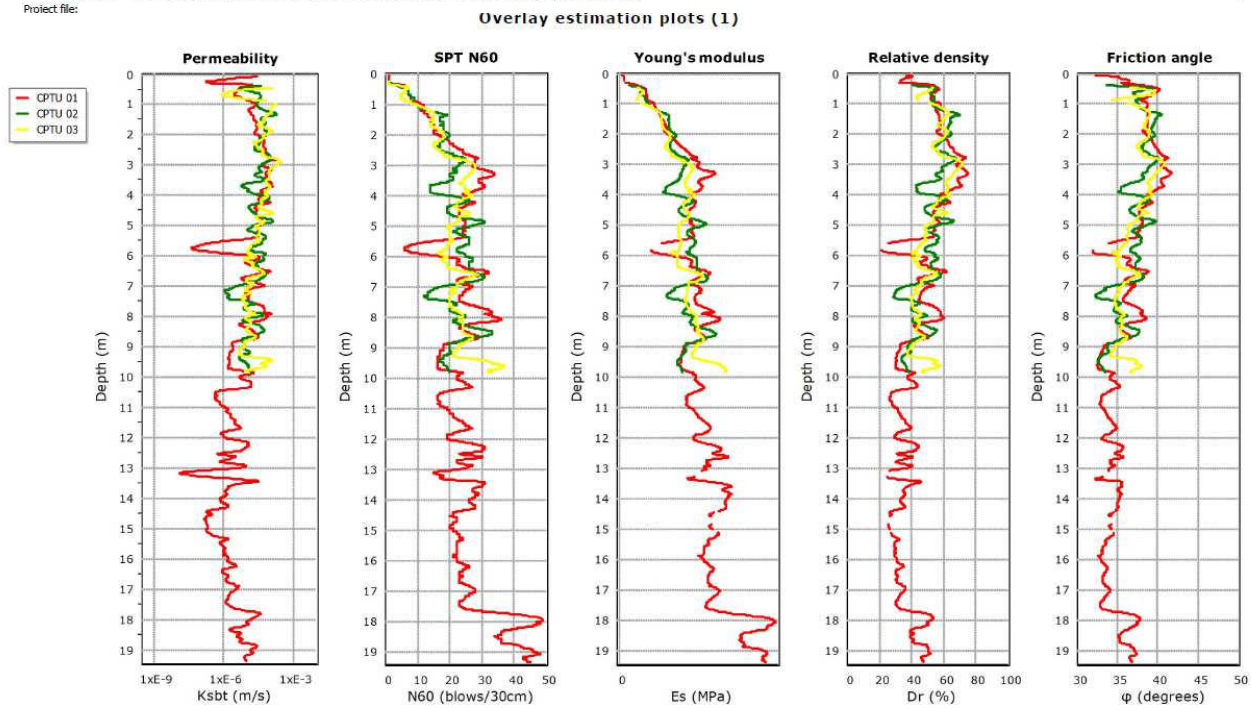
CPeT-IT v.2.3.1.9 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 25/05/2024, 10:10:14 1

SBT legend

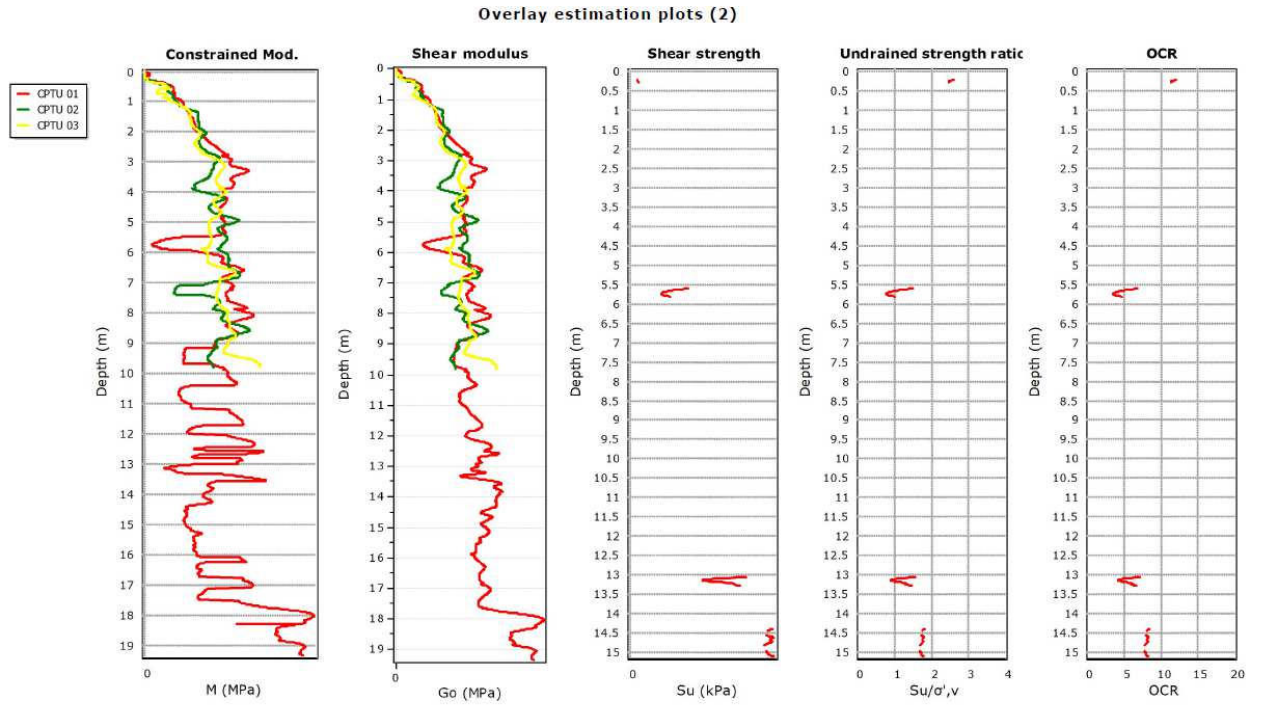
1. Sensitive fine grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty clay
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to clayey sand
9. Very stiff fine grained



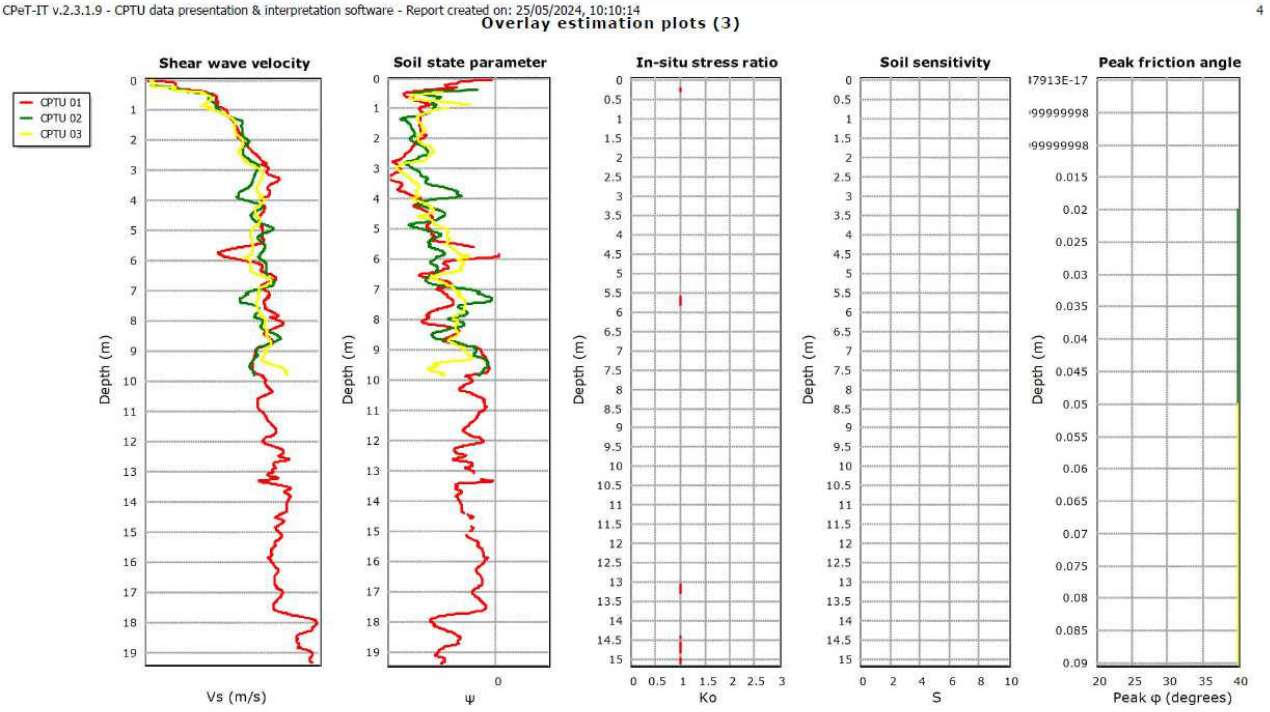
CPeT-IT v.2.3.1.9 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 25/05/2024, 10:10:14 2
Project file:



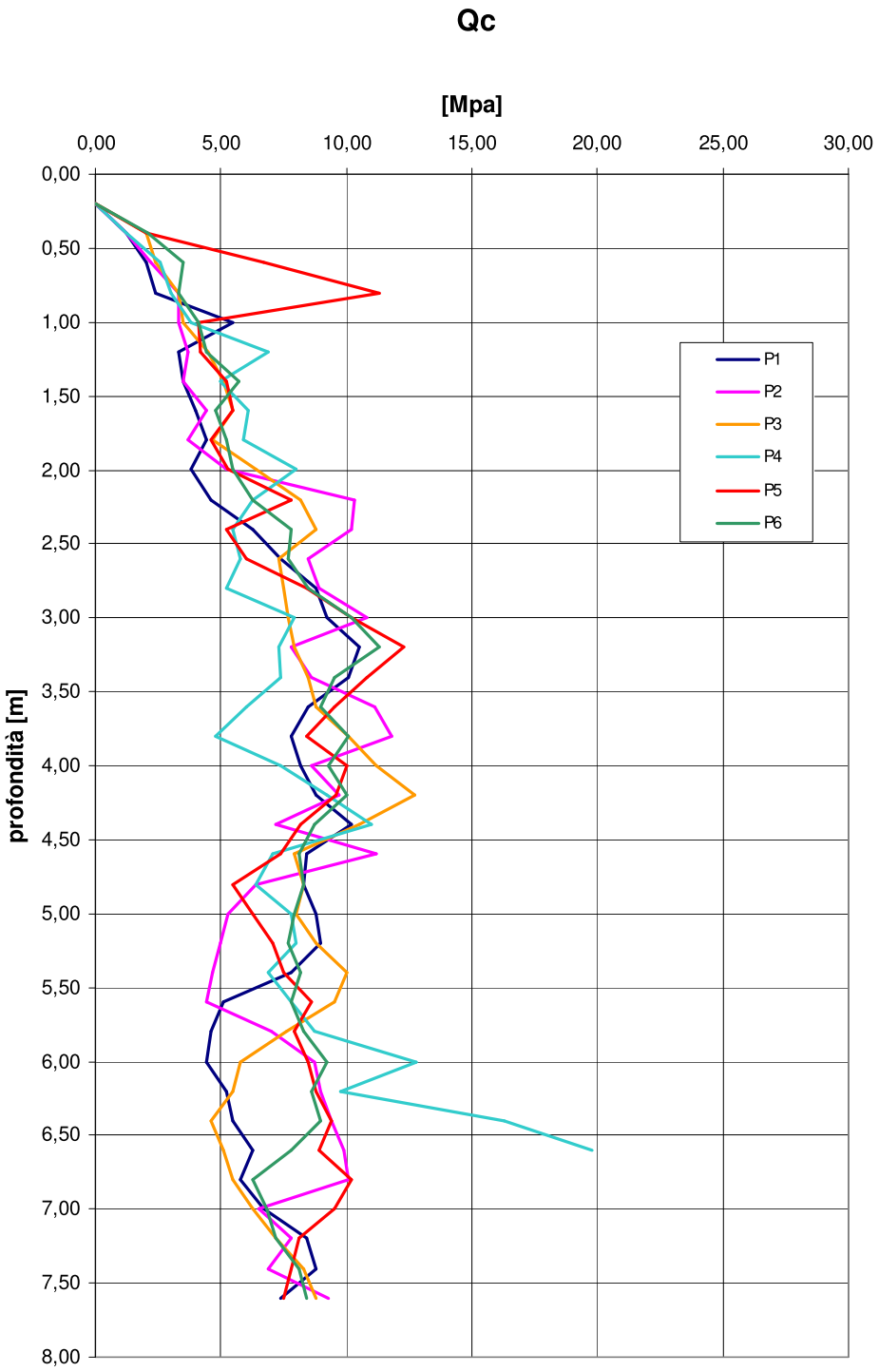
CPeT-IT v.2.3.1.9 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 25/05/2024, 10:10:14 3
Project file:

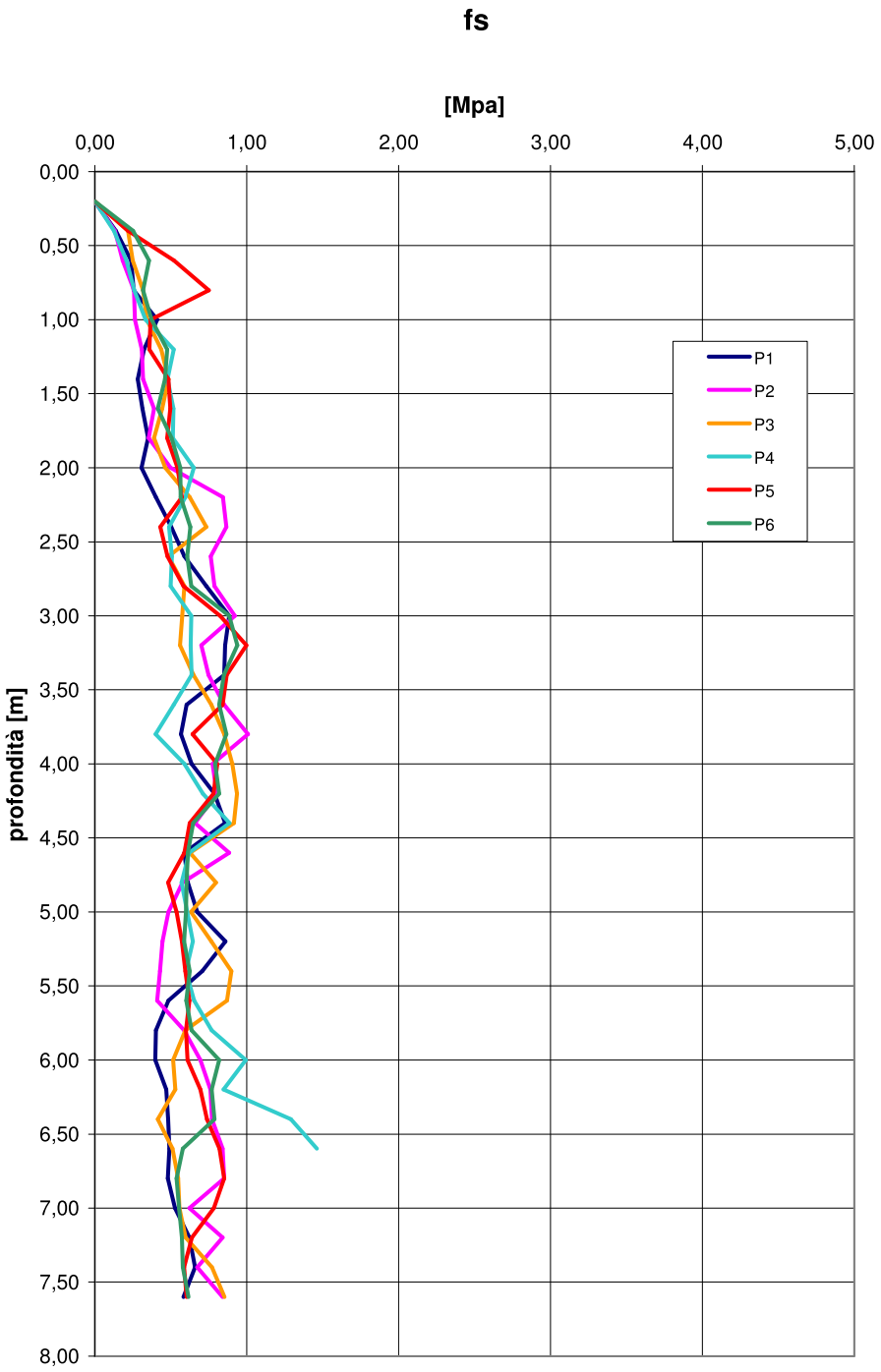


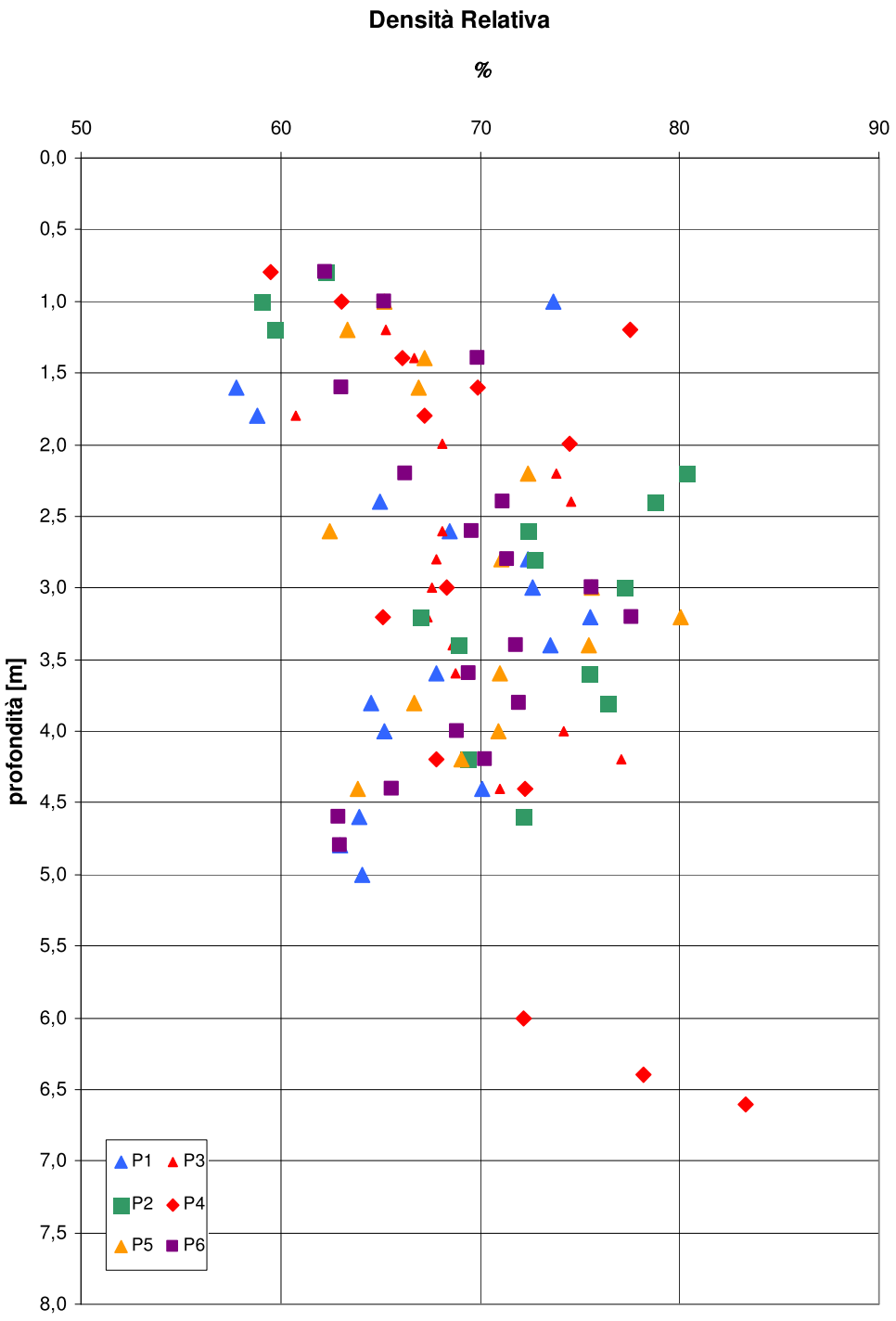
CPeT-IT v.2.3.1.9 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 25/05/2024, 10:10:14 4



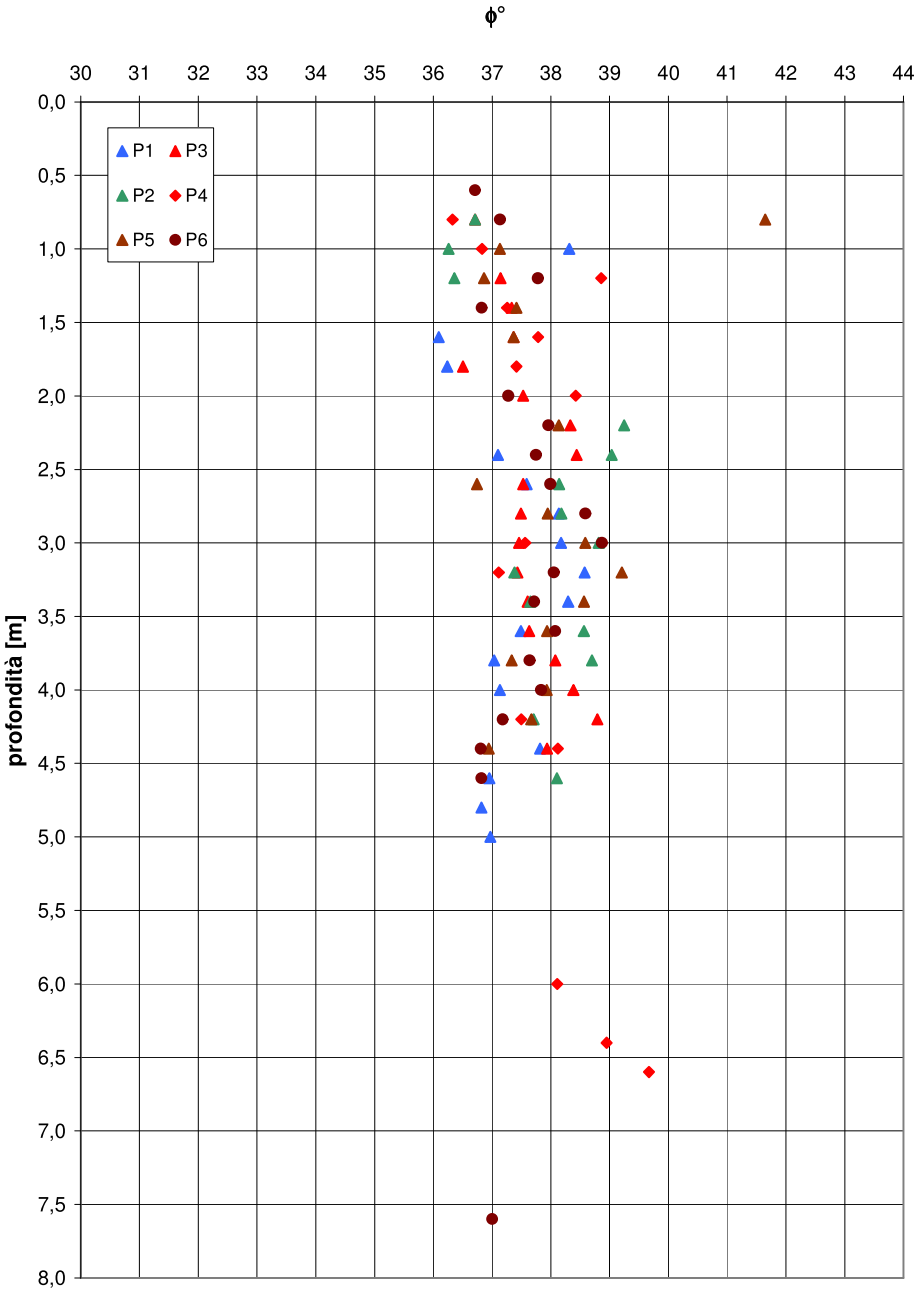
CPeT-IT v.2.3.1.9 - CPTU data presentation & interpretation software - Report created on: 25/05/2024, 10:10:14 5


Qc
[Mpa]
0,00
5,00
10,00
15,00
20,00
25,00
30,00
profondità [m]
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50
3,00
3,50
4,00
4,50
5,00
5,50
6,00
6,50
7,00
7,50
8,00
P1
P2
P3
P4
P5
P6

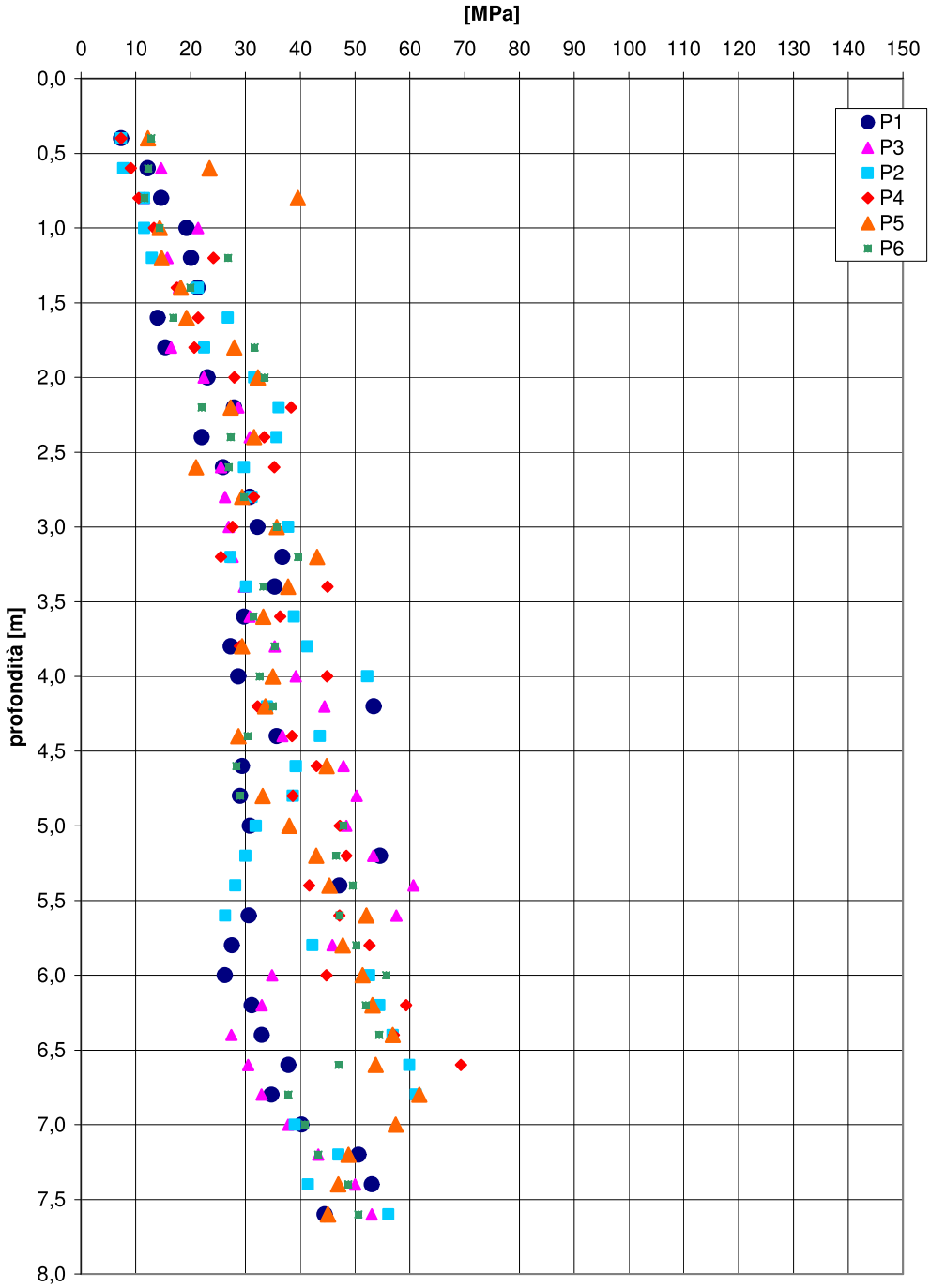

fs
[Mpa]
0,00
1,00
2,00
3,00
4,00
5,00
profondità [m]
0,00
0,50
1,00
1,50
2,00
2,50
3,00
3,50
4,00
4,50
5,00
5,50
6,00
6,50
7,00
7,50
8,00
P1
P2
P3
P4
P5
P6


Densità Relativa
%
50
60
70
80
90
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
5,5
6,0
6,5
7,0
7,5
8,0
profondità [m]
P1
P2
P3
P4
P5
P6

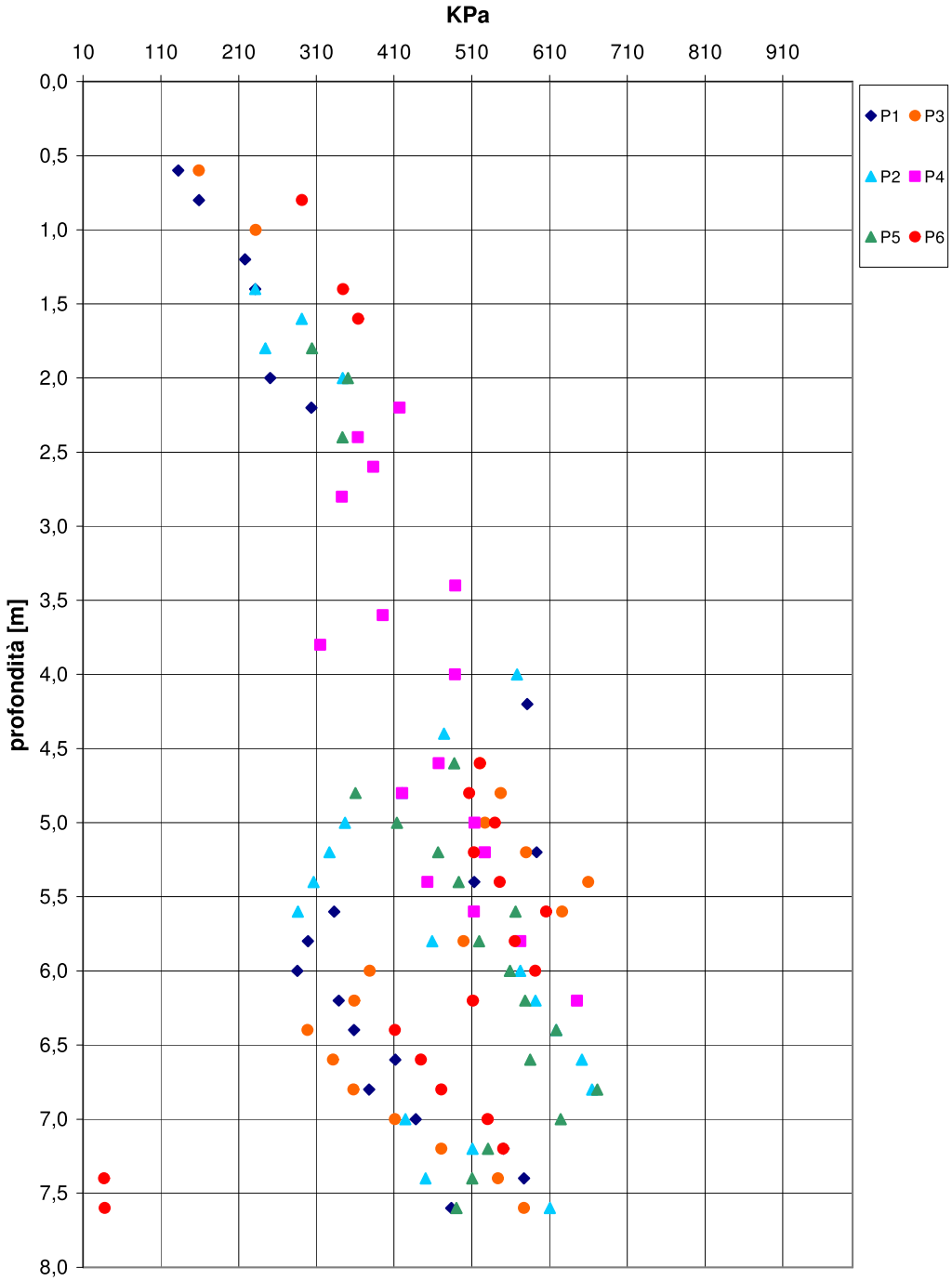
Angolo di Attrito



Modulo Elastico

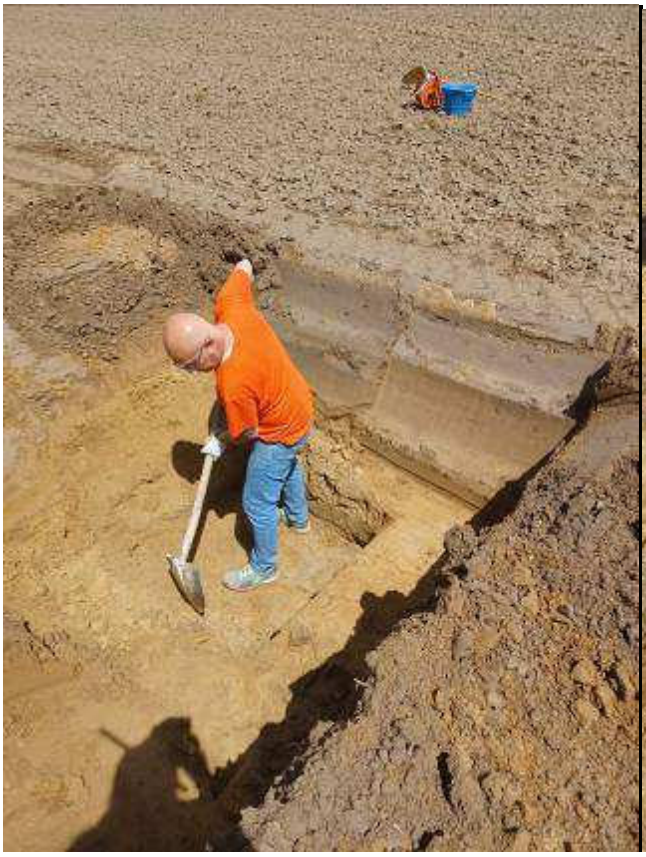


Resistenza al taglio Non Drenata

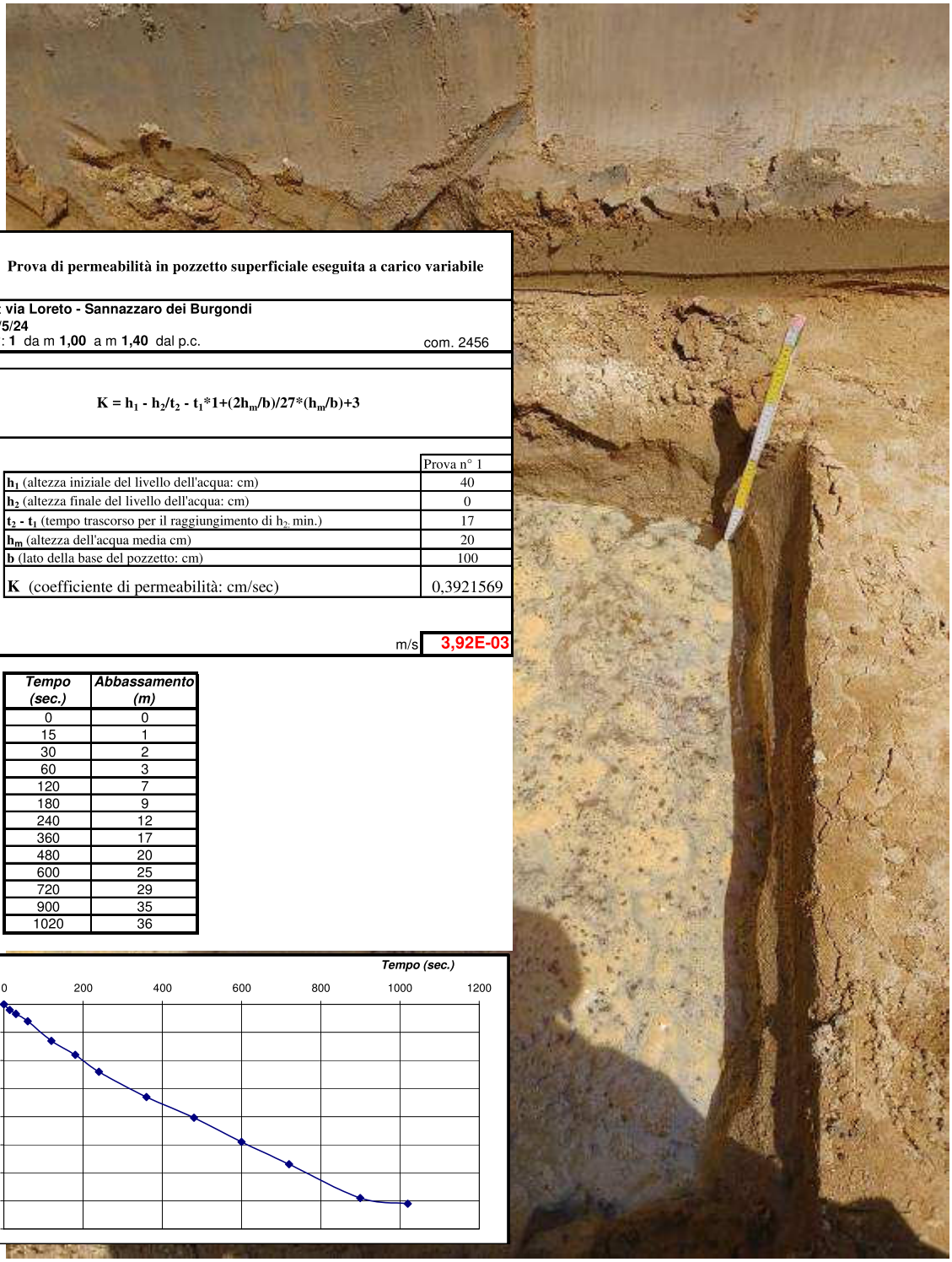


ALLEGATO E

STRALCIO INTERPRETAZIONI INDAGINI DI PERMEABILITÀ'



Predisposizione prova K1 (- 1,0 ÷ - 1,4 m)



Prova di permeabilità in pozzetto superficiale eseguita a carico variabile

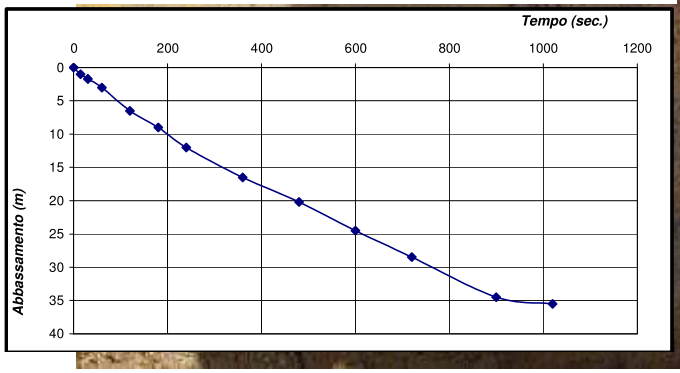
Cantiere: **via Loreto - Sannazzaro dei Burgondi**
Data: **22/5/24**
Prova N°: **1** da m **1,00** a m **1,40** dal p.c. com. 2456

$$K = h_1 - h_2/t_2 - t_1*1+(2h_m/b)/27*(h_m/b)+3$$

	Prova n° 1
h_1 (altezza iniziale del livello dell'acqua: cm)	40
h_2 (altezza finale del livello dell'acqua: cm)	0
$t_2 - t_1$ (tempo trascorso per il raggiungimento di h_2, min.)	17
h_m (altezza dell'acqua media cm)	20
b (lato della base del pozzetto: cm)	100
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)	0,3921569

m/s **3,92E-03**

Tempo (sec.)	*Abbassamento (m)*
0	0
15	1
30	2
60	3
120	7
180	9
240	12
360	17
480	20
600	25
720	29
900	35
1020	36



Prova K1

Predisposizione prova K2 (- 2,0 ÷ - 2,4 m)

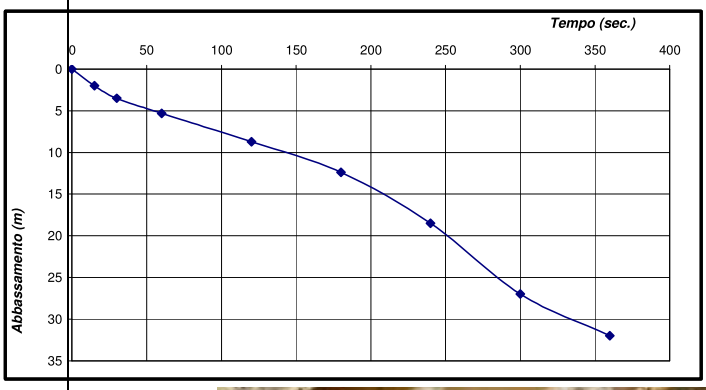
Prova di permeabilità in pozzetto superficiale eseguita a carico variabile

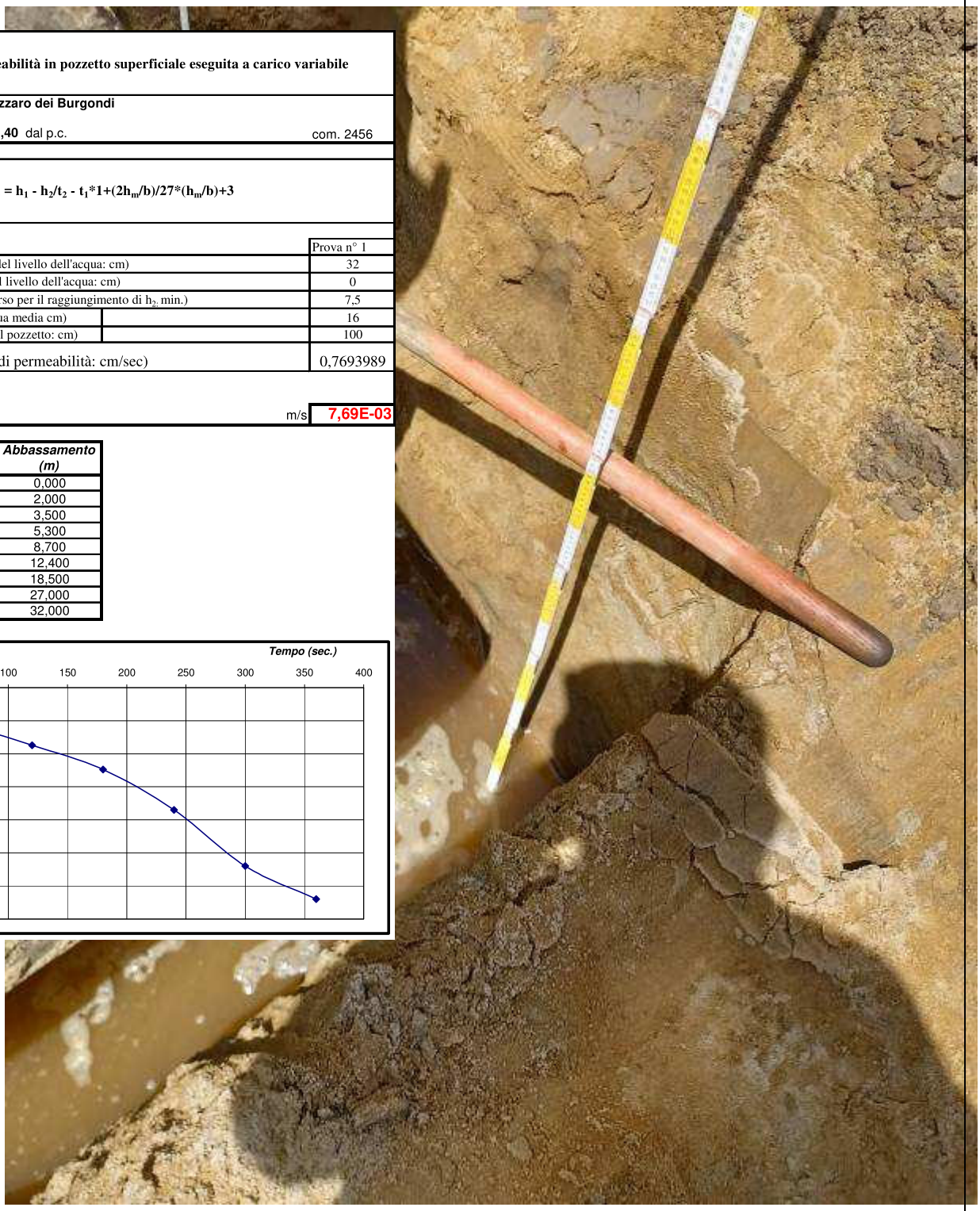
Cantiere: **via Loreto - Sannazzaro dei Burgondi**
Data: **22/5/24**
Prova N°: **2** da m **2,00** a m **2,40** dal p.c. com. 2456

$$K = h_1 - h_2/t_2 - t_1*1+(2h_m/b)/27*(h_m/b)+3$$

	Prova n° 1
h_1 (altezza iniziale del livello dell'acqua: cm)	32
h_2 (altezza finale del livello dell'acqua: cm)	0
$t_2 - t_1$ (tempo trascorso per il raggiungimento di h_2, min.)	7,5
h_m (altezza dell'acqua media cm)	16
b (lato della base del pozzetto: cm)	100
K (coefficiente di permeabilità: cm/sec)	0,7693989
m/s	**7,69E-03**

Tempo (sec.)	*Abbassamento (m)*
0	0,000
15	2,000
30	3,500
60	5,300
120	8,700
180	12,400
240	18,500
300	27,000
360	32,000





Prova K2