

(M2C4-I3.3) PROGETTAZIONE A LIVELLO ESECUTIVO DELLE OPERE DI PROTEZIONE ARGINALE PER IL MANTENIMENTO DELL'ASSETTO AMBIENTALE E IDRAULICO-MORFOLOGICO (SCHEDA 16 LINEA PT) NELL'AMBITO DELL'INVESTIMENTO PNRR M2C4 - I3.3 RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO, FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA NEXTGENERATIONEU

CUP: B41G21000010006

PROGETTO ESECUTIVO

SCHEDA N° 16 CAORSO (PC) - PROGETTO DIAFRAMMATURE

CODICE ELABORATO

PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

TITOLO DELL'ELABORATO

Relazione geologica

SCALA	COMMESSA	WBS			CODICE			REVISIONE
-	M2C4 I3.3	Fase	Scheda	Opera	Argomento	Tipo elab.	Progressivo	Rev.
		PE	016	GEO	GE	RT	001	A

PROGETTAZIONE

Raggruppamento temporaneo di professionisti

Mandataria



Mandanti



Ing. Andrea Marzi

STUDIO TECNICO
ING. PUCCINELLI
www.puccinelli.webs.com



STAZIONE APPALTANTE

**Agenzia Interregionale
per il Fiume Po**
Strada G. Garibaldi n.75
43121 Parma (PR)

**Responsabile Unico
del Procedimento**
Ing. Mirella Vergnani

Responsabile dell'Integrazione delle Prestazioni Specialistiche

Ing. Andrea Marzi

Ing. Andrea Pettinaroli

Responsabile dell'elaborato

Geol. Giancarlo Bonini

A	12/03/2025	Prima Emissione	SP	GB	GB
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**

Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 1 / 126

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 2 / 126	

Sommario

1	PREMESSA.....	4
1.1	Normative di riferimento.....	5
1.2	Localizzazione del sito.....	6
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	8
2.1	Quadro geologico	8
2.2	Stratigrafia	9
2.2.1	Subsistema di Ravenna (AES8)	9
2.2.1.1	Unità di Modena (AES8a)	10
2.2.2	Subsistema di Villa Verrucchio (AES7)	10
2.3	Aspetti geomorfologici e rischio idrogeologico	12
2.3.1	Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi	18
2.3.1.1	La vulnerabilità degli acquiferi	24
2.3.1.2	La piezometria.....	25
	DATI GEOGNOSTICI	32
2.4	Dati stratigrafici bibliografici	32
2.4.1	Dati bibliografici da database RER.....	32
2.5	Dati stratigrafici locali.....	33
2.5.1	Sondaggio a carotaggio continuo.....	40
2.5.1.1	Sondaggio S3-DH	40
2.5.1.2	Sondaggio S4	44
2.5.1.3	Sondaggio S5	47
2.5.1.4	Sondaggio Pz1_Pozzo1 e Sondaggio Pz1_Pozzo2	50
2.5.1.5	Prove di permeabilità Lefranc	51
2.5.1.6	Prove pressiometriche Menard	54
2.5.2	Perforazione Pozzi.....	56
2.5.2.1	Pozzo1	57
2.5.2.2	Pozzo2	58
2.5.3	Prove geotecniche di laboratorio.....	60
2.5.3.1	Peso di volume allo stato naturale.....	64
2.5.3.2	Limiti di Atterberg, Classificazione di Casagrande e classificazione materiali.....	64
2.5.3.3	Classificazione granulometrica.....	67
2.5.3.4	Prova di compressione non drenata ELL.....	69
2.5.3.5	Resistenza al taglio e coesione drenata	69
2.5.3.6	Prove di colonna risonante	70
2.5.3.7	Le prove edometriche e modulo edometrico	71
2.5.4	Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu)	73
2.5.4.1	Le prove di dissipazione	82
2.5.5	Prova sismica Down Hole	85
2.5.6	Prova sismica MASW	89
2.5.7	Prova sismica MASW 2D.....	91
2.5.8	Tomografia elettrica 2D.....	92

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE*Codice elaborato:* **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A***Titolo elaborato:* **Relazione geologica**

pag. 3 / 126

3	PROVE DI PORTATA – CAMPO PROVA.....	94
3.1	Prova di pompaggio a gradini	97
3.1.1	Pozzo 1	98
3.1.2	Pozzo 2	100
3.2	Prove di pompaggio a lunga durata	103
3.2.1	Pozzo 1	104
3.2.2	Pozzo 2	105
3.3	Risultati prove di portata	106
4	MODELLO GEOLOGICO E SCHEMA LITOLOGICO.....	107
4.1	Permeabilità.....	110
5	CONSIDERAZIONI FINALI	118

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica
pag. 4 / 126	

1 PREMESSA

Il presente studio geologico-geotecnico costituisce la relazione geologica a corredo del Progetto Esecutivo - PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO per la specifica scheda n°16 CAORSO (PC).

Nella precedente fase di Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica PFTE, attraverso l'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche eseguite nel 2024 è stato possibile ricavare le caratteristiche geologiche dell'area interessata dalle opere in progetto presso il comune di Caorso, lungo l'argine destro del Fiume Po in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo. Le elaborazioni svolte hanno evidenziato le condizioni di fattibilità geologica e sono state definite le condizioni geologiche, litologiche e idrogeologiche locali.

Con riferimento alle modalità tecnico-esecutive delle opere in progetto, attraverso il presente studio si conferma la compatibilità esecutiva delle opere previste con l'assetto geologico-litologico e idrogeologico dell'area di studio.

Il presente elaborato riporta i dati e le informazioni relative a:

- ✓ Inquadramento geologico e geomorfologico: in esso vengono descritte le formazioni e le litologie presenti nell'area.
- ✓ Sintesi delle indagini geognostiche reperite ed eseguite.
- ✓ Ricostruzione stratigrafica ed idrogeologica alla luce delle indagini geognostiche eseguite e reperite.
- ✓ Analisi di fattibilità geologica ed evidenza delle eventuali criticità emerse dallo studio.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 5 / 126	

1.1 Normative di riferimento

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 *Costruzioni in zona sismica*
- D.M. 14 Gennaio 2008. *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*
- D.M 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*.
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti n.7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
- D.A.L. 112/2007. Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16, c.1 della L.R. 20/2000 per *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*
- L.R. 19 del 30.10.2008. *Norme per la riduzione del rischio sismico.*
- D.G.R. 1373/2011. *Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. 19 del 2008 e smi per la riduzione del rischio sismico.*
- DGR.2193/2015 "Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"* di cui alla DAL 2/05/2007 n.112".
- D.G.R. n.146 del 06/02/2023 *"Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"*
- D.G.R. n.630 del 29/04/2019 *"Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt.22 e 49, L.R. 24/2017)"*.
- DGR 476/2021 (e DGR integrativa n. 564/2021) *"Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)" di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019, n. 630"*

L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 162111 "S. NAZZARO" alla scala 1:5.000; il sito in esame si colloca ad una quota di circa 44-45 m s.l.m. e le coordinate di un punto baricentrale dell'area sono rispettivamente 45.069808° di latitudine e 9.839217° di longitudine (ED50).

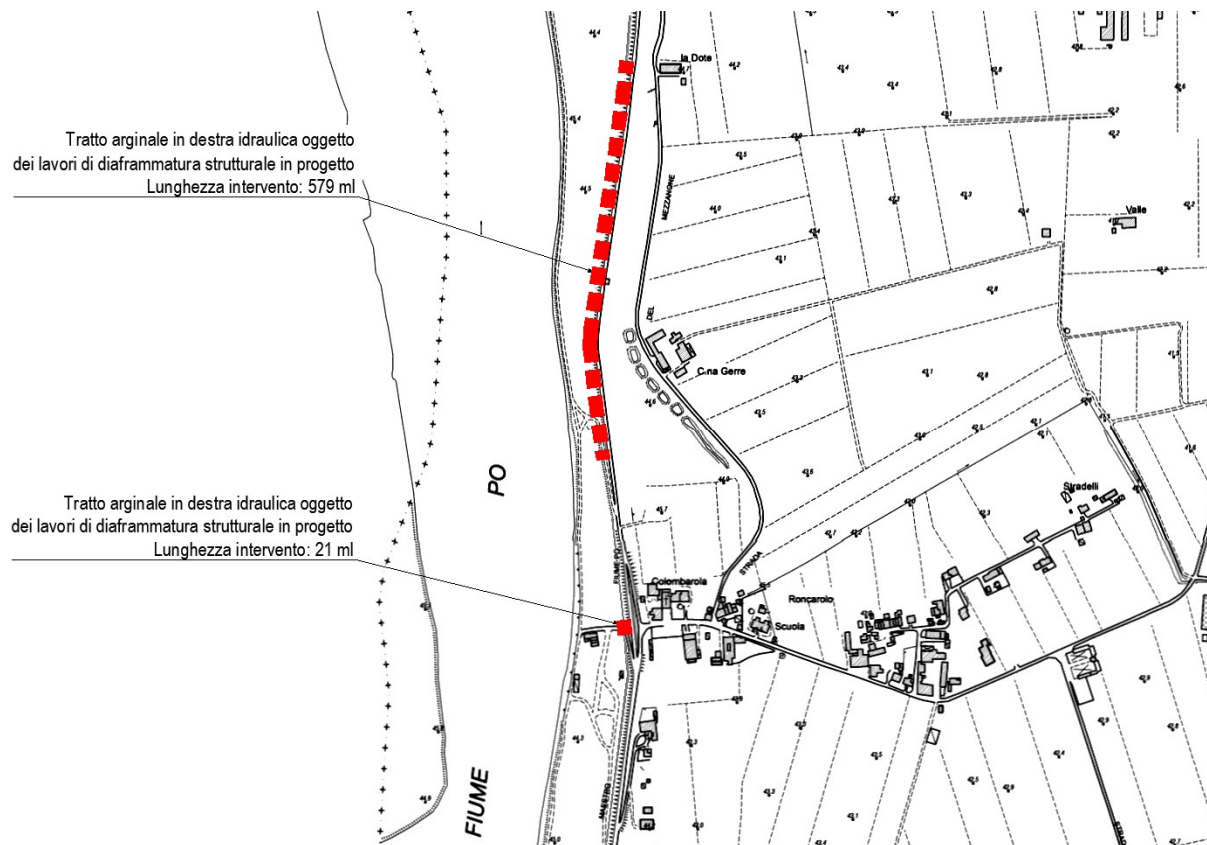


Figura 1. Ubicazione dell'area su CTR, non in scala.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**

Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 7 / 126

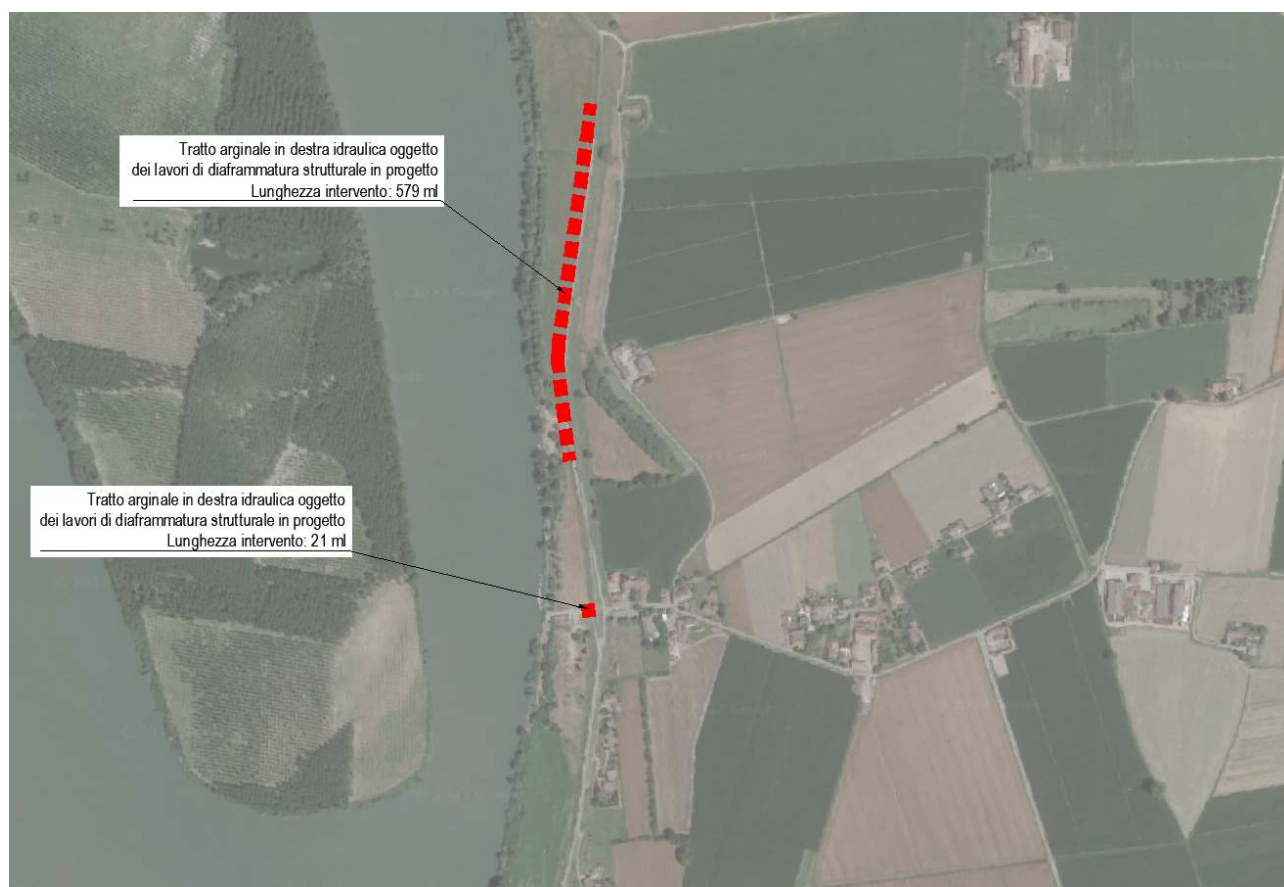
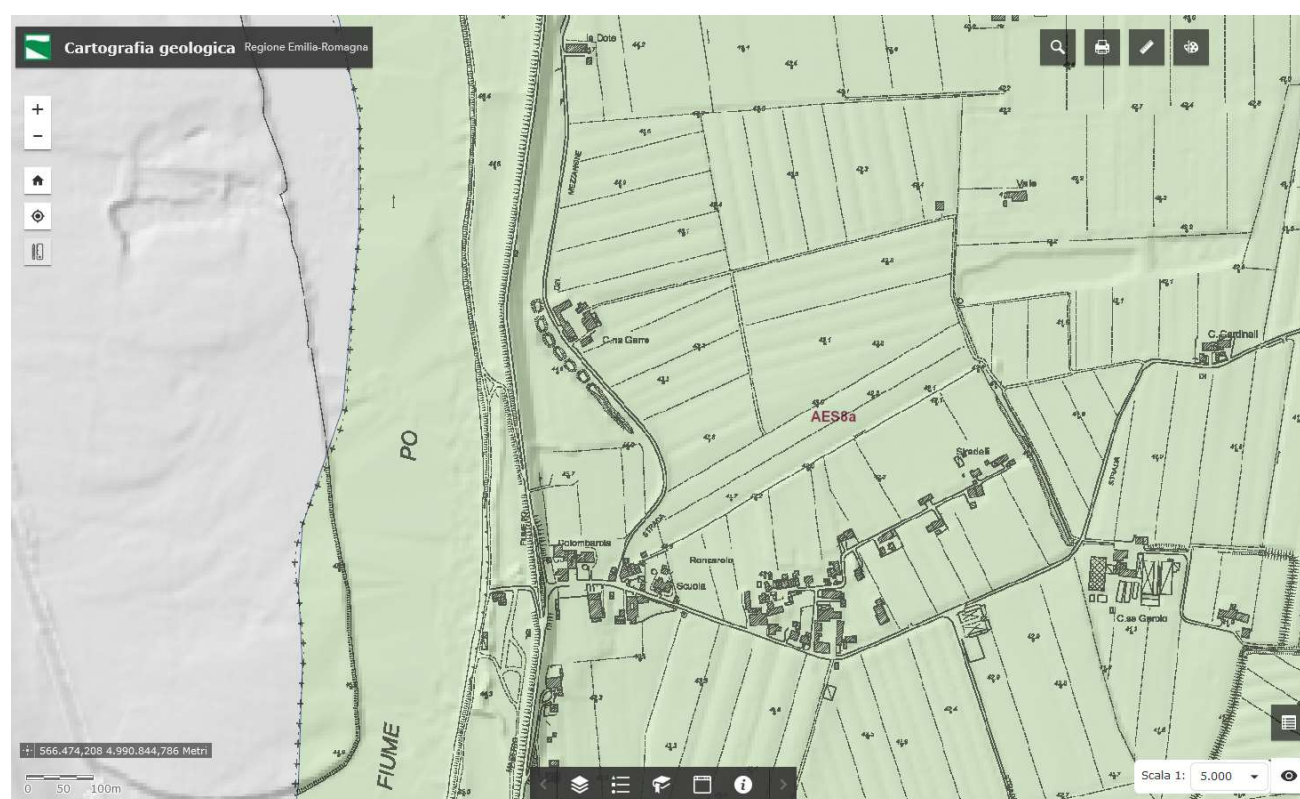


Figura 2. Individuazione area in esame su ortofoto Google Earth.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

2.1 Quadro geologico

La zona in esame ricade nel Foglio 162 “PIACENZA” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed è caratterizzata principalmente dalla presenza di depositi di piana alluvionale appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8) ed in particolare all'Unità di Modena (AES8a). Nei paragrafi successivi si riportano le descrizioni tratte dalle note illustrative della Cartografia Geologica in scala 1:50.000 della Regione Emilia-Romagna disponibili al sito: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>.



Coperture quaternarie (10K)

AES8a - Unità di Modena

Figura 2. Estratto dalla carta geologica del progetto CARG disponibile nel sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 9 / 126	

2.2 Stratigrafia

Le unità geologiche affioranti nell'area in esame possono essere raggruppate all'interno del ciclo Quaternario Continentale, denominato Supersistema Emiliano-Romagnolo (equivalente all'Allogruppo Emiliano-Romagnolo di R.E.R., ENI-AGIP, 1998¹) nel quale sono state individuate due unità principali: un'unità inferiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI - equivalente all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore della pubblicazione citata) ed un'unità superiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES - equivalente all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore della pubblicazione citata). Nell'area in esame affiorano i depositi del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio-Olocene) è stato suddiviso in cinque subsistemi identificabili in affioramento mediante caratteristiche morfo-pedostratigrafiche: si tratta infatti di conoidi alluvionali terrazzate, le cui superfici deposizionali relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano un'evoluzione pedostratigrafica differente; in ordine crescente di età si trova: Subsistema di Ravenna (AES8), Subsistema di Villa Verucchio (AES7), Subsistema di Agazzano (AES3), Subsistema di Maiatico (AES2), Subsistema di Monterlinzana (AES1).

In corrispondenza dell'area in studio affiora il Subsistema di Ravenna (AES8) ed in particolare l'Unità di Modena (AES8a); nel paragrafo successivo si riportano le descrizioni delle coperture quaternarie presenti tratte dalle note illustrative della Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna disponibili al sito: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>. Si precisa che le descrizioni riportate di seguito sono state reperite nel Foglio 180 "Salsomaggiore Terme" e 182 "Guastalla".

2.2.1 Subsistema di Ravenna (AES8)

Il Subsistema di Ravenna si sviluppa in condizioni di piana alluvionale e rappresenta lo spessore dei sedimenti depositi nell'ultimo postglaciale. Si nota una distribuzione superficiale di classi granulometriche, derivanti dall'ambiente deposizionale, che permette il riconoscimento e mappare diversi sotto-ambienti del sistema fluviale. L'unità è costituita da alternanze di sabbie, limi sabbiosi, limi ed argille di canale, argine e rotta fluviale e da argille e limi di piana inondabile, legati allo sviluppo del reticolo idrografico del Fiume Po. (Età Pleistocene superiore – post 20.000 B.P. - Olocene -età radiometrica della base: 11.700 anni).

Il tetto del Subsistema è una superficie deposizionale, frequentemente relitta, coincidente con il piano topografico attuale che mostra suoli con diverso grado di alterazione. Gli orizzonti superiori dei suoli variano da non calcarei a calcarei, discriminando l'appartenenza all'unità di Modena (AES8a), descritta nel paragrafo successivo. La superficie topografica coincide in gran parte con il piano di frequentazione romano (tranne che per AES8a) come testimoniano i reperti archeologici relativi ad insediamenti e tracce della centuriazione romana.

¹ REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP (1998) - *Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp..

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 10 / 126	

Litologicamente l'AES8 localmente è caratterizzato da sabbie di riempimento di canale fluviale appartenenti a depositi di piana a meandri del fiume Po. La granulometria varia da fine a grossolana, gli strati sono da spessi a molto spessi prevalentemente amalgamati. Nell'area del Foglio 182, il Subsintema di Ravenna raggiunge lo spessore massimo di circa 23 metri.

Su base morfologica, archeologica e pedostratigrafica viene distinta, all'interno del Subsintema di Ravenna, l'Unità di Modena.

2.2.1.1 Unità di Modena (AES8a)

Questa Unità di rango inferiore comprende i depositi più recenti e superficiali presenti del Foglio ed affiora estesamente lungo il corso del fiume Po, nel settore centrale del Foglio, e lungo il corso dei torrenti appenninici. E' stata definita e datata da Cremaschi & Gasperi (1989) nell'area tipo (Unità Alluvione). Concettualmente questa unità comprenderebbe i depositi fluviali attualmente in evoluzione (b1) che però vengono cartografati separatamente in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente. Consiste in depositi di riempimento di canale fluviale (sabbie fini e finissime) e di argine lungo il fiume Po (limi sabbiosi prevalenti) e da depositi di piana inondabile (argille e limi), di argine, canale e rotta fluviale (alternanze saggio e limi) lungo il corso dei fiumi appenninici.

Questa Unità è definita dalla presenza a tetto di un suolo a bassissimo grado di alterazione, non decarbonatato. Il limite inferiore di AES8a è dato dal contatto in discontinuità, dei suoi depositi sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo presente al tetto di AES8. Dati di letteratura, archeologici e storici, indicano che l'unità si è deposta a partire dal IV-VI secolo d.C. (Bondesan, 1986; Ciabatti & Veggiani, 1990; Montevecchi & Novara, 2000; Veggiani, 1982, 1987). I depositi dell'unità di Modena sono stati attribuiti da Cremaschi & Gasperi (1989), in aree del Foglio 200, alla crisi climatica altomedievale (Mayr, 1964; Accorsi et alii, 1982; Veggiani, 1994; Caporusso & Cremaschi, 1988; Bergonzini et alii, 1989). Nell'area del Foglio 182 sono presenti ritrovamenti archeologici (strutture abitative, fornaci) di età romana da essa sepolti. All'interno dell'unità, ulteriormente suddivisa in carta in base alla granulometria dei depositi affioranti ed all'ambiente deposizionale, sono stati distinti alcuni elementi morfologici quali ventagli di rotta, paleovalvei ed argini artificiali utili alla ricostruzione dell'evoluzione idrografica dell'area.

Nel sottosuolo l'Unità AES8a si presenta sia con depositi di argille e limi di piana inondabile, che con alternanze di limi, argille e sabbie fini di argine ed infine sabbie di canale fluviale (nelle aree più vicine al corso del fiume Po). Talora sui depositi di piana inondabile aggradano limi e sabbie di canale argine. Datazioni radiometriche con il metodo del ¹⁴C, effettuate su materiale organico presente in suoli intercettati in sondaggio, confortano il posizionamento della base di questa unità in sottosuolo. Lo spessore dell'unità AES8a supera i 10 metri spostandosi verso il corso del fiume Po. Età: Olocene (IV-VI sec d.C- Attuale).

2.2.2 Subsintema di Villa Verrucchio (AES7)

Definito nell'area del Foglio 256 "Rimini" (2005), questo Subsintema è presente, nell'area in esame, solo in sottosuolo ed è costituito da sabbie, sabbie e ghiaie, limi e argille di ambiente alluvionale. Su

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica
pag. 11 / 126	

base morfologica, pedomorfologica ed archeologica il sub-sistema di Villa Verucchio viene suddiviso regionalmente in due unità (dal basso: AES7a unità di Niviano ed AES7b unità di Vignola) prevalentemente comprese tra superfici a limiti inconformi e separate, ove affioranti (non nell'area in esame), da scarpate fluviali di oltre 10 metri. La base di AES7 corrisponde alla parte trasgressiva del ciclo ed è individuata nell'area del Foglio 182 dall'inizio della deposizione fine di piana inondabile o tracimazione fluviale su sedimenti più grossolani (sabbie e ghiaie) presenti al tetto del sottostante Subsistema di Agazzano.

Nell'area in esame le indagini geognostiche hanno individuato il Subsistema AES7 rappresentato dall'unità di Vignola (AES7b).

Litologicamente vi si riconoscono i seguenti depositi:

- sabbie di riempimento di canale fluviale legate al sistema di alimentazione padano che formano corpi tabulari molto ed estesi. Le sabbie sono da fini a grossolane con rare (ma non infrequenti nell'area) intercalazioni ghiaiose; gli strati sono da spessi a molto spessi e generalmente amalgamati.

Lateralmente e/o sottocorrente i depositi di canale fluviale passano a depositi più fini costituiti da limi, limi sabbiosi di argine, canale e rotta fluviale e da limi, ed argille di piana inondabile.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

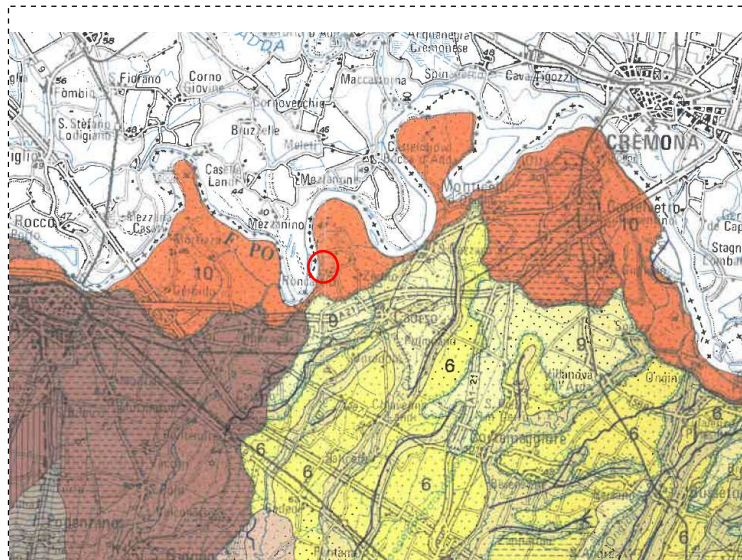
pag. 12 / 126

2.3 Aspetti geomorfologici e rischio idrogeologico

Dal punto di vista morfologico l'area, a morfologia pianeggiante, è in prevalenza il risultato dell'azione prodotta dalle acque di scorrimento superficiale e dall'attività antropica. Il sito in esame si trova ad una quota di circa 44-45 m s.l.m.

Nella Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna (1999)² l'area in studio è contraddistinta dalla presenza di sedimenti di "Conoidi e terrazzi alluvionali", in particolare, è caratterizzata dalla presenza di *"Sabbie medie e grossolane, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessori decimetrico. Depositi di piana a meandri. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione"*.

Dal punto di vista pedostratigrafico il sito in esame si colloca in corrispondenza di un'area occupata da "depositi ai primi stadi di alterazione, fronte di alterazione <1m (50-100 cm). Al tetto suoli calcarei con differenziazione del profilo in orizzonti A-C, A-Bw-C; Hue degli orizzonti B2.5Y-10YR. Al tetto ed all'interno dei sedimenti reperti di Età Medioevale e di Età Moderna. (Olocene: tardo antico - VI secolo d.C. – Età Moderna).



- 1 Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione.
- 6 Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
- 9 Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.
- 10 Sabbie medie e grossolane, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessori decimetrico. Depositi di piana a meandri. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.

Figura 3. Estratto dalla Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna.

² Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna (1999) SELCA Firenze

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURECodice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 13 / 126

È stata consultata la Tavola B_04 “Carta geologica e geomorfologica” del PSC del comune di Caorso. L'area in esame rientra nelle zone soggette a recenti fenomeni di meandreggiamento del Fiume Po. Poco a sud dell'area in esame è segnalata una recente ansa meandrica abbandonata – medio-recente.

Non sono segnalate tracce di paleoalvei e dossi fluviali in corrispondenza dell'area di studio.

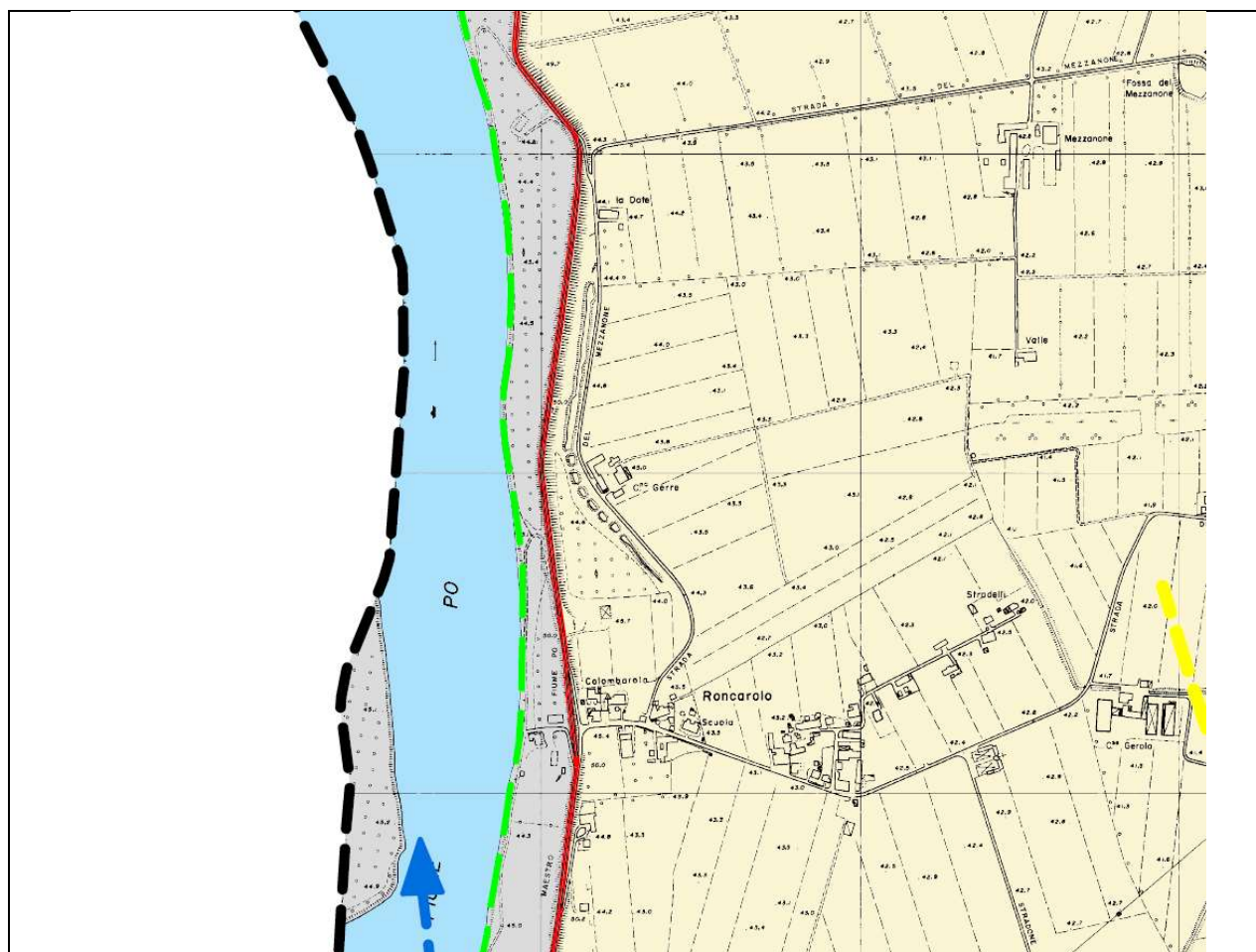


Figura 4. Estratto dalla “Carta geologica geomorfologica” del PSC del comune di Caorso.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 14 / 126

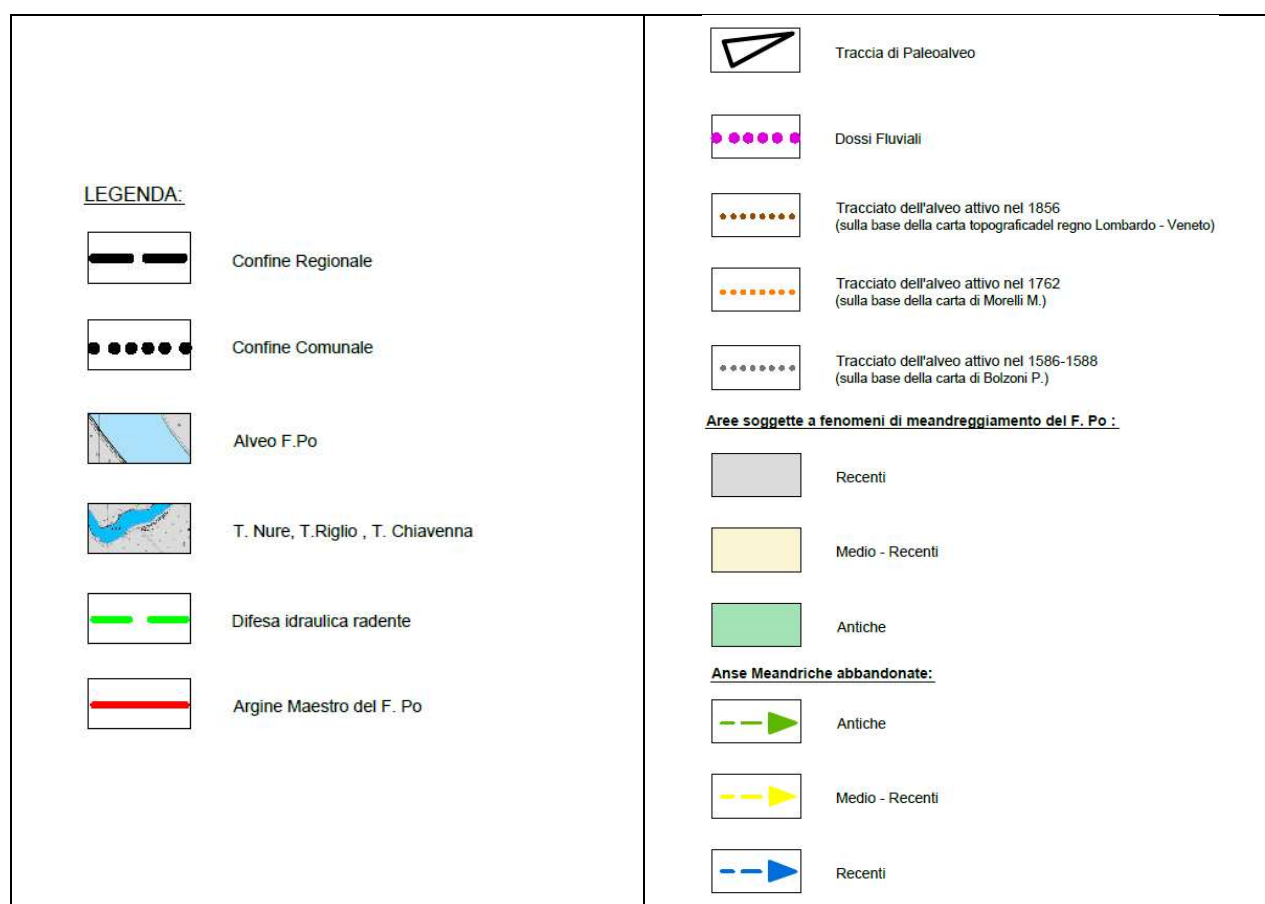


Figura 5. Porzione legenda da “Carta geologica geomorfologica” del PSC del comune di Caorso.

L'area in esame non interessa zone in dissesto, nella Tavola A.3_3 del PTCP della provincia di Piacenza il sito rientra in aree interessate da “depositi alluvionali terrazzati”.

Nella Tavola B_01a “Carta delle fasce fluviali - stato della pianificazione sovraordinata - adeguamento dello strumento urbanistico vigente (PRG '92) al PAI” sono indicate le aree ricadenti in Fascia A, B e C del PAI. L'intera area in esame, presso cui è in Progetto la costruzione del diaframma rientra in Fascia A. Le aree interessate dalle indagini geognostiche eseguite per la caratterizzazione geolitologica dell'area sono comprese in zone in Fascia A e Fascia C.

Le stesse informazioni sono riportate nella Tavola B_03a e nella Tavola B_02a “Carta delle fasce fluviali stato della pianificazione sovraordinata”.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 15 / 126

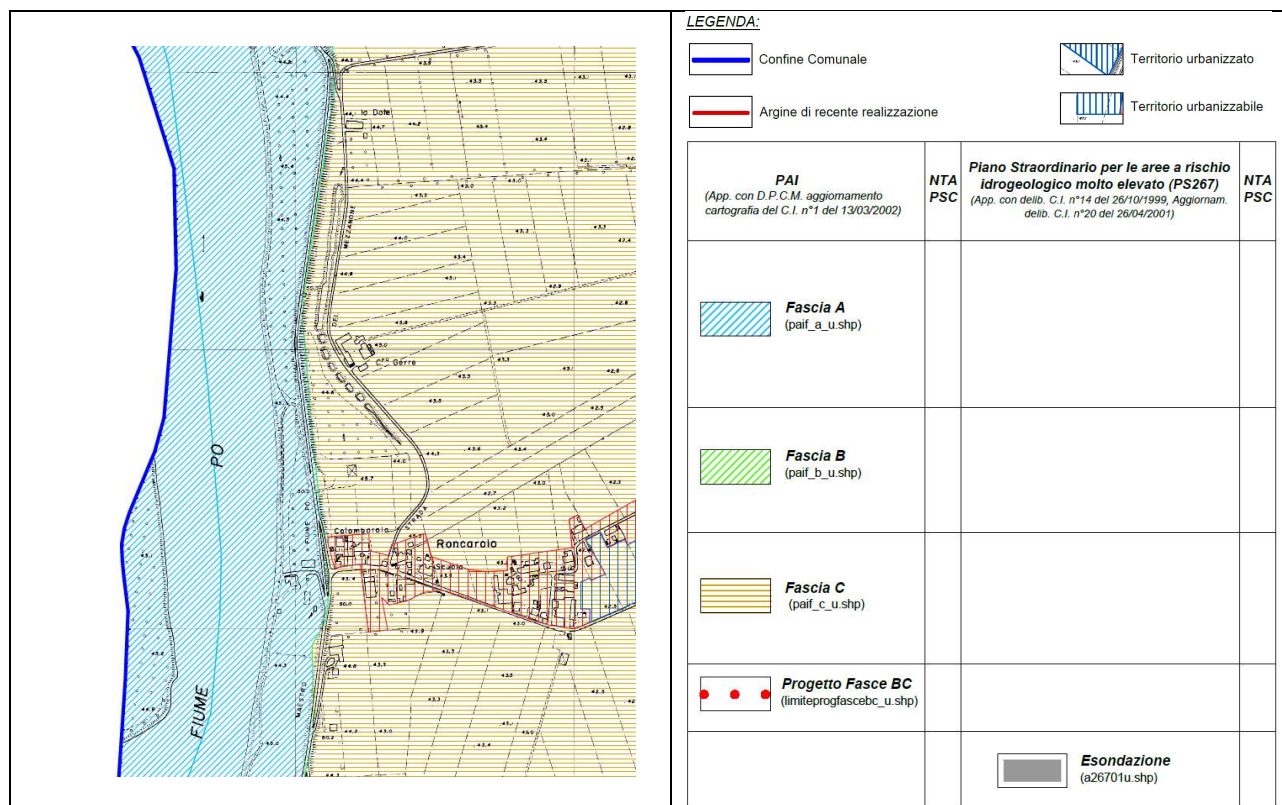


Figura 6. Tavola B_01a “Carta delle fasce fluviali - stato della pianificazione sovraordinata - adeguamento dello strumento urbanistico vigente (PRG '92) al PAI” PSC del comune di Caorso.

In particolare nella Tavola B_02a “Carta delle fasce fluviali stato della pianificazione sovraordinata”, in accordo con il PTCP della provincia di Piacenza vengono distinte, entro la fascia A, la Fascia A1 “alveo inciso” e la Fascia A2 “alveo di piena”. L’area in esame rientra nella Fascia A2 “alveo di piena”.

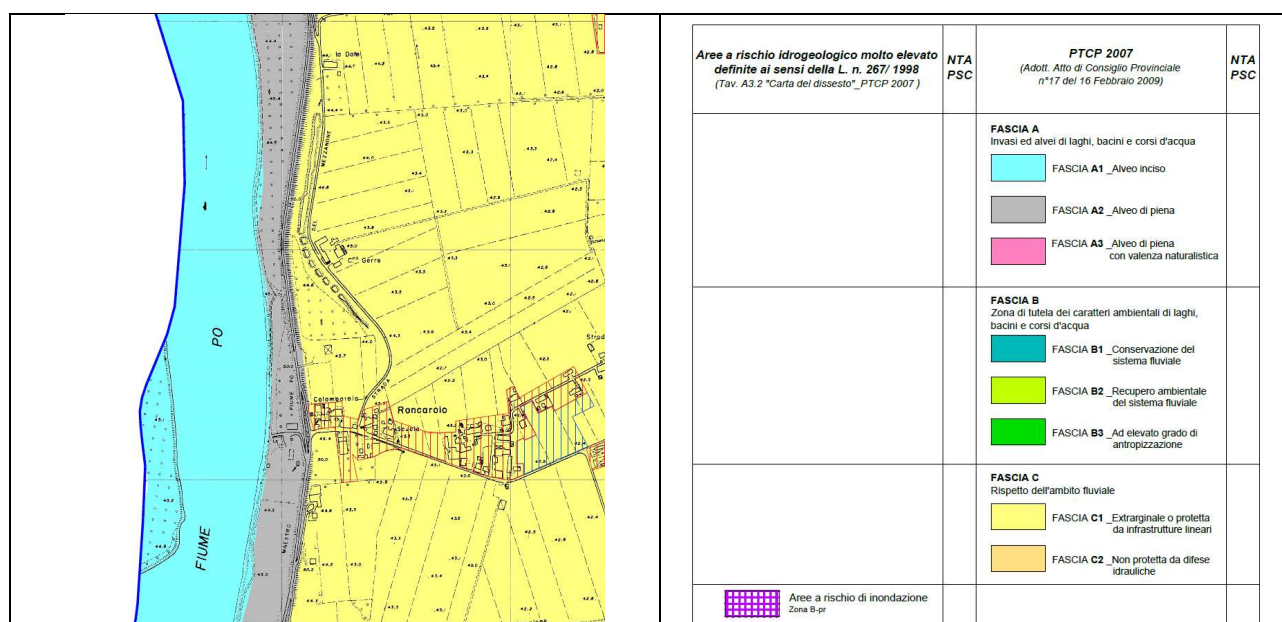


Figura 7. Tavola B_02a “Carta delle fasce fluviali stato della pianificazione sovraordinata” PSC del commune di Caorso.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 16 / 126

È stato consultato inoltre l'aggiornamento dei limiti delle fasce di esondazione del PAI (aggiornamento del 12/03/2024), visualizzabili e scaricabili al sito <https://webgis.adbpo.it/catalogue/#!/search/?f=dataset&sort=-date&filter{tkeywords}=358>. Si riporta di seguito un estratto della visualizzazione degli shape file attraverso il software Q-Gis.

Si conferma che l'area in esame rientra in Fascia A e che le aree interessate dalle indagini geognostiche eseguite ad inizio 2024 sono comprese in zone in Fascia A e Fascia C.

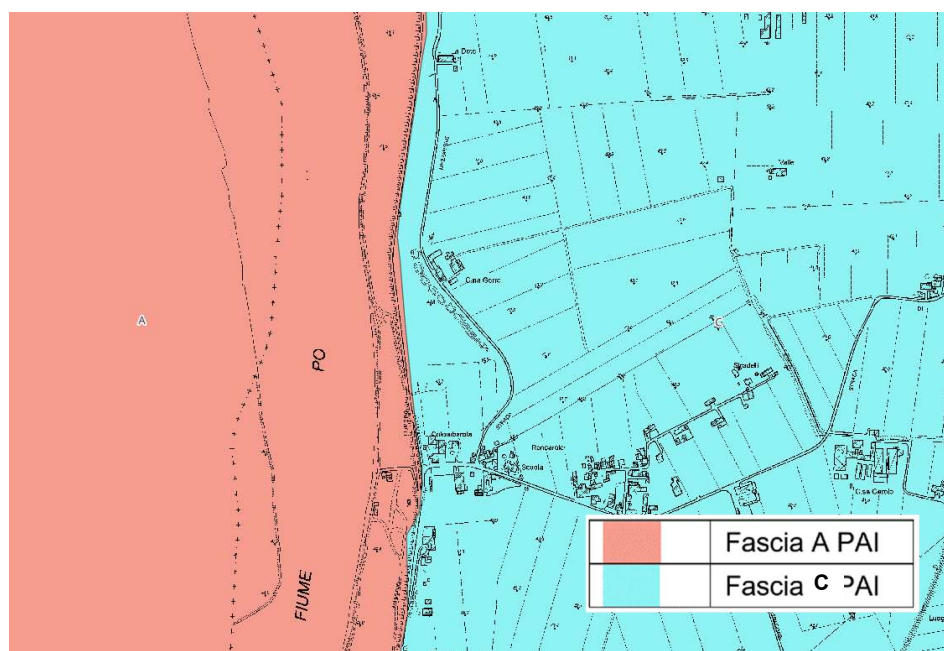


Figura 8. Visualizzazione tramite software QGis delle Fasce PAI in corrispondenza dell'area in esame.

Il Progetto di Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Bacino del Fiume Po (PGR, disponibile al sito <https://pianoalluvioni.adbpo.it/piano-gestione-rischio-alluvioni-2021/>, il cui aggiornamento ai sensi degli art.65 e 66 del D.Lgs 152/2006 è stato adottato in data 20 dicembre 2021 con Delibera_5/2021_PGRAPo dalla Conferenza Istituzionale Permanente) perimetra le aree allagabili, in riferimento ai tre scenari di piena previsti dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs n.49/2010 così come sintetizzati nella tabella seguente.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

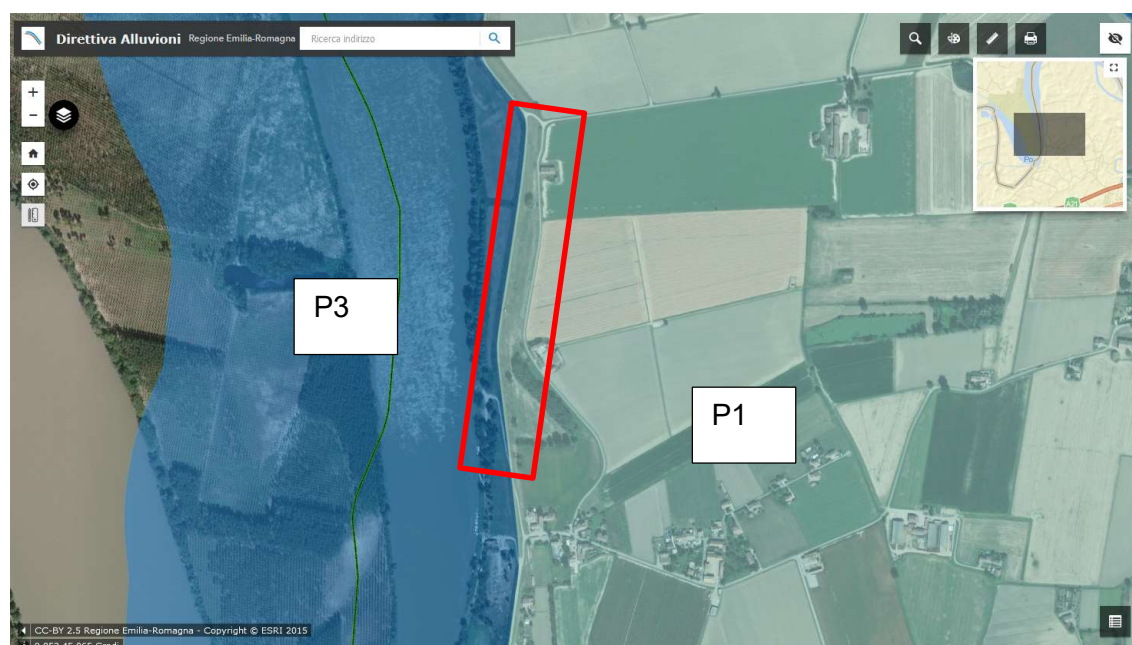
pag. 17 / 126

Tabella riepilogativa scenari di inondazione

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)				
Scenario	TR (anni)		RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 (frequente)	P3 elevata	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 (poco frequente)	P2 media	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Figura 9. Estratto dalla Relazione IIA. "Mappatura della pericolosità e valutazione del rischio" - Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni.

Nel Piano di Gestione delle Alluvioni l'area risulta interessata da alluvioni frequenti (H-P3) e rare (L-P1) del reticolo di pianura principale (RP).



Scenari di Pericolosità

Legenda

- P3 – H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 – M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 – L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Figura 10. Piano di Gestione Alluvioni [estratto dal sito

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni/cartografia>].

Nel rettangolo rosso è compresa l'area in esame.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica

pag. 18 / 126

2.3.1 Idrogeologia e vulnerabilità degli acquiferi

Sulla base degli studi “Riserve idriche dell’Emilia Romagna” (1988)³ e del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna (2003) nell’area in esame sono stati individuati tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale denominati informalmente A, B e C a partire dal piano di campagna. La storia tettonica e deposizionale del bacino padano ha influenzato le caratteristiche e l’architettura dei Gruppi Acquiferi. Il Gruppo più superficiale viene attualmente sfruttato intensamente, il Gruppo B ha importanza solo locale mentre l’acquifero più profondo è raramente sfruttato a causa della imponente copertura superficiale; la successione sedimentaria padana interessata dagli acquiferi identificati è plio-quadernaria ed ha carattere regressivo con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluviale e fluvio-glaciale ricoperto da depositi continentali.

Dal punto di vista gerarchico sono stati distinti tre Sequenze Principali (Supersintemi): il Supersintema del Pliocene medio-superiore, il Supersintema del Quaternario marino ed il Supersintema Emiliano-Romagnolo le cui geometrie vengono radicalmente modificate dagli eventi tettonici di sollevamento regionale.

L’organizzazione verticale delle porzioni deposizionali (facies) è costituita da una alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana che presentano talvolta, ad un grado minore, la medesima organizzazione interna. Queste unità, aventi un ciclo genetico di 40-100.000 anni, sono definite come Sequenze Deposizionali Elementari.

Le Sequenze Deposizionali Elementari possono essere sede di falda acquifera dolce, salata o salmastra e rappresentano i “mattoni” coi quali costruire il Bacino Idrogeologico della Pianura Emiliano-Romagnola (BIPER).

L’insieme dei sedimenti, già organizzati in Sequenze Deposizionali, costituenti il serbatoio padano, secondo R.E.R.-ENI-AGIP è compartimentato in Unità Idrostratigrafiche-Sequenziali (UIS): un insieme di depositi con caratteri idrologici omogenei o distribuiti in modo da permettere una divisione interna in acquiferi, caratterizzati dall’aver alla base una facies fine scarsamente o per nulla permeabile (rispettivamente acquitarso o acquicludo) arealmente, in senso geologico, continuo e interessati, ad esclusione delle aree di ricarica, da flussi idrici interni confinati.

³ Regione Emilia Romagna, ENI-AGIP (1988) “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna” a cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze)

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 19 / 126

PRINCIPALI UNITÀ STRATIGRAFICHE				ETÀ (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE	
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE FORSE DILUVIALI E ALLUVIONI						A1
							A2
							A3
							A4
QUATERNARIO MARINO	DELUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE					B1
							B2
							B3
							B4
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABIE DI CASTELVETRO (p.p.) SABIE GIALLE DI IMOLA (p.p.)						C1
	MILAZZANO e CALABRIANO (p.p.) SABIE DI CASTELVETRO (p.p.) SABIE GIALLE DI IMOLA (p.p.)						C2
	CALABRIANO (p.p.) SABIE DI MONTERICCO FORMAZIONE DI TERRA DEL SOLE (p.p.)						C3
	CALABRIANO (p.p.) FORMAZIONE DI CASTELL'ARQUATO (p.p.)						C4
P2	FORMAZIONE DI CASTELL'ARQUATO (p.p.)						C5

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 20 / 126

L'acquifero freatico di pianura si presenta con uno spessore contenuto ed è fisicamente separato dagli acquiferi sottostanti e confinati; risulta avere ricarica diretta dai corsi d'acqua superficiali ed è rappresentato dal complesso Acquifero A0. L'acquifero confinato superiore è rappresentato dai complessi acquiferi A1 e A2, mentre l'acquifero confinato inferiore raggruppa i complessi acquiferi A3 ed A4 unitamente ai gruppi Acquiferi B e C.

Ai sensi della DGR 350/2010 (All.2) l'area ricade all'interno dei Corpi idrici di "Pianura alluvionale e deltizia padana"; che sono così descritti nella DGR350/2010: "[...] si tratta di depositi sedimentati dal fiume Po, che costituiscono il complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana. Anche in questo caso sono riconoscibili, nel gruppo acquifero A, quattro livelli sabbiosi principali, sede di acquiferi compartimentali, scollegati dalla superficie topografica, con locali connessioni lungo il fiume Po. Le acque sono di provenienza padana e per la grande distanza dalle aree di ricarica, sono generalmente vecchie fino ad oltre 50.000 anni. Nella zona più superficiale è sempre presente l'acquifero freatico di pianura." Di quest'ultimo si riporta quanto segue: "Al di sopra di questi corpi e scollegato da essi, si trova un acquifero freatico pellicolare, avente uno spessore medio di una decina di metri, costituito da lenti di depositi sabbiosi non continue tra loro, definito "acquifero freatico di pianura", che è spesso in collegamento con i corpi idrici superficiali".

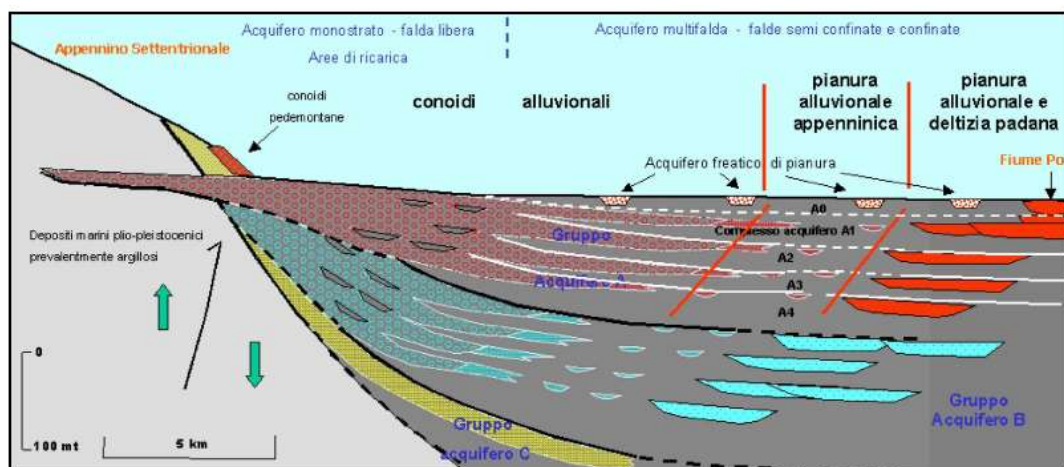


Figura 12. Sezione schematica del sottosuolo della Regione Emilia-Romagna in DGR 350/2010 All. 2.

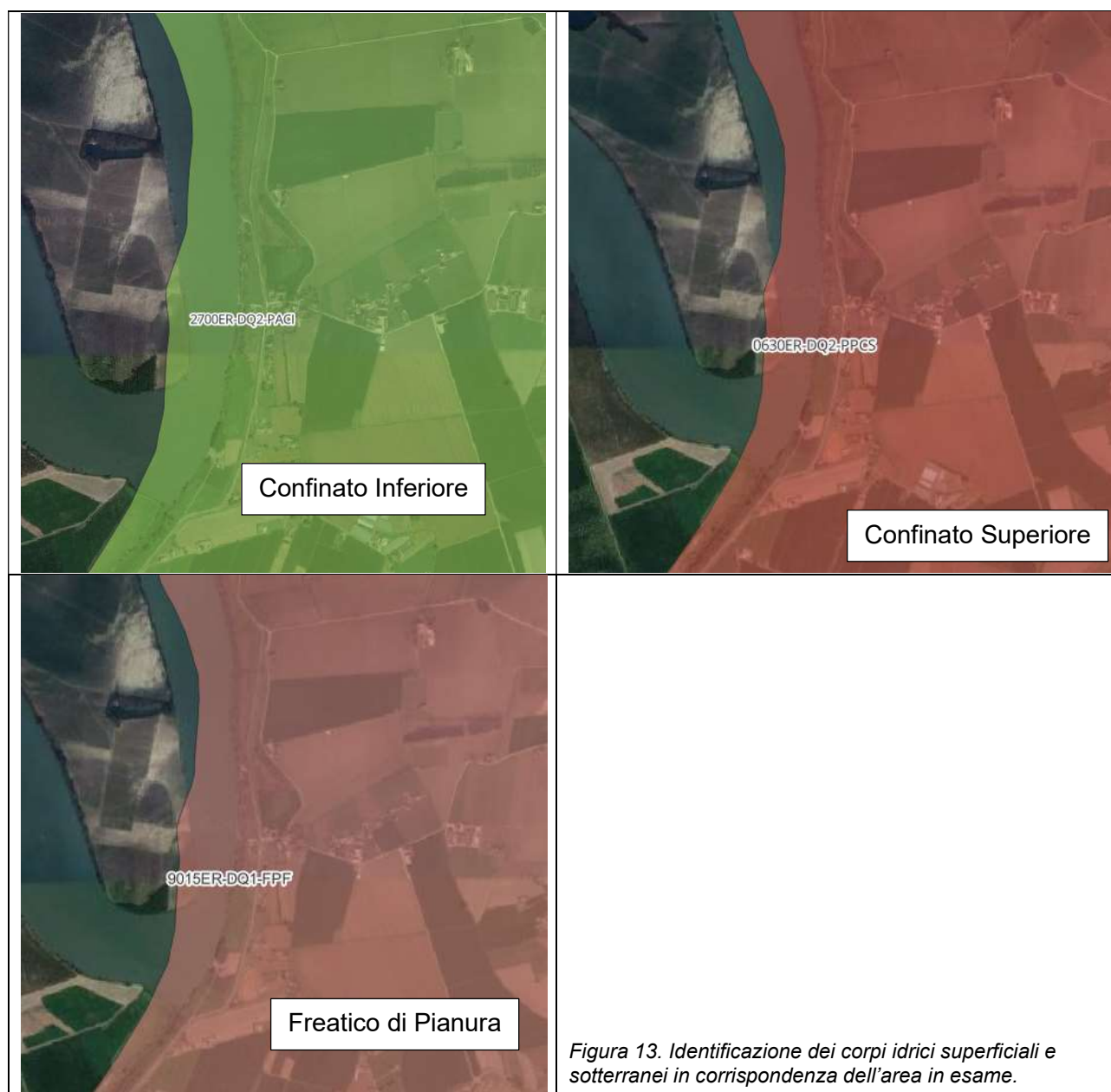
In merito all'area in esame, si evidenzia come per le acque sotterranee essa ricada in corrispondenza dei corpi idrici sotterranei indicati con la sigla 9015ER-DQ1-FPF (acquifero freatico di pianura fluviale), 0630ER-DQ2-PPCS (Pianura alluvionale Padana - confinato superiore) e 2700ER-DQ2-PACI (Pianura alluvionale – confinato inferiore).

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 21 / 126



SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 22 / 126

Nella carta idrogeologica del PSC del comune di Caorso l'area in esame è compresa tra le curve isofreatiche (campagna di misure Maggio 2005 I cui punti di misura sono indicate in carta) di 42 e 41 m s.l.m. Sono segnalati nell'intorno dell'area in esame inoltre i pozzi a stratigrafia nota desunti dall'archivio RER, i pozzi indicate nel catasto pozzi della provincial di PR e PC.

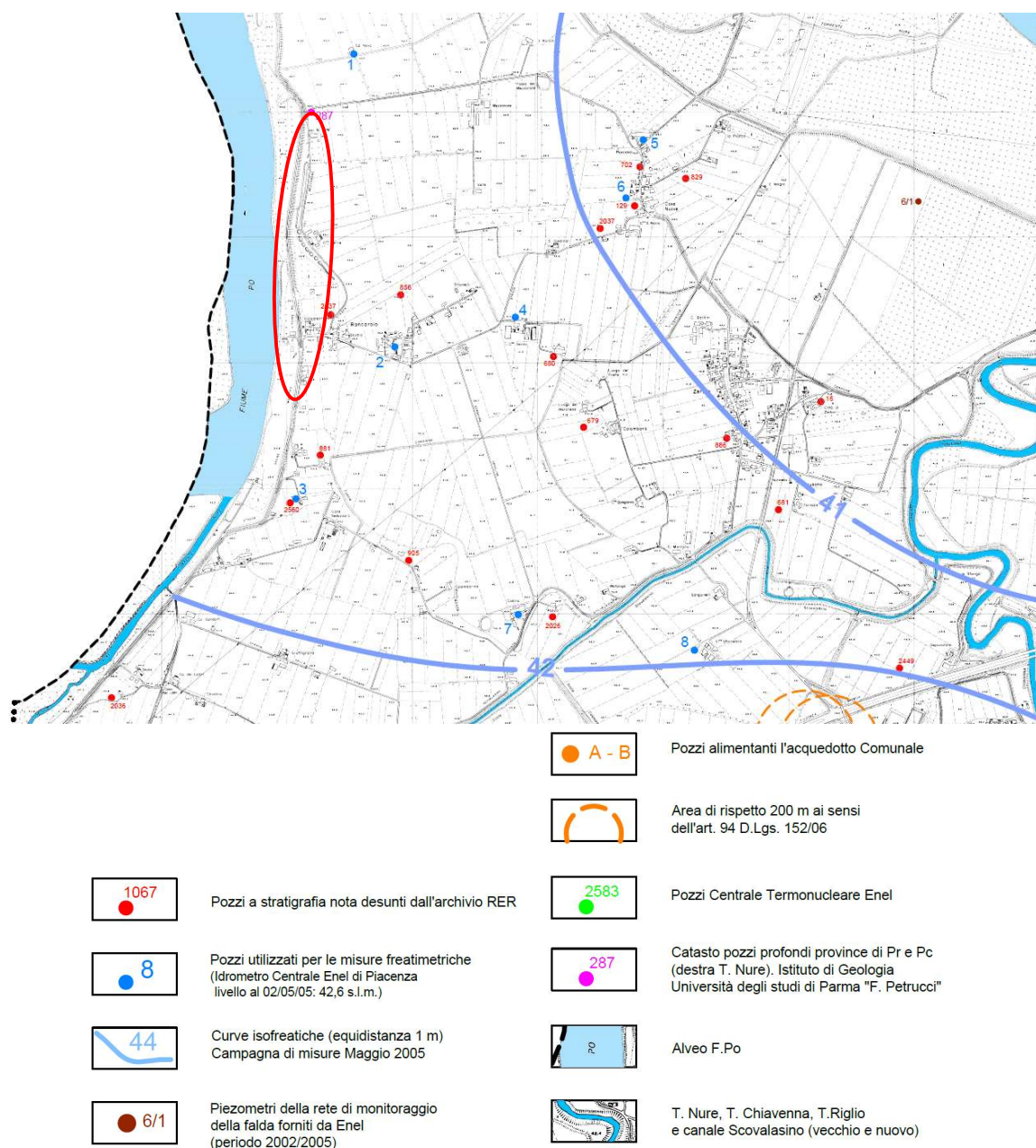


Figura 14. Estratto da Tavola B_05 "Carta idrogeologica" del PSC del comune di Caorso. Nel Perimetro rosso è compresa l'area in esame.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 23 / 126

Nell'immagine seguente si riporta un estratto della Tavola B_06 "Carta dell'idrografia di superficie". Si sottolinea la segnalazione di specchi d'acqua in destra argine a nord dell'abitato di Roncarolo.

L'area in esame non è interessata dalla presenza di canali di scolo e da rii appartenenti alla rete idrografica secondaria.

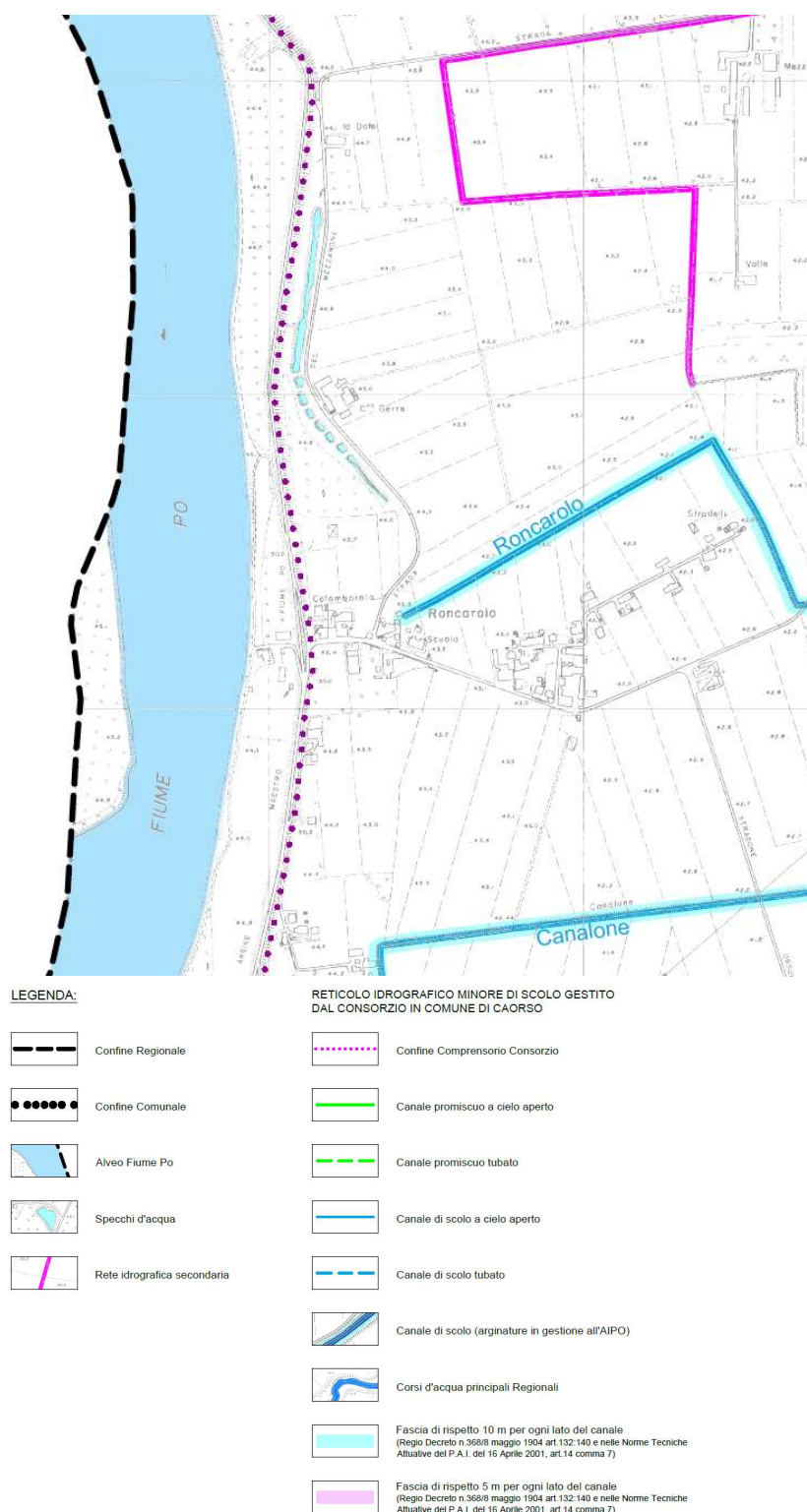


Figura 15. Estratto da Tavola B_06 "Carta dell'idrografia di superficie" del PSC del comune di Caorso.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

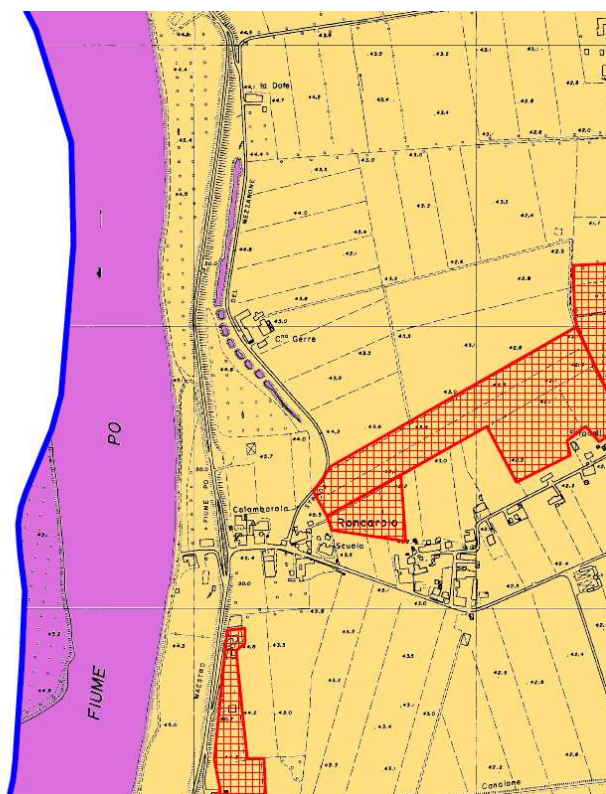
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 24 / 126

2.3.1.1 La vulnerabilità degli acquiferi

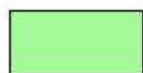
L'area in esame, come riporta l'estratto della Tavola B_07 "Carta della vulnerabilità dell'acquifero" del PSC del comune di Caorso, è compresa in zone con grado di vulnerabilità dell'acquifero "elevato", dovuto alla presenza di sabbia e/o ghiaia con una profondità del tetto del livello di sabbie e/o ghiaia < 10 m e la presenza dell'acquifero libero e zone a vulnerabilità Estremamente Elevata (Alveo Fiume Po esistente). Nella carta Tavola B_06 "Carta dell'idrografia di superficie" è segnalata la presenza di specchi d'acqua (in destra argine a nord dell'abitato di Roncarolo) dove viene indicato un grado di vulnerabilità "estremamente elevata".



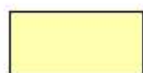
GRADO DI VULNERABILITA':



BASSA



MEDIA



ALTA



ELEVATA



ESTREMAMENTE ELEVATA

Grado di vulnerabilità					Litologia di superficie	Profondità del tetto delle ghiaie	Caratteristiche acquifero
EE	E	A	M	B			
					Argilla	> 5 m	falda a pelo libero o confinata
					Limo	>10 m	confinata
					Argilla	< 5 m	libera
					Limo	> 10 m	libera
					Limo	< 10 m	confinata
					Sabbia	> 10 m	confinata
					Limo	< 10 m	libera
					Sabbia e/o Ghiaia	< 10 m	libera
					Alveo ciottoloso	0 m	falda affiorante

EE = estremamente elevato, E = elevato, A = alto, M = medio, B = basso

Figura 16. Estratto da Tavola B_07 "Carta della vulnerabilità dell'acquifero" del PSC del comune di Caorso.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 25 / 126	

2.3.1.2 La piezometria

Lo studio dei dati piezometrici relativi al sito oggetto di studi ha tenuto in considerazione diverse fonti. Innanzi tutto sono stati considerati i dati relativi alla profondità della falda misurata durante l'esecuzione delle indagini geognostiche: nella tabella seguente si riporta il dato relativo alla profondità della falda, misurata in corrispondenza di alcune verticali nel momento dell'esecuzione dell'indagine.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità falda (m da p.c.)	Quota falda (m s.l.m.)
CPTu_3	25	Febbraio-Marzo 2024	9	39.5
CPTu_4	17.7	Febbraio-Marzo 2024	7.5	41
CPTu_5	19	Febbraio-Marzo 2024	9	39.5
CPTu_6	14.20	Febbraio-Marzo 2024	10	38.5
CPTu_7	14.7	Febbraio-Marzo 2024	6.5	42
CPTu_8	18.7	Febbraio-Marzo 2024	8	40.5
CPTu_9	16.7	Febbraio-Marzo 2024	5	43.4
CPTu_10	14.8	Febbraio-Marzo 2024	8	40.5

Tabella 1. Livello falda misurato durante l'esecuzione delle Indagini geognostiche Gennaio-Aprile 2024.

È stato inoltre consultato il PSC del comune di Caorso ed in particolare la Relazione Geologica e le Tavole B_05 "Carta idrogeologica" e B_06 "Carta dell'idrografia di superficie" (vedasi Figura 14 e Figura 15).

I dati riportati nella tavola B_05 "Carta idrogeologica" sono riferiti alle misure freatiche che sono state condotte nel corso del mese di maggio 2005 in 22 pozzi presenti nel territorio comunale; il periodo di monitoraggio ha coinciso con una fase di magra del Fiume Po, il cui livello all'idrometro di Piacenza era prossimo a m 42.60 s.l.m. (lo zero idrometrico sella stazione di Piacenza risulta pari a 41.88 m s.l.m.)

L'area in esame, nella carta suddetta, è compresa tra le curve isofreatiche di 42 e 41 m s.l.m.

La campagna di indagini eseguita tra Gennaio e Aprile 2024 ha visto inoltre l'installazione di un sistema di monitoraggio della falda, costituito da piezometri ad infissione. La soluzione individuata e scelta per l'area in esame ha visto l'infissione nel terreno di n°2 sonde piezometriche a corda vibrante VW attraverso il dispositivo di spinta del penetrometro statico utilizzato per le prove CPTu.

I piezometri ad infissione installati sono stati collegati ad un sistema di monitoraggio in continuo e da remoto.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**

Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 26 / 126

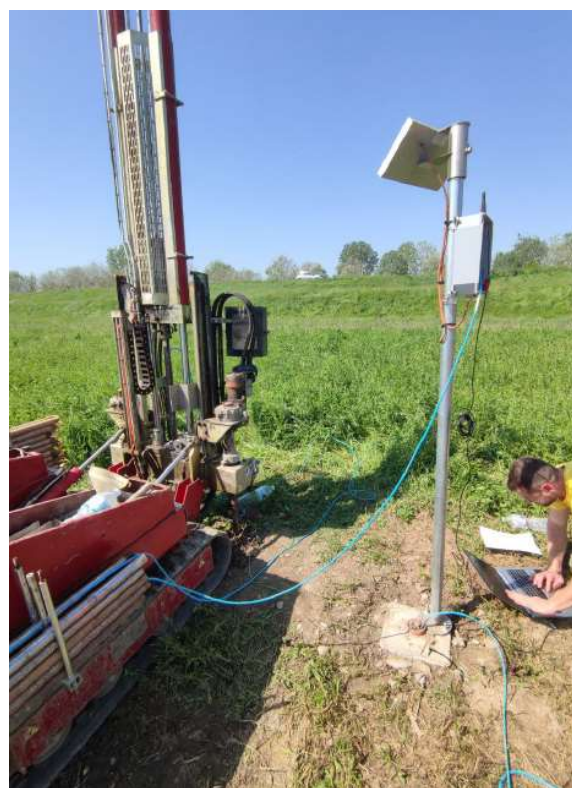


Figura 17. Installazione piezometro ad infissione PZ1_DT0015 in sommità arginale (foto a sinistra) e Installazione piezometro ad infissione PZ2_DT0014 al p.c.

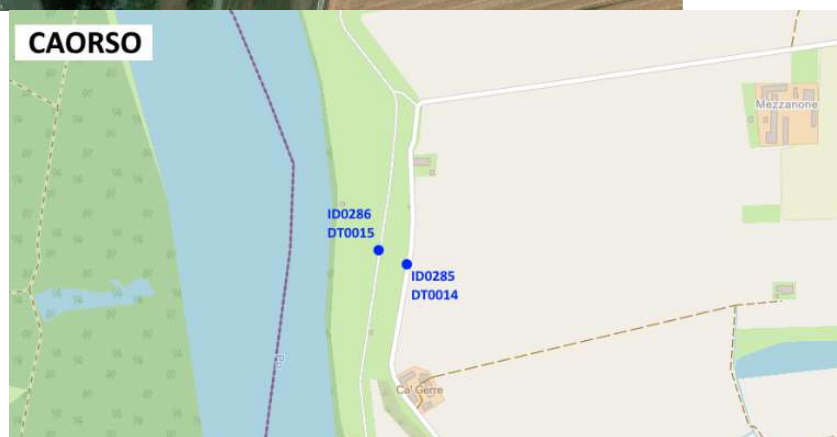


Figura 18. Ubicazione e ID piezometri ad infissione installati presso il sito di Caorso.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 27 / 126	

Di seguito si riassumono le principali informazioni relative ai piezometri ad infissione installati.

Piezometro	Centralina	Posizione	Quota (m s.l.m.) del piano campagna in corrispondenza del punto di infissione del piezometro. (m s.l.m.)
DT0015	ID0286	Sommità arginale	+48.5
DT0014	ID0258	Piano campagna	+43.5

Piezometro	Centralina	Profondità del sensore (m da p.c.)	Elevazione del sensore (m s.l.m.)
DT0015	ID0286	14.80	+33.70
DT0014	ID0258	3.9	+39.6

Tabella 2. Informazioni relative ai piezometri di infissione installati presso il sito di Caorso.

È stata periodicamente consultata la piattaforma che permette il controllo da remoto dei dati piezometrici.

Nel periodo tra Aprile 2024 e Febbraio 2025 la profondità della falda in corrispondenza dell'area in esame è variata tra:

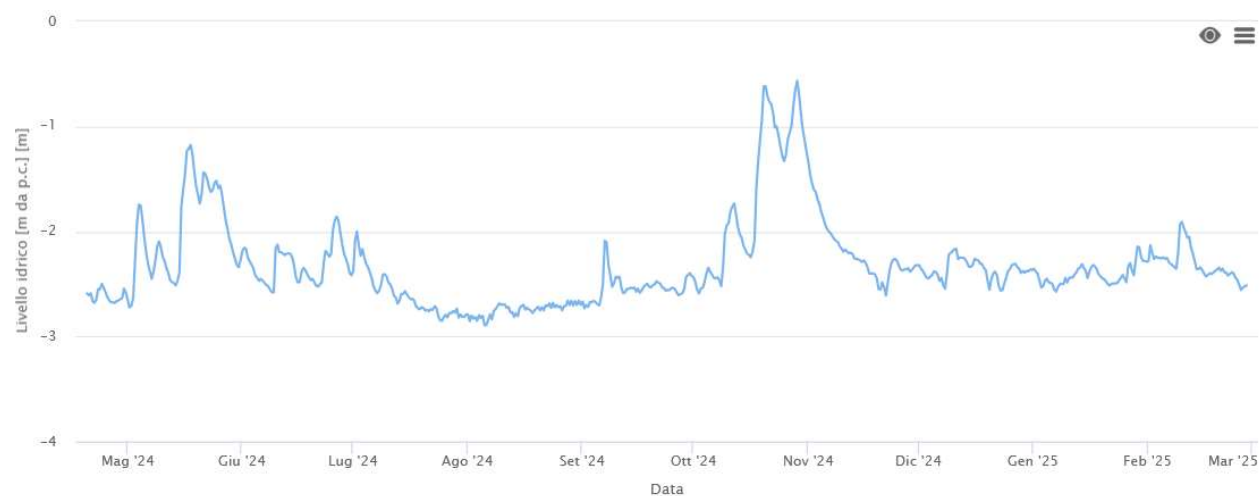
- Sommità arginale: +42.42 ÷ 40.0 m s.l.m. (livello massimo e minimo registrato in corrispondenza del piezometro DT0015)
- Piano campagna: +42.93 ÷ 40.6 m s.l.m. (livello massimo e minimo registrato in corrispondenza del piezometro DT0014)

Piezometro	Centralina	Posizione	Quota p.c.	Livello massimo m slm	Livello minimo m slm
DT0015	ID0286	Sommità arginale	+48.5	+42.42 Ottobre 2024	+40.0 Agosto 2024
DT0014	ID0285	Piano campagna	+43.5	+42.93 Ottobre 2024	+40.6 Agosto 2024

Tabella 3. Valori di soggiacenza (m slm) minimo e massimo.

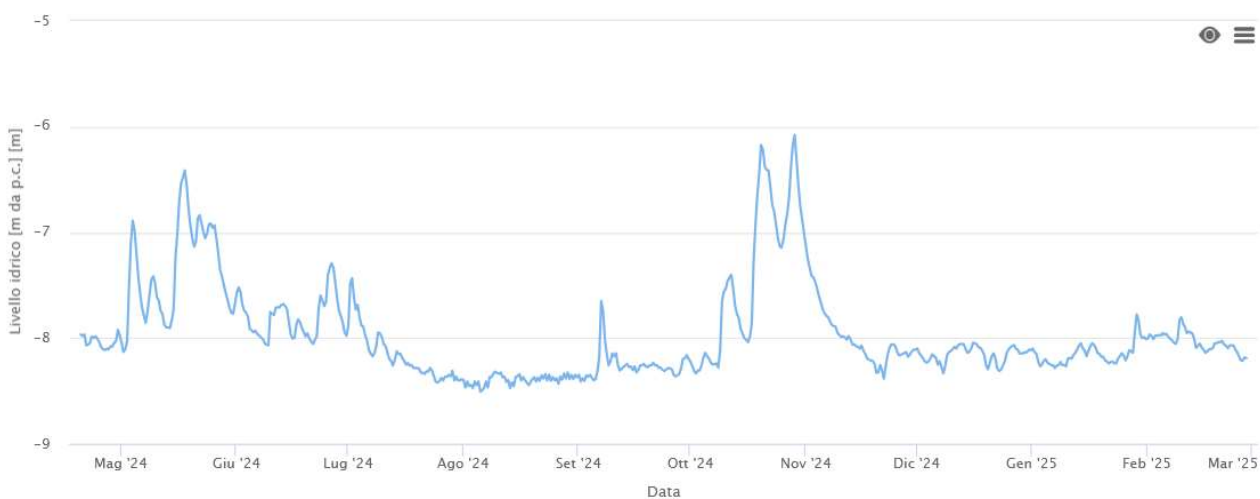
I dati sono visualizzabili attraverso i grafici seguenti.

Si precisa che il monitoraggio della falda nell'area in esame attraverso il sistema installato è proseguito nella fase di Progetto Esecutivo, e proseguirà sino al periodo di inizio lavori (e finché questi non coinvolgeranno le aree occupate dai piezometri in oggetto).



Centralina	Catena	Tipo di nodo	Numero Nodo	Rappresenta dati
ID0285	DT0014	Piezo Link	1	Livello falda idrica [m s.l.m.]

Figura 19. Variazione livello falda (m da p.c.) – Periodo Aprile 2024 – Febbraio 2025 (PZ_DT0014 – base arginale).



Centralina	Catena	Tipo di nodo	Numero Nodo	Rappresenta dati
ID0286	DT0015	Piezo Link	1	Livello falda idrica [m s.l.m.]

Figura 20. Variazione livello falda (m da p.c.) – Periodo Aprile 2024 – Febbraio 2025 (PZ_DT0015 – sommità arginale).

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 29 / 126

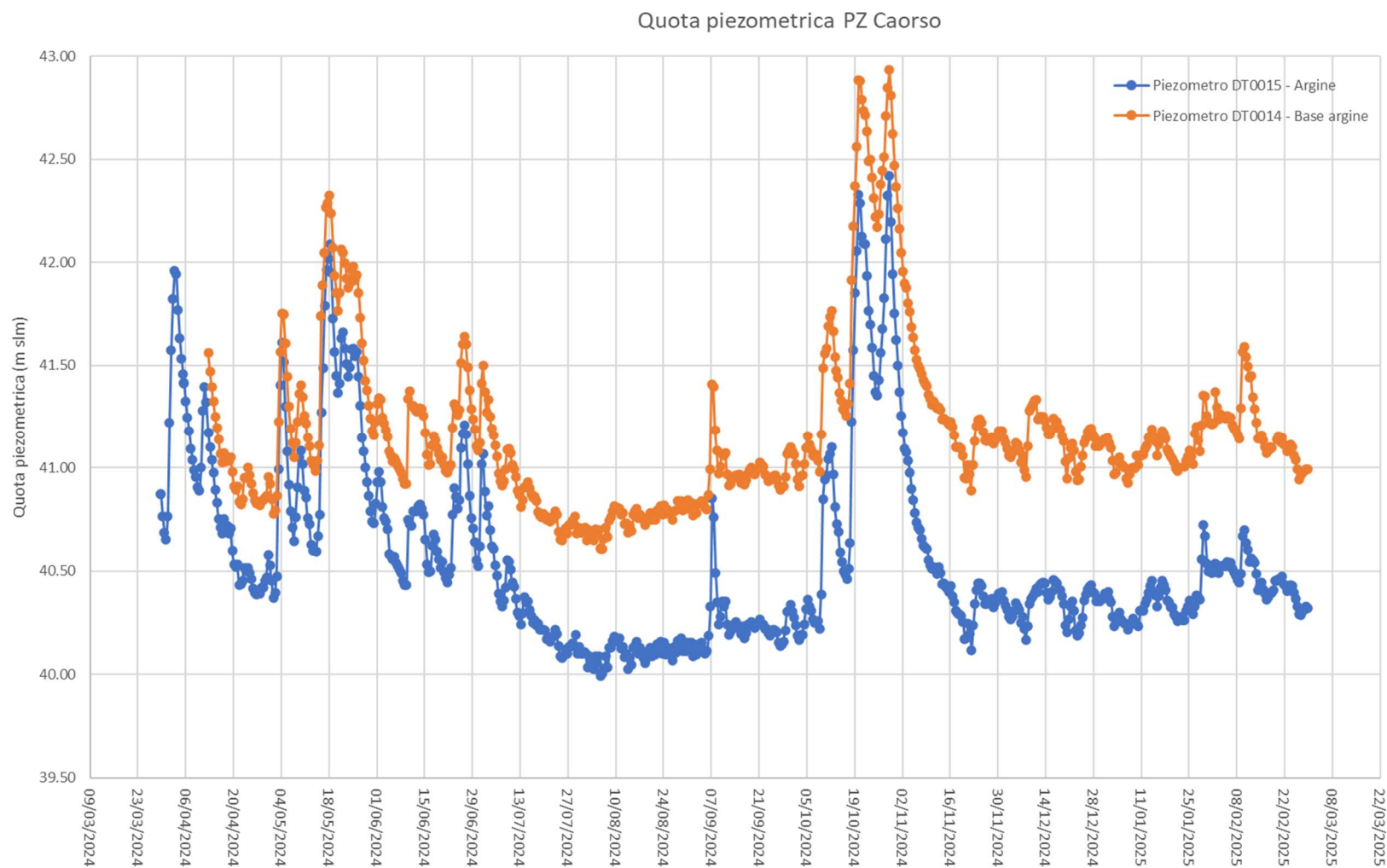


Figura 21. Variazione livello falda (m s.l.m.) – Periodo Aprile 2024 – Febbraio 2025 (PZ_DT0014 – base arginale in arancione e PZ_DT0015 sommità arginale in blu)

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 30 / 126

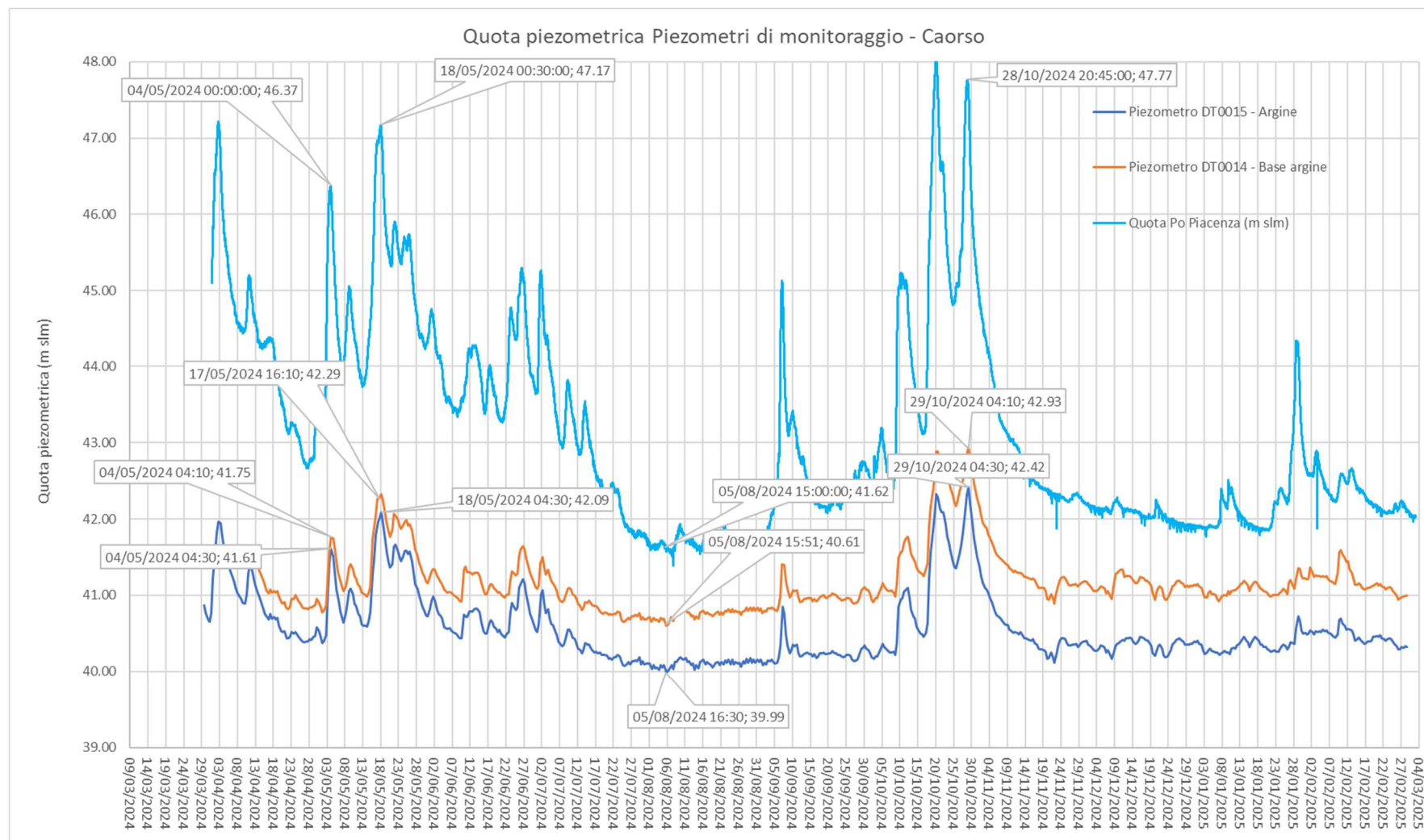


Figura 22. Variazione livello falda (m s.l.m.) – Periodo Aprile 2024 – Febbraio 2025 (**PZ_DT0014 – base arginale in arancione e PZ_DT0015 sommità arginale**) correlata alla variazione del livello idrometrico del Fiume Po (dati da stazione di Piacenza).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 31 / 126	

Nel grafico presente in Figura 22 assieme alla variazione del livello piezometrico in corrispondenza dei due piezometri nel tempo, è stato aggiunto il valore del livello idrometrico misurato in corrispondenza della stazione di Piacenza (circa 10 km in linea d'aria più a monte dell'area in esame).

Per la stazione del Po a Piacenza è indicata la seguente quota dello zero idrometrico 41.88 (da *Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna struttura idro-meteo-clima, servizio idrografia e idrologia regionale e distretto Po - Annali idrologici - 2022*), altre informazioni relative alla suddetta stazione e presenti nel documento consultato sono: altezze idrometriche: max m 10.60 (17 ott. 2000): minima m -1.02 (14 lug. 2022). Portate: max m³/s 12800 (13 nov. 1951); minima m³/s 106 (14 lug 2022); media m³/s 948 (1924-1997 e 2000-2013 e 2015-2021).

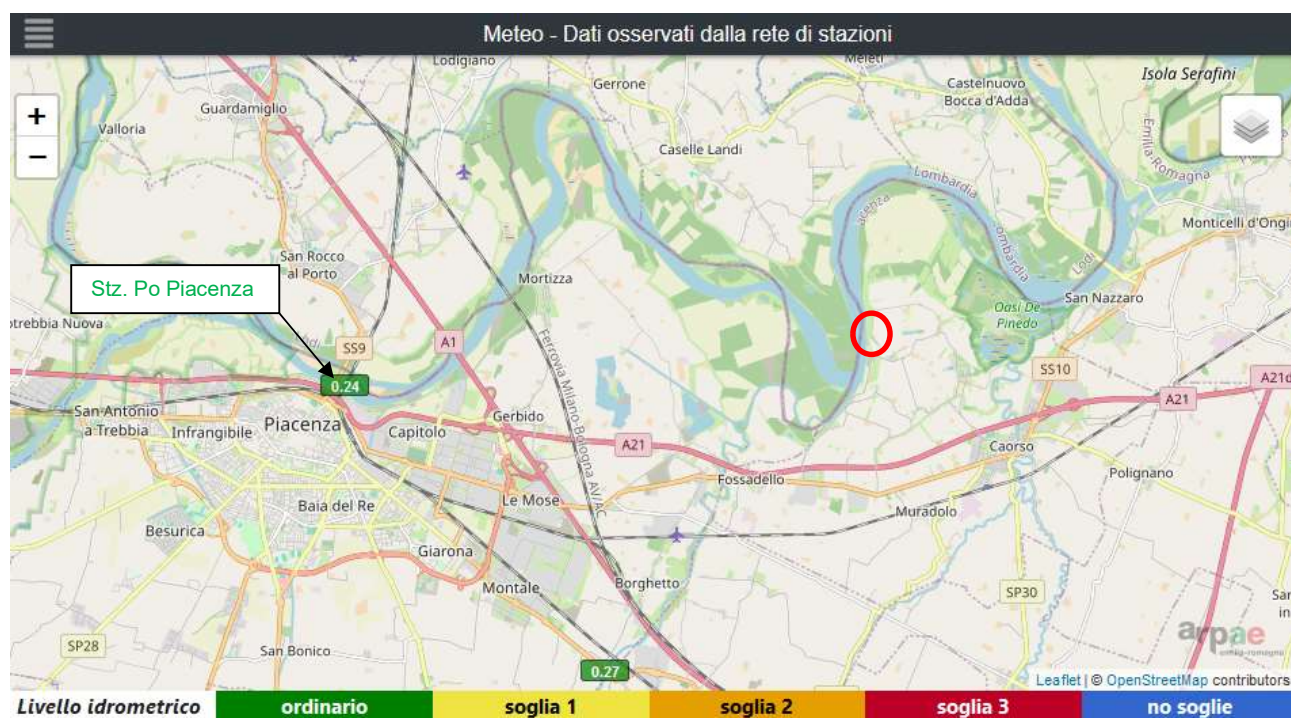


Figura 23. Ubicazione stazione idrometrica del Po più prossima all'area in esame (compresa nel cerchio rosso)

I grafici dell'andamento della falda nei due piezometri presenti nell'area in esame e il grafico del livello idrometrico del Fiume Po presso la stazione di Piacenza sono allineati.

La falda di subalveo, ospitata dal fondo dell'alveo del Po, costituito in prevalenza da materiali sabbiosi di medie-elevate permeabilità, si trova in comunicazione con la falda superficiale dell'area circostante.

Ipotizzando un acquifero unico intercettato dai due piezometri ad infissione la particolarità dei rilievi eseguiti è il fatto che il piezometro lato campagna (esterno all'alveo e all'argine) presenti una piezometria a quote maggiori ad indicare come la falda sembra localmente drenata dal corso d'acqua (F. Po); il divario piezometrico tra i due strumenti è di circa 60 cm in periodo di magra e si riduce a circa 20 cm durante le piene.

DATI GEOGNOSTICI

2.4 Dati stratigrafici bibliografici

Per una completa analisi del sito in esame sono stati preventivamente consultati i dati delle indagini bibliografiche reperite nell'intorno dell'area in esame. In particolare è stato consultato il database regionale (disponibile al sito <http://geo.regione.emilia-romagna.it>).

Di seguito si riassumono e schematizzano le prove geognostiche ed i dati reperiti.

2.4.1 Dati bibliografici da database RER

Nell'immagine seguente si riporta l'ubicazione delle indagini reperite nel database della Regione Emilia-Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it>); nella tabella che segue vengono riassunte alcune informazioni principali relative alle indagini reperite e presenti in prossimità dell'area di studio.



Figura 24. Ubicazione delle principali, e più vicine all'area di studio, prove geognostiche bibliografiche reperite nel database RER.

Sigla	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità tetto ghiaie (m da p.c.)	Profondità falda (m da p.c.)	Tipo prova
162110P604	43.4	12	1955-12-25	5.5	-2.5/-6	pozzo per acqua
162110P622	44.9	27.5	1971-12-25	10	-3.5	pozzo per acqua

Tabella 4. Indagini bibliografiche reperite sul sito della cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna.

Nelle tabelle seguenti si riassume la stratigrafia dei due pozzi per acqua presenti in un intorno significativo dell'area in esame.

162110P622	
Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-3.0	Terreno vegetale e argilla
3.0-10.0	Sabbia
10.0-22.5	Sabbia e ghiaia
22.5-25.5	Ghiaia
25.5-27.5	Argilla

162110P604	
Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-2.5	Terreno vegetale
2.5-5.5	Sabbia
5.5-12.0	Sabbia e ghiaia

Tabella 5. Stratigrafia pozzi per acqua reperiti nell'intorno dell'area in esame su database RER (<http://geo.regione.emilia-romagna.it>).

2.5 Dati stratigrafici locali

Nei mesi tra Gennaio e Aprile 2024 è stata eseguita una campagna geognostica che ha visto l'esecuzione delle seguenti prove:

- n° 8 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu(n) con esecuzione di prove di dissipazione;
- n°5 sondaggi a carotaggio continuo S(n) (uno dei quali attrezzato per l'esecuzione di n°1 prova sismica Down Hole);
- n°2 perforazioni per la costruzione di n°2 pozzi per le prove di emungimento;
- n°4 sondaggi a distruzione di nucleo per la costruzione di piezometri in corrispondenza dei pozzi suddetti.

Le indagini geofisiche, eseguite tra il Gennaio e Febbraio 2024, sono le seguenti:

- indagine Down-Hole eseguita nel foro S3-DH fino alla profondità di 45 m;
- indagine Masw;
- indagine Masw 2D;
- indagine di Tomografia elettrica 2D;

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 34 / 126	

Durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono state eseguite inoltre prove SPT in foro e sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati, come riportano i paragrafi seguenti, che sono stati sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio. Durante l'esecuzione dei sondaggi sono inoltre state eseguite, a diverse profondità, alcune prove di permeabilità Lefranc ed alcune prove pressiometriche Menard.

Si precisa che in corrispondenza dell'area in esame sono stati preventivamente eseguite operazioni di: - accertamento diretto della presenza della diaframmatura tramite saggi eseguiti con un escavatore; ciò ha permesso di individuare:

- l'estremo di valle della nuova diaframmatura nella sua tratta più estesa, scoprendo la testa di inizio del della tratta successiva esistente;
- la zona in cui ricade l'estremo di monte della stessa tratta di cui sopra, in corrispondenza di una rampa di discesa al Po, poco a monte della cascina Gerre (da definire esattamente a inizio cantiere, dopo la temporanea rimozione della rampa);
- l'estremo di valle della nuova diaframmatura nella sua tratta più corta, scoprendo la testa di inizio del della tratta successiva esistente;
- la zona in cui ricade l'estremo di monte della stessa tratta di cui sopra, in corrispondenza della rampa di discesa all'attracco in sponda destra Po (da definire esattamente a inizio cantiere, dopo la temporanea rimozione della rampa);

L'esecuzione degli scavi con escavatore ed il reperimento dei tratti già interessati dai diaframmi ha permesso di perfezionare in primo luogo il piano indagini previsto per l'area oggetto di studio e determinare con precisione l'estensione delle opere in progetto.

Nelle tabelle sottostanti sono riassunte alcune informazioni relative alle prove geognostiche e sismiche eseguite, descritte in dettaglio nei paragrafi seguenti.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità tetto sabbie (m da b.f.)	Profondità falda (m da b.f.)	Tipo prova
S3_DH	45	06-16/02/2024	10.5	-	Sondaggio a carotaggio continuo (foro strumentato per esecuzione prova sismica Down Hole)
S4	40	30/01-05/02/2024	11.0	-	Sondaggio a carotaggio continuo
S5	35	19-26/01/2024	7.0	-	Sondaggio a carotaggio continuo
CPTu3	25	Febbraio-Marzo 2024	7	9	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu4	17.7	Febbraio-Marzo 2024	8	7.5	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu5	19	Febbraio-Marzo 2024	9	9	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu6	14.20	Febbraio-Marzo 2024	9	10	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu7	14.7	Febbraio-Marzo 2024	10.5	6.5	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu8	18.7	Febbraio-Marzo 2024	10.5	8	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu9	16.7	Febbraio-Marzo 2024	10.5	5	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu10	14.8	Febbraio-Marzo 2024	9	8	Prova penetrometrica statica con piezocono

Tabella 6. Indagini geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 in corrispondenza dell'area in esame.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità tetto sabbie (m da b.f.)	Tipo prova
POZZO_1	25		10.5	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ1_POZZO1	25	29/02-18/03/2024	10.5	Sondaggio a carotaggio continuo
PZ2_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ3_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
POZZO_2	25		9.7	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ1_POZZO1	25	21-22/03/2024	9.7	Sondaggio a carotaggio continuo
PZ2_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ3_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ_INFISSIONE_1	15		-	Infissione piezometro ad infissione tramite penetrometro
PZ_INFISSIONE_2	15		-	Infissione piezometro ad infissione tramite penetrometro

Tabella 7. Indagini geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 in corrispondenza dell'area in esame.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Tipo prova
DH	45	23/02/2024	Prova sismica Down Hole (in sondaggio S3)
MASW-G1	30	15/01/2024	Stendimento sismico MASW Multi-channel Analysis of Surface Waves
L1_MASW 2D	25	Gennaio/Febbraio 2024	Stendimento sismico MASW 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves
L2_MASW 2D	25	Gennaio/Febbraio 2024	Stendimento sismico MASW 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves
L1_TOM_E	30	Gennaio/Febbraio 2024	Tomografia elettrica
L2_TOM_E	30	Gennaio/Febbraio 2024	Tomografia elettrica
T1_TOM_E	30	Gennaio/Febbraio 2024	Tomografia elettrica

Tabella 8. Indagini sismiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 in corrispondenza dell'area in esame.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 36 / 126

Nelle immagini seguenti si riporta l'ubicazione delle prove geognostiche eseguite.



Figura 25. Ubicazione prove geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 – Tratto Sud.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**

Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 37 / 126



Figura 26. Ubicazione prove geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024. Porzione più a sud del Tratto Nord.



Figura 27. Ubicazione prove geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024. Tratto Nord.

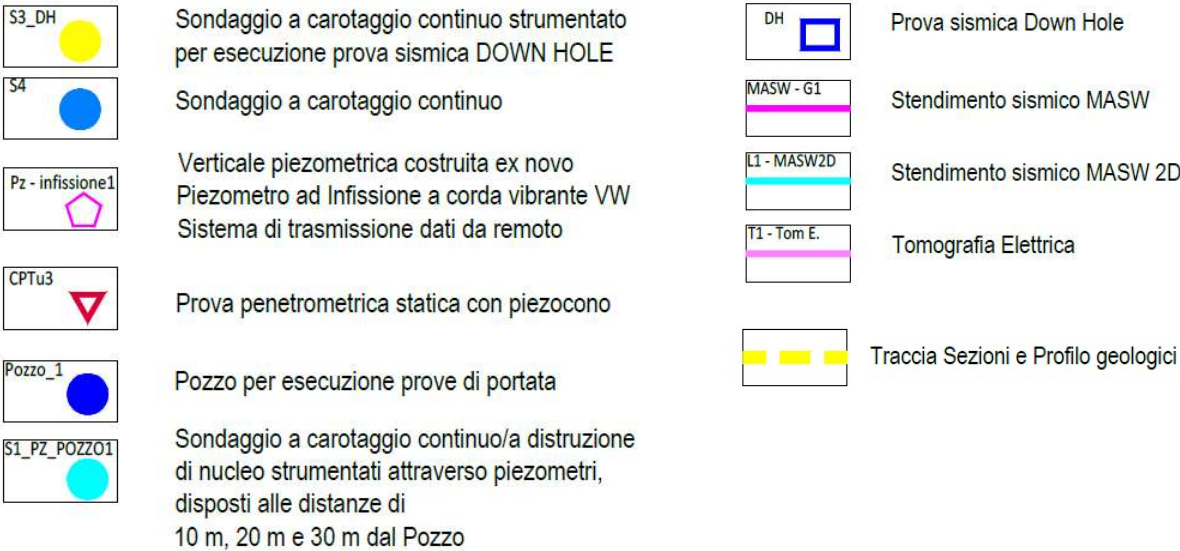


Figura 28. Legenda - Prove geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024.

Nei successivi paragrafi si riassumono le tecniche di esecuzione ed i risultati delle prove geognostiche eseguite nella campagna di indagini del 2024.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica

pag. 40 / 126

2.5.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Tale prova permette l'estrazione della colonna di terreno (carota) e di visionare direttamente il materiale presente in sito, consentendo di descrivere nel dettaglio la stratigrafia del sottosuolo. Per la realizzazione dei sondaggi a carotaggio continuo è stata utilizzata una perforatrice BOART LONGYEAR DELTABASE 540. Il diametro di perforazione utilizzato è di 101 mm.

Di seguito viene riportata sinteticamente la stratigrafia dei sondaggi eseguiti nell'area.

2.5.1.1 Sondaggio S3-DH

Di seguito la descrizione del sondaggio S3.

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-3.0	Argilla limosa plastica talvolta con qualche ciottolo di colore grigio
3.0-10.5	Argilla limosa plastica talvolta con qualche ciottolo poco consistente di colore marrone. Livello stratigrafico moderatamente addensato (valore di N pari a 18 a 6.00 m di profondità)
10.5-15.0	Sabbia con ghiaia medio-fine limosa di colore grigio-beige. Livello stratigrafico addensato (valore di N pari a 38 a 13.00 m di profondità)
15.0-20.0	Alternanze di ghiaia fine e media con sabbia grossolana da debolmente limosa a priva di frazione fine di colore grigio-beige. Livello stratigrafico addensato (valore di N pari a 31 a 18.00 m di profondità)
20.0-27.0	Alternanze di ghiaia fine e media con sabbia grossolana da debolmente limosa a priva di frazione fine di colore grigio-beige. Intervallo pressochè privo di limo tra 21,00-24,50 m di profondità. Livello stratigrafico molto addensato (valore di N _{SPT} pari a 75 a 26.00 m di profondità)
27.0-29.0	Sabbia da media a fine ghiaioso-limosa di colore grigio-beige
29.0-29.8	Sabbie grossolana e ghiaia fine, priva di frazione fine, di colore grigio
29.8-37.5	Argilla plastica debolmente limosa, di colore grigio-beige Livello stratigrafico moderatamente addensato (valore di N _{SPT} pari a 19 a 37.00 m di profondità)
37.5-40.0	Alternanze di sabbia limosa e limo sabbioso debolmente ghiaiosi di colore grigio
37.5-45.0	Alternanze di sabbia limosa e limo sabbioso debolmente ghiaiosi di colore grigio. Livello stratigrafico addensato (valore di N _{SPT} pari a 36 a 43.00 m di profondità)

Tabella 9. Sintesi della stratigrafia del sondaggio S3-DH.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO		
Progetto Esecutivo		
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE		
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A	
Titolo elaborato:	Relazione geologica	pag. 41 / 126

In corrispondenza del foro S3-DH è stata installata la tubazione in PVC di diametro 76 mm per l'esecuzione della prova sismica Down Hole.

Durante la perforazione sono stati prelevati i seguenti campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio:

Sondaggio	Campioni	Natura Campione	Profondità a m da p.c.	Livello
S3_DH	CI1	I	3.5-4	L1
S3-DH	CR1	R	7-7.5	L2
S3-DH	CR2	R	11.5-12	L3
S3-DH	CR3	R	15-15.5	L4
S3-DH	CR4	R	27.5-28	L4
S3_DH	CI2	I	31.5-32.2	L5

Tabella 10. Campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati durante l'esecuzione del sondaggio S3_DH.

Sono state eseguite inoltre n°6 prove SPT a punta chiusa e prove con Pocket penetrometer come riassunto nelle tabelle seguenti.

Prove SPT Sondaggio S3-DH	profondità (m)	n colpi			N_{SPT}	Livello
SPT1 S3-DH	6.0	6	8	10	18	L2
SPT2 S3-DH	13.0	12	20	18	38	L3
SPT3 S3-DH	18.0	9	13	18	31	L4
SPT4 S3-DH	26.0	21	33	42	75	L4
SPT5 S3-DH	37.0	6	7	12	19	L5
SPT6 S3-DH	43.0	10	15	21	36	L5

Tabella 11. Dati prove SPT eseguite durante l'esecuzione del sondaggio S3-DH.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 42 / 126

Sondaggio S3_DH	
Profondità (indicativa) m da pc.	Valori Pocket Kg/cm2
0.5	0.5
1.0	0.5
1.2	0.5
1.5	0.7
2.0	0.2
2.5	0.5
3.0	0.7
3.5	2.0
4.2	1.8
4.5	2.0
5.0	2.0
5.2	0.5
5.5	0.5
6.5	0.3
6.7	0.5
7.5	0.5
8.0	0.5
8.5	0.7
10.5	1.0

Sondaggio S3_DH	
Profondità (indicativa) m da pc.	Valori Pocket Kg/cm2
30.2	3.5
30.5	3.0
31.0	3.5
31.5	3.2
32.2	3.2
32.5	3.5
33.2	3.0
33.5	2.5
34	2.5
34.2	2.1
34.5	2.0
35.0	2.5
35.2	2.5
35.5	2.1
36.0	2.5
36.5	2.5
37.0	2.3
37.5	2.0

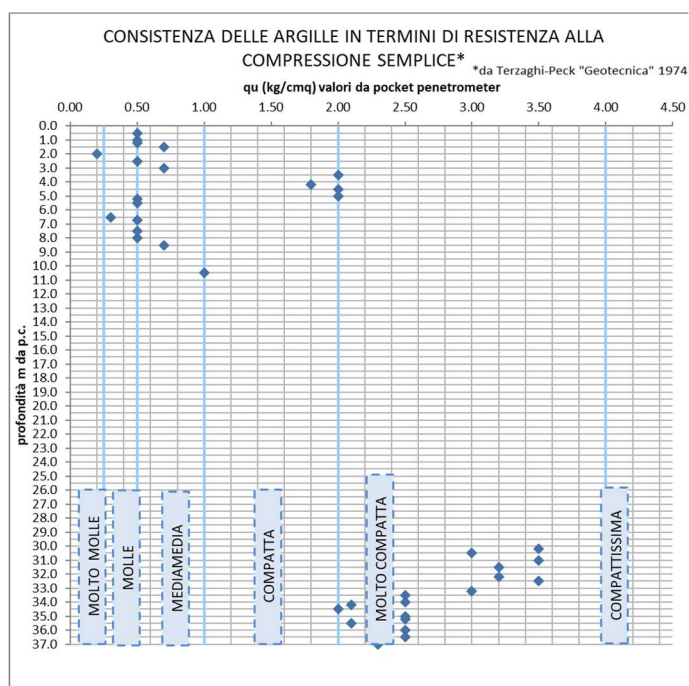


Tabella 12. Dati delle prove con Pocket penetrometer eseguite durante l'esecuzione del Sondaggio S3_DH.

In corrispondenza della verticale S3-DH sono state eseguite n°7 prove Lefranc come riportato al paragrafo 2.5.1.5.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

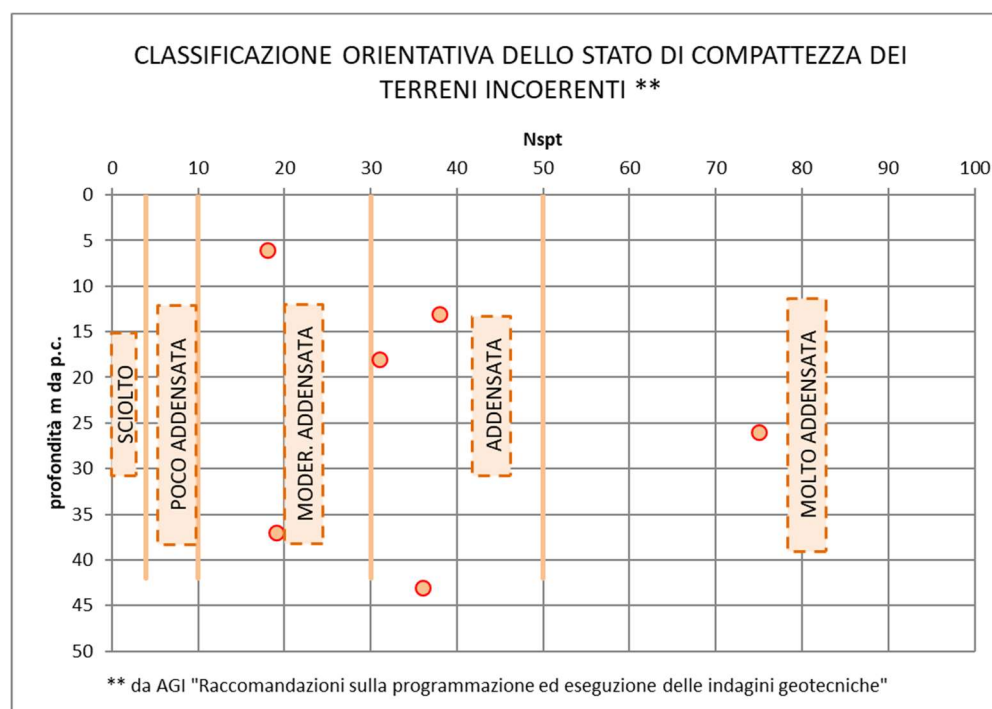
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 43 / 126

Figura 29. Grafico di "Classificazione orientativa dello stato di compattezza dei terreni incoerenti" con valore di NSPT (N_2+N_3) delle prove penetrometriche eseguite in foro di sondaggio rappresentato in funzione della profondità.

(Da AGI "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche")



In corrispondenza del sondaggio S3_DH sono state inoltre eseguite n°2 prove pressiometriche Menard come riassunto nella tabella seguente e come riportato al paragrafo 2.5.1.6.

Profondità m da bocca sondaggio	Modulo pressiometrico E_m (MPa) (modulo di Young con coefficiente di Poisson pari a 0.33)	Modulo di taglio G_m (MPa)	Livello
11.0-11.5	30.3	11.4	L3
28.0-28.5	44.3	16.7	L4

Tabella 13. Prove pressiometriche eseguite durante la perforazione del sondaggio S3_DH.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURECodice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione geologica**pag. **44** / 126**2.5.1.2 Sondaggio S4**

Di seguito la descrizione del sondaggio S4.

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-4.0	Limo ghiaioso-sabbioso di colore marrone
4.0-11.0	Limo sabbioso (sabbia molto fine) argilloso plastico di colore marrone. Livello stratigrafico poco addensato (valore di N_{SPT} pari a 9 a 6.0 m di profondità)
11.0-12.5	Ghiaia grossolana debolmente sabbiosa di colore grigio-beige
12.5-16.5	Ghiaia fine con sabbia grossolana da debolmente limosa di colore grigio-beige. Livello stratigrafico addensato (valore di N_{SPT} pari a 43 a 13.0 m di profondità)
16.5-19.5	Sabbia da media a fine ghiaioso-limosa di colore grigio-beige. Livello stratigrafico addensato (valore di N_{SPT} pari a 34 a 18.0 m di profondità)
19.5-21.0	Ghiaia da media a fine, sabbiosa (da fine a media) debolmente limosa
21.0-30.0	Alternanza di sabbia limosa debolmente ghiaiosa e sabbie ghiaioso-limose di colore grigio-beige. Livello stratigrafico addensato (valore di N_{SPT} pari a 36 a 26.0 m di profondità)
30.0-38.6	Argilla limosa plastica di colore grigio. Livello stratigrafico addensato (valore di N_{SPT} pari a 37 a 37.0 m di profondità)
38.6-40.0	Sabbia fine debolmente limosa di colore grigio

Tabella 14. Sintesi della stratigrafia del sondaggio S4.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURECodice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione geologica**pag. **45** / 126

Durante la perforazione sono stati prelevati i seguenti campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio:

Sondaggio	Campioni	Natura Campione	Profondità à m da p.c.	Livello
S4	CI1	I	3-3.6	L1
S4	CR1	R	7-7.5	L2
S4	CR2	R	11.5-12	L3
S4	CR3	R	15-15.5	L3
S4	CI2	I	24-24.5	L4
S4	CR4	R	27.5-28	L4

Tabella 15. Campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati durante l'esecuzione del sondaggio S4.

Sono state eseguite inoltre n°5 prove SPT a punta chiusa e prove con Pocket penetrometer come riassunto nelle tabelle seguenti.

Prove SPT Sondaggio S4	profondità (m)	n colpi			N_{SPT}	Livello
SPT1 S4	6.0	2	4	5	9	L2
SPT2 S4	13.0	10	25	18	43	L3
SPT3 S4	18.0	14	16	18	34	L3
SPT4 S4	26.0	12	17	19	36	L4
SPT5 S4	37.0	20	18	19	37	L5

Tabella 16. Dati prove SPT eseguite durante l'esecuzione del sondaggio S4.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 46 / 126

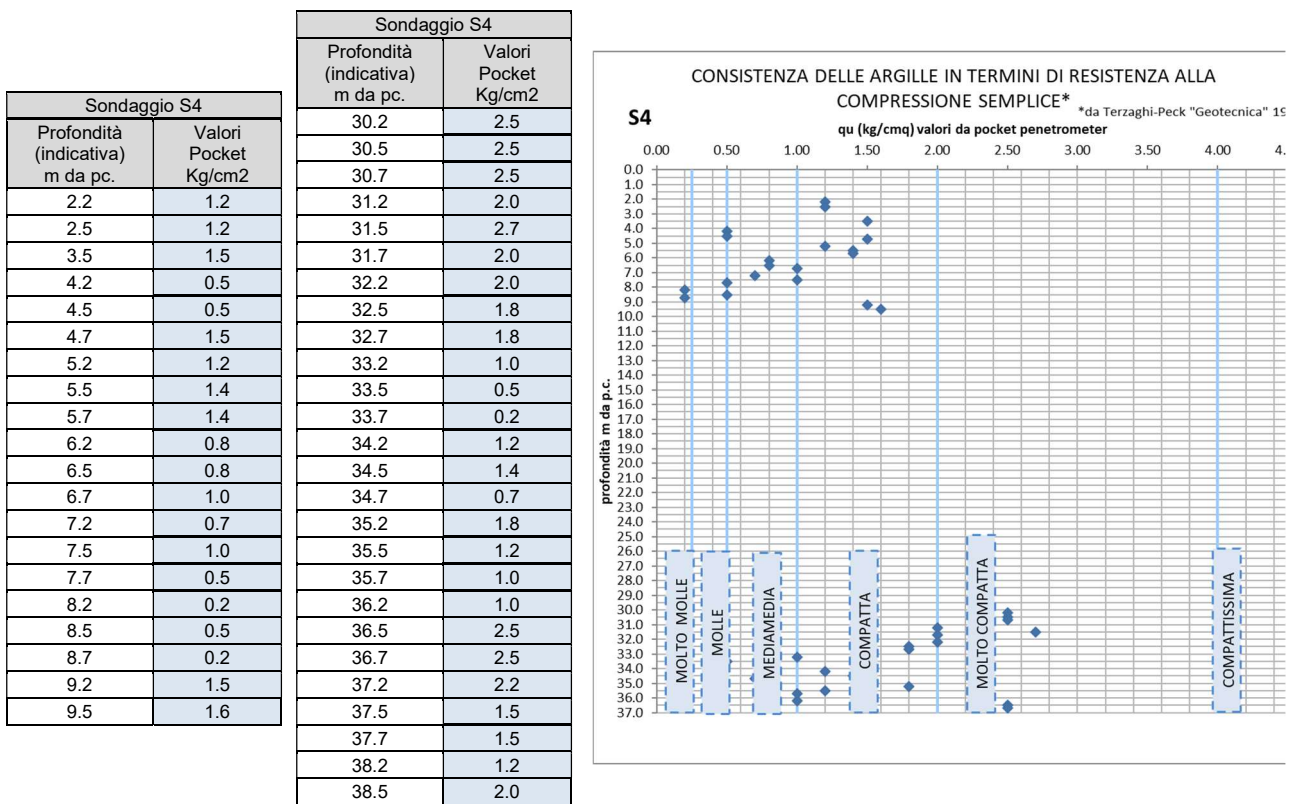
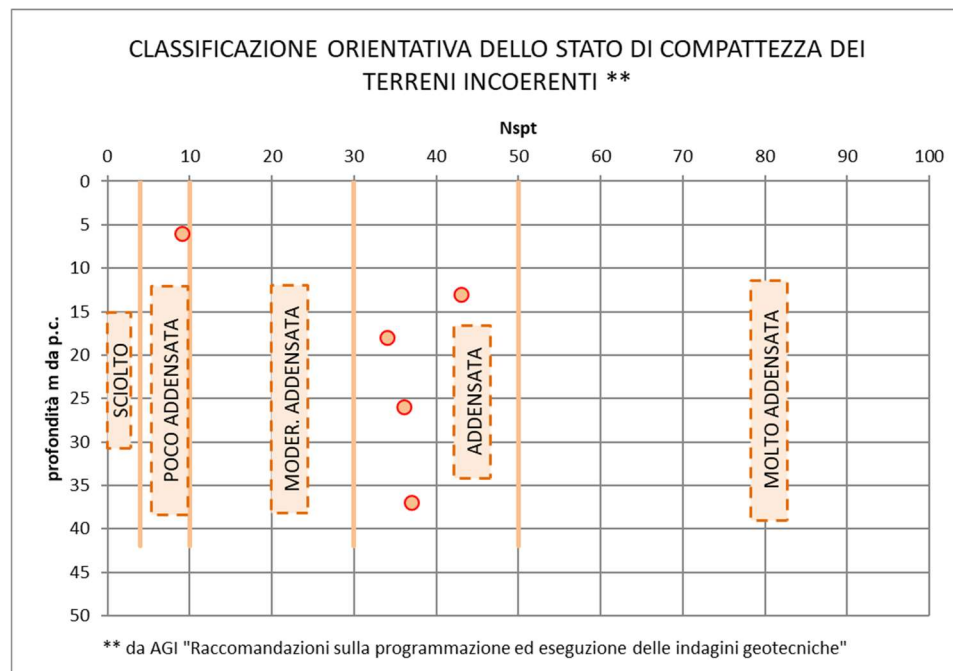


Tabella 17. Dati delle prove con Pocket penetrometer eseguite durante l'esecuzione del Sondaggio S4.

Figura 30. Grafico di "Classificazione orientativa dello stato di compattezza dei terreni incoerenti" con valore di NSPT (N2+N3) delle prove penetrometriche eseguite in foro di sondaggio rappresentato in funzione della profondità.

(Da AGI "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche")



PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica

pag. 47 / 126

Sono state eseguite n°7 prove Lefranc come riportato al paragrafo 2.5.1.5.

In corrispondenza del sondaggio S4 sono state inoltre eseguite n°2 prove pressiometriche Menard come riassunto nella tabella seguente e come riportato al paragrafo 2.5.1.6.

Profondità m da bocca sondaggio	Modulo pressimetrico Em (MPa) (modulo di Young con coefficiente di Poisson pari a 0.33)	Modulo di taglio Gm (MPa)	Livello
11.0-11.5	20.9	7.9	L3
27.0-27.5	42.0	15.8	L4

Tabella 18. Prove pressiometriche eseguite durante la perforazione del sondaggio S4.

2.5.1.3 Sondaggio S5

Di seguito la descrizione del sondaggio S5.

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-3.0	Limo argilloso-sabbioso di colore marrone talvolta con ghiaia e laterizi arancioni
3.0-5.25	Argilla limosa debolmente sabbiosa plastica di colore grigio
5.25-7.0	Sabbia debolmente limosa di colore grigio
7.0-11.0	Sabbia grossolana da ghiaiosa a sabbia grossolana con ghiaia debolmente limosa di colore grigio. Livello stratigrafico addensato (valore di N _{SPT} pari a 38 a 8.00 m di profondità)
11.0-15.0	Sabbia da grossolana a fine ghiaiosa debolmente limosa di colore grigio
15.0-21.0	Ghiaia debolmente sabbiosa (fine) debolmente limosa. Livello stratigrafico molto addensato (valore di N _{SPT} pari a 55 a 16.00 m di profondità)
21.0-22.5	Sabbia medio-grossolana pressochè pulita talvolta con qualche ciottolo grigio-beige
22.5-23.0	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa di colore grigio
23.0-24.6	Sabbia medio-grossolana pressochè pulita talvolta con qualche ciottolo grigio. Livello stratigrafico moderatamente addensato (valore di N _{SPT} pari a 27 a 24.00 m di profondità).
24.6-31.10	Argilla plastica di colore grigio-marrone, talvolta debolmente sabbiosa (sabbia fine)
31.10-32.8	Sabbia limosa fine talvolta con ciottoli minuti di colore grigio. Livello stratigrafico moderatamente addensato (valore di N _{SPT} pari a 20 a 32.00 m di profondità)
32.8-35.0	Sabbia fine debolmente limosa di colore grigio

Tabella 19. Sintesi della stratigrafia del sondaggio S5.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica

pag. 48 / 126

Durante la perforazione sono stati prelevati i seguenti campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio:

Sondaggio	Campioni	Natura Campione	Profondità m da p.c.	Livello
S5	CR1	R	7.0-7.5	L3
S5	CR2	R	15.0-15.5	L4
S5	CI1	I	25.0-25.6	L5
S5	CI2	I	28.6-29.3	L5
S5	CR3	R	34-34.5	L5

Tabella 20. Campioni rimaneggiati ed indisturbati prelevati durante l'esecuzione del sondaggio S5.

Sono state eseguite n°7 prove Lefranc come riportato al paragrafo 2.5.1.5.

Sono state eseguite inoltre n°4 prove SPT a punta chiusa e prove con Pocket penetrometer come riassunto nelle tabelle seguenti.

Prove SPT Sondaggio S5	profondità (m)	n colpi			N_{SPT}	Livello
SPT1_S5	8.0	9	17	21	38	L3
SPT2_S5	16.0	10	27	38	65	L4
SPT3_S5	24.0	8	11	16	27	L4
SPT4_S5	32.0	6	9	11	20	L5

Tabella 21. Dati prove SPT eseguite durante l'esecuzione del sondaggio S5.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 49 / 126

Sondaggio S5	
Profondità (indicativa) m da p.c.	Valori Pocket Kg/cm ²
24.5	2.0
25.2	1.8
25.7	2.0
26.2	2.0
26.5	2.2
26.7	2.0
27.2	1.7
27.5	2.5
27.7	2.5
28.2	2.0
28.7	2.2
29.2	1.8
29.7	1.8
30.2	1.8
30.5	2.0
30.7	1.7
31.2	2.0
31.5	2.5
31.7	1.5
32.2	1.7
32.5	1.5
32.7	1.7

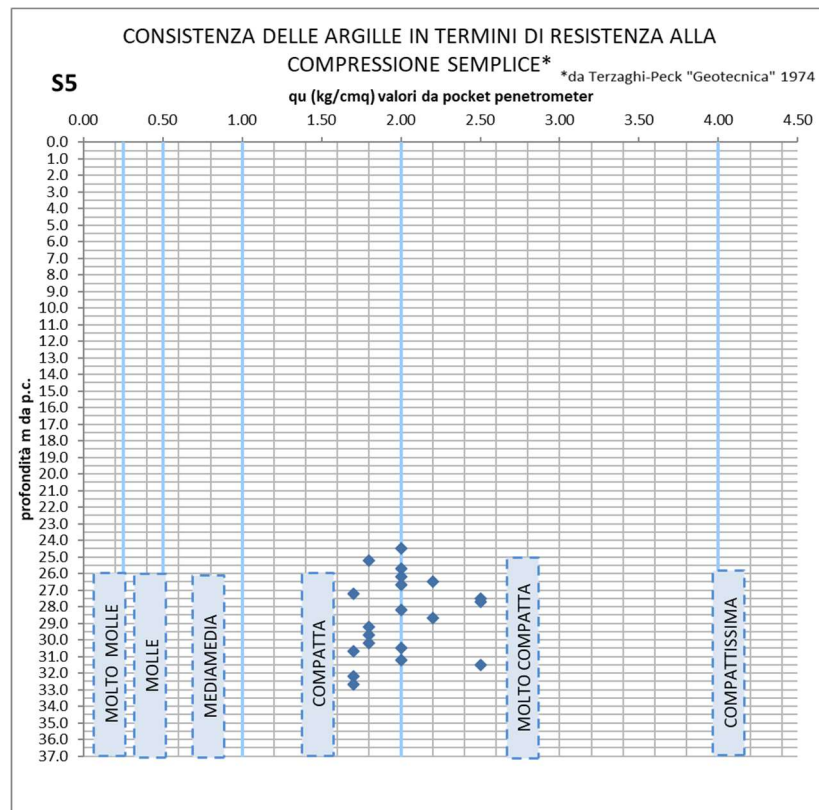
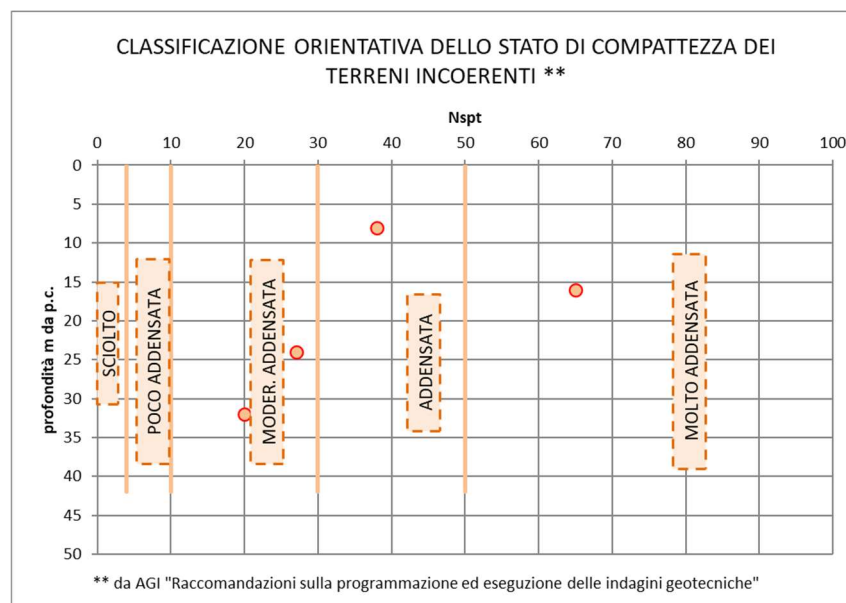


Tabella 22. Dati delle prove con Pocket penetrometer eseguite durante l'esecuzione del Sondaggio S5.

Figura 31. Grafico di "Classificazione orientativa dello stato di compattezza dei terreni incoerenti" con valore di NSPT (N₂+N₃) delle prove penetrometriche eseguite in foro di sondaggio rappresentato in funzione della profondità.

(Da AGI "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche")



PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 50 / 126	

In corrispondenza del sondaggio S5 è stata inoltre eseguita n°1 prova pressiométrica Menard come riassunto nella tabella seguente e come riportato al paragrafo 2.5.1.6.

Profondità m da bocca sondaggio	Modulo pressiométrico Em (MPa) (modulo di Young con coefficiente di Poisson pari a 0.33)	Modulo di taglio Gm (MPa)	Livello
4.0-4.5	13.3	5.0	L2

Tabella 23. Prova pressiométrica eseguita durante la perforazione del sondaggio S5.

2.5.1.4 Sondaggio Pz1_Pozzo1 e Sondaggio Pz1_Pozzo2

Si riporta di seguito in sintesi la stratigrafia dei sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in prossimità dei Pozzi 1 e 2 per le prove di portata. Altre informazioni sulla loro configurazione sono inoltre presenti di seguito ai paragrafi 2.5.2 e 3.

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-5.6	Limo argilloso debolmente sabbioso plastico di colore marrone
5.6-7.5	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore grigio
7.5-10.5	Sabbiosa debolmente limosa di colore grigio, talvolta è presente qualche ciottolo
10.5-17.9	Ghiaia da fine a grossolana generalmente debolmente sabbiosa con intervalli maggiormente sabbiosi di colore grigio. Presenza di ciottoli con diametro medio compreso tra 5 e 6 cm
17.9-24.5	Sabbia fine da debolmente limosa a pulita con brevi intervalli ghiaiosi (ghiaia con diametri inferiori a 2/3cm) di colore grigio
24.5-25.0	Argilla limosa plastica di colore grigio

Tabella 24. Sintesi della stratigrafia del sondaggio Pz1_Pozzo1.

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-5.0	Limo argilloso debolmente sabbioso plastico di colore marrone
5.0-7.4	Limo con sabbia debolmente ghiaioso di colore marrone
7.4-9.0	Ghiaia fine sabbiosa debolmente limosa di colore marrone
9.0-9.7	Sabbia medio fine debolmente linosa di colore marrone
9.7-24.0	Ghiaia da fine a grossolana generalmente debolmente sabbiosa con intervalli maggiormente sabbiosi di colore marrone-beige. Presenza di ciottoli con diametro medio compreso tra 5 e 6 cm
24.0-25.0	Argilla limosa plastica di colore marrone grigio.

Tabella 25. Sintesi della stratigrafia del sondaggio Pz1_Pozzo2.

Durante l'esecuzione del sondaggio Pz1_Pozzo 2 sono inoltre stati prelevati i seguenti campioni che sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico.

Sondaggio	Campioni	Natura Campione	Profondità m da p.c.	Livello
Pz1_Pozzo 2	CR1	R	4-4.5	L1
Pz1_Pozzo 2	CR2	R	8-9	L2
Pz1_Pozzo 2	CR3	R	14-15	L3
Pz1_Pozzo 2	CR4	R	20-21	L4
Pz1_Pozzo 2	CR5	R	24-25	L4

Tabella 26. Campioni rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione del sondaggio Pz1_Pozzo 2.

2.5.1.5 Prove di permeabilità Lefranc

Le prove di permeabilità di tipo Lefranc si effettuano durante l'esecuzione dell'operazione di carotaggio, aggiungendo acqua per mantenere il livello di falda sempre costante e misurandone la quantità immessa (carico costante), o immettendo acqua fino a bocca-foro e misurando gli abbassamenti dalla falda nel tempo (carico variabile).

Dal punto di vista operativo la prova si esegue con il seguente metodo:

- si definisce la quota e la dimensione della camera necessaria per l'esecuzione della prova;
- si fa avanzare il rivestimento fino alla quota sommitale della camera;
- si esegue una manovra per creare la camera e si pulisce il foro;
- si misura la falda, dopodiché si immette l'acqua nel foro e si effettuano le misurazione in determinati intervalli di tempo.

Le prove in corrispondenza delle profondità prescelte durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono state eseguite a carico variabile.

La suddetta prova di permeabilità è da eseguirsi in fase di avanzamento della perforazione in terreni sotto falda o fuori falda (in quest'ultimo caso dopo aver saturato con acqua il terreno) a conducibilità non elevata. La prova misura la conducibilità idrica orizzontale del terreno e si esegue misurando gli assorbimenti di acqua nel terreno, facendo filtrare l'acqua attraverso un tratto di foro predeterminato.

La prova a carico variabile consiste nel riempire il foro di sondaggio (correttamente strumentato) con acqua fino alla estremità del rivestimento. Viene poi eseguita la misura del livello dell'acqua all'interno del tubo (senza ulteriori immissioni, a distanza di 15", 30", 1' 2", 8' 15" dall'inizio dell'abbassamento, fino all'esaurimento del medesimo o al raggiungimento del livello di falda.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 52 / 126

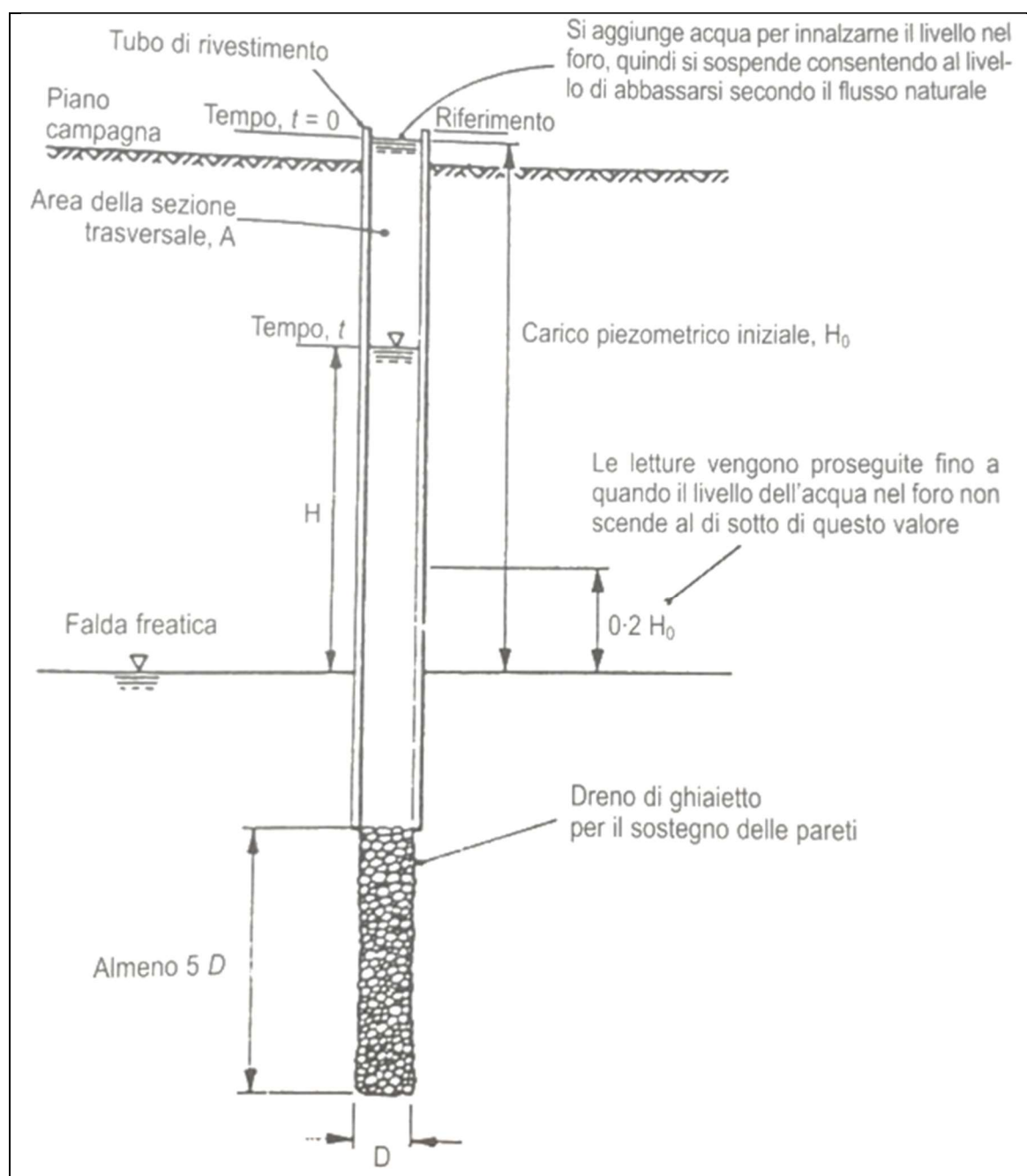


Figura 32. Schema relativo ad una prova di permeabilità a carico variabile con immissione d'acqua.

Nelle tabelle che seguono si riassumono i risultati delle prove Lefranc a carico variabile eseguite.

S3-DH			
Profondità m da bocca sondaggio		Permeabilità stimata da prove Lefranc (m/s)	Livello
5.0	5.5	1.22E-08	L2
10.0	10.5	1.05E-06	L2
15.0	15.5	1.40E-04	L3
20.0	20.5	1.05E-04	L4
25.0	25.5	1.65E-04	L4
30.0	30.5	2.43E-08	L5
35.0	35.5	3.65E-09	L5

Tabella 27. Prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la perforazione del sondaggio S3_DH.

S4			
Profondità m da bocca sondaggio		Permeabilità stimata da prove Lefranc (m/s)	Livello
5.0	5.5	3.65E-08	L2
10.0	10.5	1.31E-06	L2
15.0	15.5	1.13E-04	L3
20.0	20.5	1.33E-04	L4
25.0	25.5	1.40E-05	L4
30.0	30.5	6.44E-07	L4
35.0	35.5	6.08E-09	L5

Tabella 28. Prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la perforazione del sondaggio S4.

S5			
Profondità m da bocca sondaggio		Permeabilità stimata da prove Lefranc (m/s)	Livello
5.0	5.5	2.07E-07	L2
10.0	10.5	3.80E-05	L3
15.0	15.5	1.12E-04	L4
20.0	20.5	1.60E-04	L4
25.0	25.5	1.22E-09	L5
30.0	30.5	3.65E-09	L5
35.0	35.5	3.65E-08	L5

Tabella 29. Prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la perforazione del sondaggio S5.

2.5.1.6 Prove pressiometriche Menard

Le prove pressiometriche consistono nella misura delle deformazioni radiali indotte in un foro mediante l'espansione di una sonda cilindrica dilatabile, incrementando gradualmente la pressione. Con la prova pressiometrica è quindi possibile misurare il modulo di deformabilità e la resistenza del terreno.

Il metodo proposto da Menard (1956) necessita di un foro di sondaggio preliminare, all'interno del quale viene posizionata la sonda per l'esecuzione della prova alla profondità prescritta. Le caratteristiche fondamentali dei pressimetri Menard sono le seguenti:

- sonda costituita da un'anima cilindrica di acciaio sulla quale sono montate apposite membrane atte a costituire tre celle anulari dilatabili
- cella centrale di misura alimentata ad acqua, compresa fra due celle (di guardia) alimentate indipendentemente con gas o acqua
- dispositivi per il controllo della pressione e del corrispondente volume d'acqua iniettata nella cella di misura
- pressione trasmessa all'acqua tramite una bombola di gas
- diametri delle sonde conformi agli standards

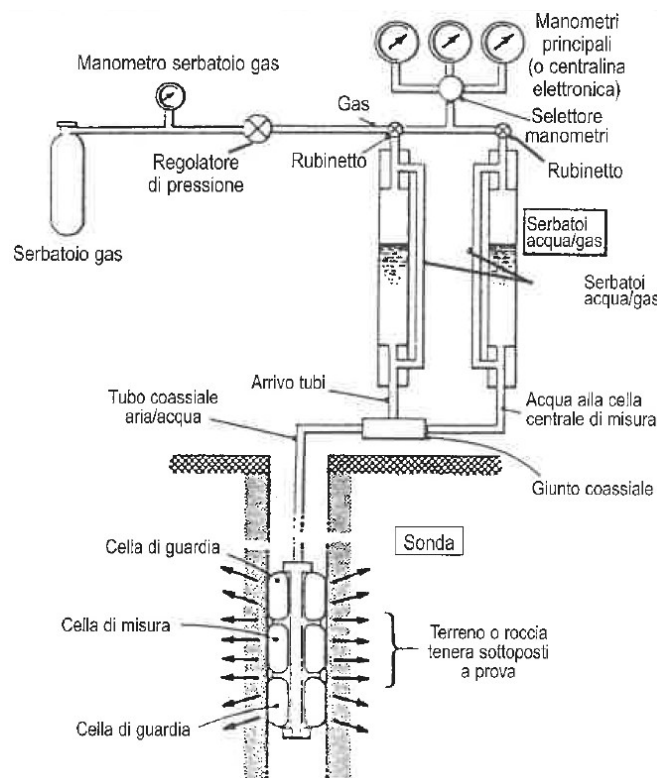


Figura 33. Rappresentazione schematica del pressimetro Menard.

La prova pressiometrica consiste nella misurazione delle dilatazioni indotte in una cella facente parte di una sonda tricellulare, calata in foro di sondaggio appositamente realizzato con un carotiere da 62 mm. La sonda pressiometrica si compone di una sonda cilindrica ad espansione idraulica costituita da una cella centrale o cella di misurazione e da due celle di guardia laterali; le misurazioni vengono effettuate sulla cella centrale che, posta in pressione dalla massa d'acqua iniettata

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 55 / 126

all'interno, si espande radialmente. Le celle di guardia, dilatate dal gas, mantengono costante la geometria del sistema, impedendo che la cella centrale abbia deformazioni diverse da quelle radiali.

La prova viene eseguita imponendo incrementi di carico mantenuti costanti per 60" e con letture intermedie a 30", misurando le dilatazioni della cella centrale e, quindi, le corrispondenti deformazioni volumetriche del terreno. Le pressioni vengono lette in superficie e da manometri di precisione dotati di scale differenziate, mentre le deformazioni vengono rilevate da un sistema volumetrico che offre possibilità di inserire uno strumento di misurazione ad alta sensibilità qualora i materiali in esame lo richiedano.

Le pressioni lette al manometro vengono depurate della pressione d'inerzia della sonda.

Nella Tabella seguente si riassumono i risultati delle prove pressiometriche Menard.

Profondità m da bocca sondaggio	Modulo pressiometrico E_m (MPa) (modulo di Young con coefficiente di Poisson pari a 0.33)	Modulo di taglio G_m (MPa)	Livello
S3_DH			
11.0-11.5	30.3	11.4	L3
28.0-28.5	44.3	16.7	L4
S4			
11.0-11.5	20.9	7.9	L3
27.0-27.5	42.0	15.8	L4
S5			
4.0-4.5	13.3	5.0	L2

Tabella 30. Sintesi prove pressiometriche eseguite durante la perforazione dei sondaggi S3-DH, S4 e S5.



Figura 34. Allestimento prova pressiometrica Menard.

2.5.2 Perforazione Pozzi

Si riassumono di seguito le informazioni relative alle perforazioni eseguite per l'esecuzione delle prove di pompaggio, per la determinazione diretta della permeabilità (vedasi inoltre paragrafo 3).

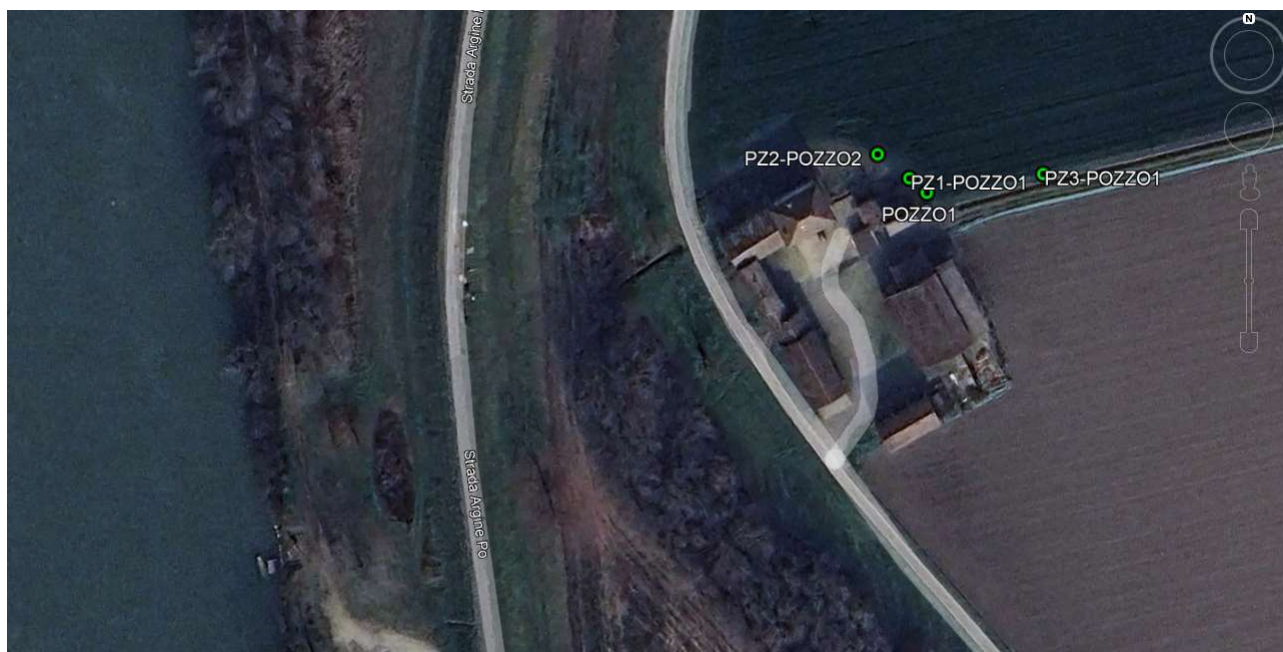


Figura 35. Ubicazione Pozzo 1 e piezometri per prove di portata.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 57 / 126



Figura 36. Ubicazione Pozzo 2 e piezometri per prove di portata.

2.5.2.1 Pozzo1

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-5.6	Limo argilloso debolmente sabbioso plastico di colore marrone
5.6-7.5	Sabbia ghiaiosa debolmente limosa di colore grigio
7.5-10.5	Sabbiosa debolmente limosa di colore grigio, talvolta è presente qualche ciottolo
10.5-17.9	Ghiaia da fine a grossolana generalmente debolmente sabbiosa con intervalli maggiormente sabbiosi di colore grigio. Presenza di ciottoli con diametro medio compreso tra 5 e 6 cm
17.9-24.5	Sabbia fine da debolmente limosa a pulita con brevi intervalli ghiaiosi (ghiaia con diametri inferiori a 2/3cm) di colore grigio
24.5-25.0	Argilla limosa plastica di colore grigio

Tabella 31. Sintesi della stratigrafia Pozzo1.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO				
Progetto Esecutivo				
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE				
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A			
Titolo elaborato:	Relazione geologica			pag. 58 / 126

Il Pozzo 1 risulta profondo 25 m, il tratto fenestrato è presente tra 13 e 25 m da p.c., mentre il pozzo risulta cieco da p.c. a 13 m.

Il PZ_1 Pozzo 1 presenta invece la seguente configurazione: piezometro a tubo aperto, diametro 2", da -1 a 25 m da p.c. il piezometro risulta filtrato, mentre il tratto cieco è presente tra 0 e -1 m da p.c.

Nelle tabelle seguenti si riassumono le informazioni principali relative all'installazione del Pozzo 1 e del PZ1 – Pozzo 1

POZZO 1					PZ1_POZZO 1				
	quota DTM (m slm) 43.5		Tratto filtrato			quota DTM (m slm) 43.5		Tratto filtrato	
m		LIVELLO			m		LIVELLO	m da p.c.	m slm
0.0-5.6	Limo argilloso	L2			0.0-5.6	Limo argilloso	L2	1	42.5
5.6-10.5	Sabbia ghiaiosa deb. Limosa	L3	m da p.c.	m slm	5.6-10.5	Sabbia ghiaiosa deb. Limosa	L3		
10.5-17.9	Ghiaia	L4	13	30.5	10.5-17.9	Ghiaia	L4		
17.9-24.5	Sabbia debolmente limosa	L4			17.9-24.5	Sabbia debolmente limosa	L4		
24.5-25.0	Argilla limosa	L5	25	18.5	24.5-25.0	Argilla limosa	L5	25	18.5

Tabella 32. Configurazione Pozzo1 e PZ-1_Pozzo1.

2.5.2.2 Pozzo2

Profondità (m dal pc)	Descrizione litologica
0.0-5.0	Limo argilloso debolmente sabbioso plastico di colore marrone
5.0-7.4	Limo con sabbia debolmente ghiaioso di colore marrone
7.4-9.0	Ghiaia fine sabbiosa debolmente limosa di colore marrone
9.0-9.7	Sabbia medio fine debolmente linosa di colore marrone
9.7-24.0	Ghiaia da fine a grossolana generalmente debolmente sabbiosa con intervalli maggiormente sabbiosi di colore marrone-beige. Presenza di ciottoli con diametro medio compreso tra 5 e 6 cm
24.0-25.0	Argilla limosa plastica di colore marrone grigio.

Tabella 33. Sintesi della stratigrafia del Pozzo2.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 59 / 126	

Il Pozzo 2 risulta profondo 25 m, il tratto fenestrato è presente tra 13 e 25 m da p.c., mentre il pozzo risulta cieco da p.c. a 13 m.

Il PZ_1 Pozzo 2 presenta invece la seguente configurazione: piezometro a tubo aperto, diametro 2", da -1 a 25 m da p.c. il piezometro risulta filtrato, mentre il tratto cieco è presente tra 0 e -1 m da p.c.

Nelle tabelle seguenti si riassumono le informazioni principali relative all'installazione del Pozzo 2 e del PZ1 – Pozzo 2

POZZO 2					PZ1_POZZO 2				
Tratto filtrato					Tratto filtrato				
quota DTM (m slm) 44.5					quota DTM (m slm) 44.5				
m		LIVELLO	m da p.c.	m slm	m		LIVELLO	m da p.c.	m slm
0.0-7.4	Limo argilloso	L2	13	31.5	0.0-7.4	Limo argilloso	L2	1	43.5
7.4-24	Ghiaia/sabbia	L3/L4			7.4-24	Ghiaia/sabbia	L3/L4		
24-25	Argilla limosa	L5	25	19.5	24-25	Argilla limosa	L5	25	19.5

Tabella 34. Configurazione Pozzo2 e PZ-1_Pozzo2.

2.5.3 Prove geotecniche di laboratorio

Come indicato nei paragrafi precedenti durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove geotecniche in laboratorio. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei campioni e delle profondità alle quali sono stati prelevati. Inoltre si riportano in sintesi i risultati delle prove geotecniche di laboratorio (riportati in dettaglio di seguito).

Sondaggio	Campioni	natura campione	profondità m da b.f.		Livello
S4	CI1	I	3	3.6	L1
S4	CR1	R	7	7.5	L2
S4	CR2	R	11.5	12	L3
S4	CR3	R	15	15.5	L3
S4	CI2	I	24	24.5	L4
S4	CR4	R	27.5	28	L4
S5	CI1	I	25	25.6	L5
S5	CI2	I	28.6	29.3	L5
S3_DH	CI1	I	3.5	4	L1
S3-DH	CR1	R	7	7.5	L2
S3-DH	CR2	R	11.5	12	L3
S3-DH	CR3	R	15	15.5	L4
S3-DH	CR4	R	27.5	28	L4
S3_DH	CI2	I	31.5	32.2	L5
Pz1_Pozzo 2	CR1	R	4	4.5	L1
Pz1_Pozzo 2	CR2	R	8	9	L2
Pz1_Pozzo 2	CR3	R	14	15	L3
Pz1_Pozzo 2	CR4	R	20	21	L4
Pz1_Pozzo 2	CR5	R	24	25	L4

Tabella 35. Sintesi campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo presso Caorso.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica

pag. 61 / 126

Sui campioni sono state eseguite le seguenti prove geotecniche:

- ✓ Descrizione geotecnica del campione (ASTM D2488-09a- D4648-10)
- ✓ Prova Edometrica (ASTM D2435-96)
- ✓ Prova di Compressione ad Espansione Laterale Libera (ASTM D2166-06)
- ✓ Analisi granulometrica (ASTM D421-07/D422-07)
- ✓ Limiti di consistenza: Limite Liquido e Limite Plastico (ASTM D 4318-10)
- ✓ Prove di taglio diretto CD (ASTM D 3080-11);
- ✓ Contenuto d'acqua allo stato naturale (ASTM D 2216)
- ✓ Peso di volume allo stato naturale (BS 1377T 15/E)
- ✓ Peso specifico dei granuli (ASTM D 854)
- ✓ Prova di Colonna risonante (ASTM D 4015-21);

Di seguito vengono sintetizzate i parametri geotecnici dei materiali ricavate dalle indagini stesse.

<i>Sondaggio</i>	<i>Campioni</i>	<i>Profondità m da b.f.</i>		<i>Livello</i>	<i>Quota Da DTM m slm</i>	<i>Wn %</i>	<i>γ n kN/m³</i>	<i>Densità Umida Prove Edometriche/TD</i>	<i>Limiti Atterberg</i>	<i>Analisi granulometrica</i>
S4	CI1	3	3.6	L1	44.9	27.21	19.59	γ =19.68- 20.00 kN/m ³	WL=33.3% Wp=17.7 % IP=15.6	G=2.01% S=8.56% L=47.81% A=41.63%
S4	CR1	7	7.5	L2	41					G=0% S=17.2% L=61.16% A=21.65%
S4	CR2	11.5	12	L3	36.5					G=56.93% S=27.28% L=11.7% A=4.1%
S4	CR3	15	15.5	L3	33			γ =19.49 kN/m ³		G=38.44% S=50.78% L=7.78% A=2.99%
S4	CI2	24	24.5	L4	24	14.96	21.55	γ =21.14 kN/m ³	WL=20.8% Wp=17.7 % IP=3.1	G=0.63% S=70.82% L=18.08% A=10.47%
S4	CR4	27.5	28	L4	20.5					G=12.02% S=64% L=16.70% A=7.28%
S5	CR1	7	7.5	L3	36			γ =19.12- 19.58 kN/m ³		G=15.77% S=64.52% L=14.41% A=5.3%
S5	CR2	15	15.5	L4	28					G=62.27% S=34.55% L=2.51% A=0.67%
S5	CI1	25	25.6	L5	17.9	19.60	19.85	γ =19.66- 19.84 kN/m ³	WL=40.8% Wp=19.9% IP=20.8	G=1.13% S=3.6% L=43.65% A=51.62%
S5	CI2	28.6	29.3	L5	14.2	24.60	19.11	γ =19.80- 19.36 kN/m ³	WL=52.3% Wp=24.7% IP=27.6	G=1.76% S=1.93% L=38.7% A=57.62%
S5	CR3	34	34.5	L5	9					G=0 % S=91.25% L=6.32% A=2.43%

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO										
Progetto Esecutivo										
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE										
Codice elaborato:		PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A								
Titolo elaborato:		Relazione geologica								pag. 62 / 126

Sondaggio	Campioni	Profondità m da b.f.		Livello	Quota Da DTM m slm	Wn %	γ_n kN/m³	Densità Umida Prove Edometriche/TD	Limiti Atterberg	Analisi granulometrica
S3_D H	CI1	3.5	4	L1	44.5	23.59	19.55	$\gamma=19.96$ kN/m ³	WL=40% Wp=21.2% IP=18.8	G=0% S=2.9% L=50.6% A=46.5%
S3-DH	CR1	7	7.5	L2	41			$\gamma=19.09$ kN/m ³		G=0% S=1.35% L=57.26% A=41.38%
S3-DH	CR2	11.5	12	L3	36.5			$\gamma=19.10$ kN/m ³		G=7.75% S=72.11% L=13.5% A=6.63%
S3-DH	CR3	15	15.5	L4	33					G=33.87% S=55.37% L=7.77% A=2.99%
S3-DH	CR4	27.5	28	L4	20.5					G=1.86% S=91.42% L=5.27% A=1.46%
S3_D H	CI2	31.5	32.2	L5	16.3	33.76	17.90		WL=81.7% Wp=30.1% IP=51.6	G=0% S=0.86% L=16.52% A=82.63%
PZ- Pozzo 2	CR1	4	4.5	L2	39					G=0% S=9.98% L+A=90.02%
PZ- Pozzo 2	CR2	8	9	L3	34.5					G=0.38% S=81.55% L+A=18.07%
PZ- Pozzo 2	CR3	14	15	L4	28.5					G=0.23% S=73.49% L+A=26.29%
PZ- Pozzo 2	CR4	20	21	L4	22.5					G=12.47% S=60.71% L+A=26.82%
PZ- Pozzo 2	CR5	24	25	L5	18.5					G=0.27% S=2.19% L+A=97.54%

Tabella 36. Tabella di sintesi delle prove di laboratorio eseguite.

Dove: WL = Limite Liquido (%); WP = Limite Plastico (%); IP = Indice Plastico; Wn = contenuto d'acqua naturale; γ_n = densità naturale. G%=percentuale di ghiaia; S%=percentuale di sabbia; L%=percentuale di limo; A%=percentuale di argilla.

Campioni	profondità m da b.f.		Livello	quota da DTM m slm	γS Mg/m ³	Prova Edometrica					Taglio diretto (CD)	Prova ELL
						12.5-25 kPa	25-50 kPa	50-100 kPa	100-200 kPa	200-400 kPa		
S4-CI1	3	3.6	L1	44.9	2.83	M= 1.39 MPa	M= 1.70 MPa	M= 2.59 MPa			c'=12.4 kPa fi'=26.2°	
S4-CR1	7	7.5	L2	41								
S4-CR2	11.5	12	L3	36.5								
S4-CR3	15	15.5	L3	33							c'=1.4 kPa fi'=32.4°	
S4-CI2	24	24.5	L4	24	2.67	M= 2.5 MPa	M= 4.63 MPa	M= 7.14 MPa	M= 11.9 MPa	M= 22.22 MPa	c'=3.2 kPa fi'=32.8°	Cu=15 kPa
S4-CR4	27.5	28	L4	20.5								
S5-CI1	25	25.6	L5	17.9	2.81	-	M= 3.47 MPa	M= 3.5 MPa	M= 4.72 MPa		c'=17 kPa fi'=24.1°	Cu=95.8 kPa
S5-CI2	28.6	29.3	L5	14.2	2.7	M= 2.78 MPa	M= 3.16 MPa	M= 3.79 MPa	M= 5.29 MPa	M= 8.77 MPa	c'=22.4 kPa fi'=20.5°	Cu=26.44 kPa
S3-DH_CI 1	3.5	4	L1	44.5	2.78	M= 1.25 MPa	M= 1.67 MPa	M= 2.43 MPa			c'=15.4 kPa fi'=28.3°	Cu=63.7 kPa
S3-DH_CR 1	7	7.5	L2	41							c'=13.7 kPa fi'=27.4°	
S3-DH_CR 2	11.5	12	L3	36.5							c'=1.6 kPa fi'=34.2°	
S3-DH_CR 3	15	15.5	L4	33								
S3-DH_CR 4	27.5	28	L4	20.5								
S3-DH_CI 2	31.5	32.2	L5	16.3	2.71						c'=22.3 kPa fi'=20.5°	Cu=40.7 kPa

Tabella 37. Tabella di sintesi delle prove di laboratorio eseguite.

Dove: γS = peso specifico; TD = Prova di taglio Diretto in scatola di Casagrande; c' = coesione efficace;
 ϕ' = angolo di attrito efficace; Cu = Resistenza al taglio in condizioni non drenate; M = Modulo
 Edometrico. * Prova eseguita sul campione S5-CI1 (vedasi approfondimento in seguito)

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 64 / 126

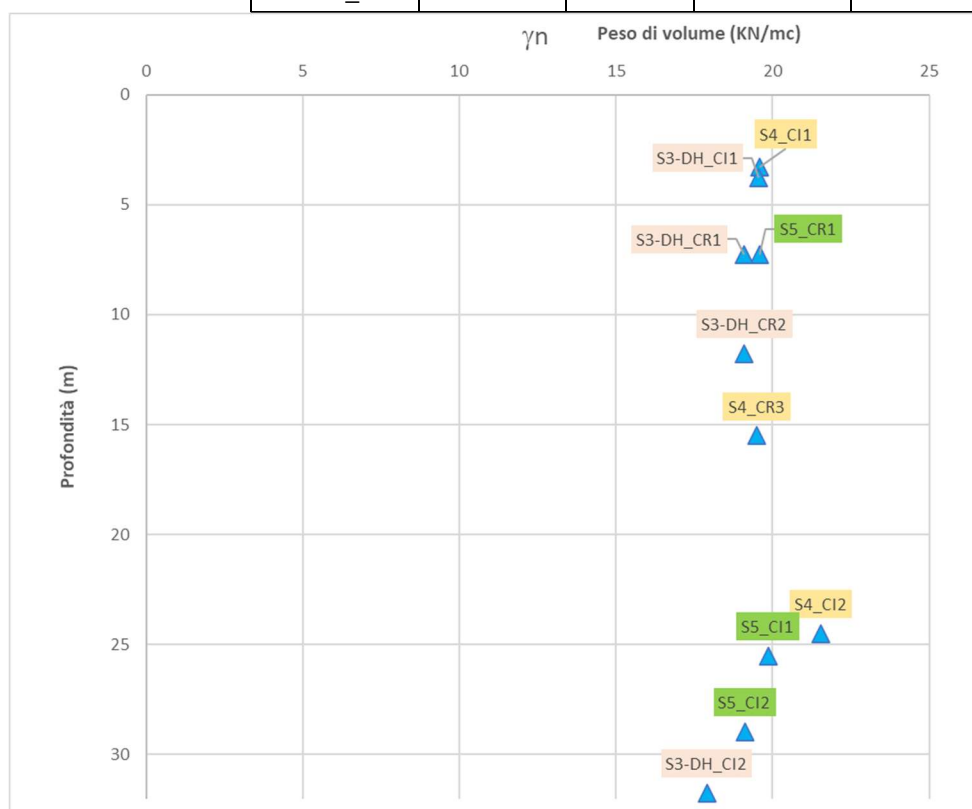
2.5.3.1 Peso di volume allo stato naturale

La determinazione del peso di volume allo stato naturale ha permesso di determinare i seguenti pesi di volume per i campioni elencati nella tabella seguente.

Sono riportati anche i valori di densità naturale umida stimata sui provini sottoposti alle prove Edometriche e di Taglio Diretto.

(in tabella γ_n = densità naturale γ_s = peso specifico)

Sondaggio	Profondità (m da b.f.)		Prof. media	γ_n kN/m ³	γ_s Mg/m ³
S4_CI1	3	3.6	3.3	19.59	2.83
S4_CI2	24	25	24.5	21.55	2.67
S4_CR3	15	16	15.5	19.49	-
S5_CR1	7	7.5	7.25	19.58	-
S5_CI1	25	26	25.5	19.85	2.81
S5_CI2	28.6	29.3	28.95	19.11	2.7
S3-DH_CI1	3.5	4	3.75	19.55	2.78
S3-DH_CR1	7	7.5	7.25	19.09	-
S3-DH_CR2	11.5	12	11.75	19.1	0
S3-DH_CI2	31.5	32	31.75	17.9	2.71



2.5.3.2 Limiti di Atterberg, Classificazione di Casagrande e classificazione materiali

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 65 / 126

Nella tabella seguente sono riportati i valori ottenuti dei limiti di Atterberg.

Campione	Prof. m	Falda m	Wn %	LL %	Lp %	Ip	IL	Classificazione IP
S4_CI1	3.30	6.50	27.21	33.3	17.7	15.6	0.61	plastico
S4_CI2	24.25	6.50	14.96	20.8	17.7	3.1	-0.88	non plastico
S5_CI1	25.30	6.50	19.60	40.8	19.9	20.8	-0.01	plastico
S5_CI2	28.95	6.50	24.60	52.3	24.7	27.6	0.00	plastico
S3-DH_CI1	3.25	6.50	23.59	40	21.2	18.8	0.13	plastico
S3-DH_CI2	31.50	6.50	33.76	81.7	30.1	51.6	0.07	molto plastico

La determinazione dei limiti di Atterberg ha permesso di classificare i campioni sull'abaco di Casagrande.

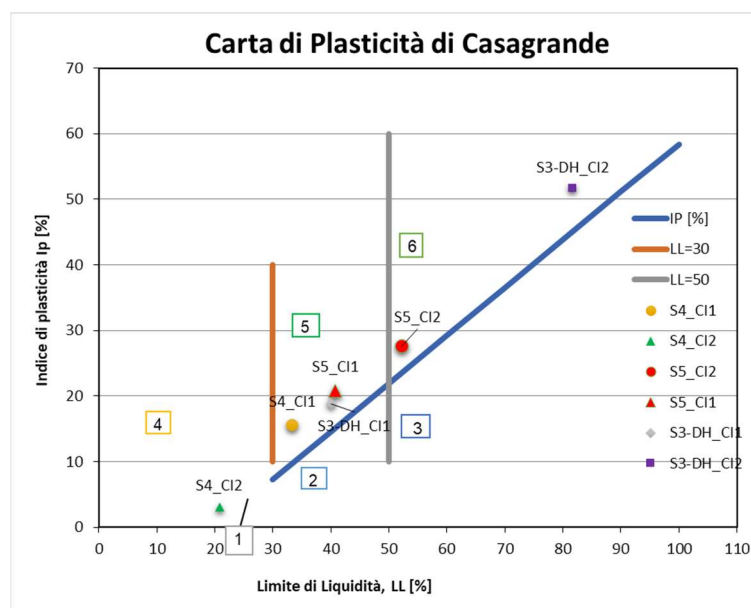


Figura 37. Carta di Plasticità di Casagrande

I valori ricavati ricadono principalmente nelle zone 5 e 6 nella zona 5: CI - Argille inorganiche di media plasticità; 6: CH - Argille inorganiche di alta plasticità.

1	ML-OL - limi inorganici / argille e limi organici di bassa compressibilità
2	MI-OI = limi inorganici / argille e limi organici di media compressibilità e limi organici
3	MH-OH limi inorganici / argille e limi organici di alta compressibilità ed argille organiche
4	CL - Argille inorganiche di bassa plasticità
5	CI - Argille inorganiche di media plasticità
6	CH - Argille inorganiche di alta plasticità

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 66 / 126



Figura 38. IP e γ_n vs prof

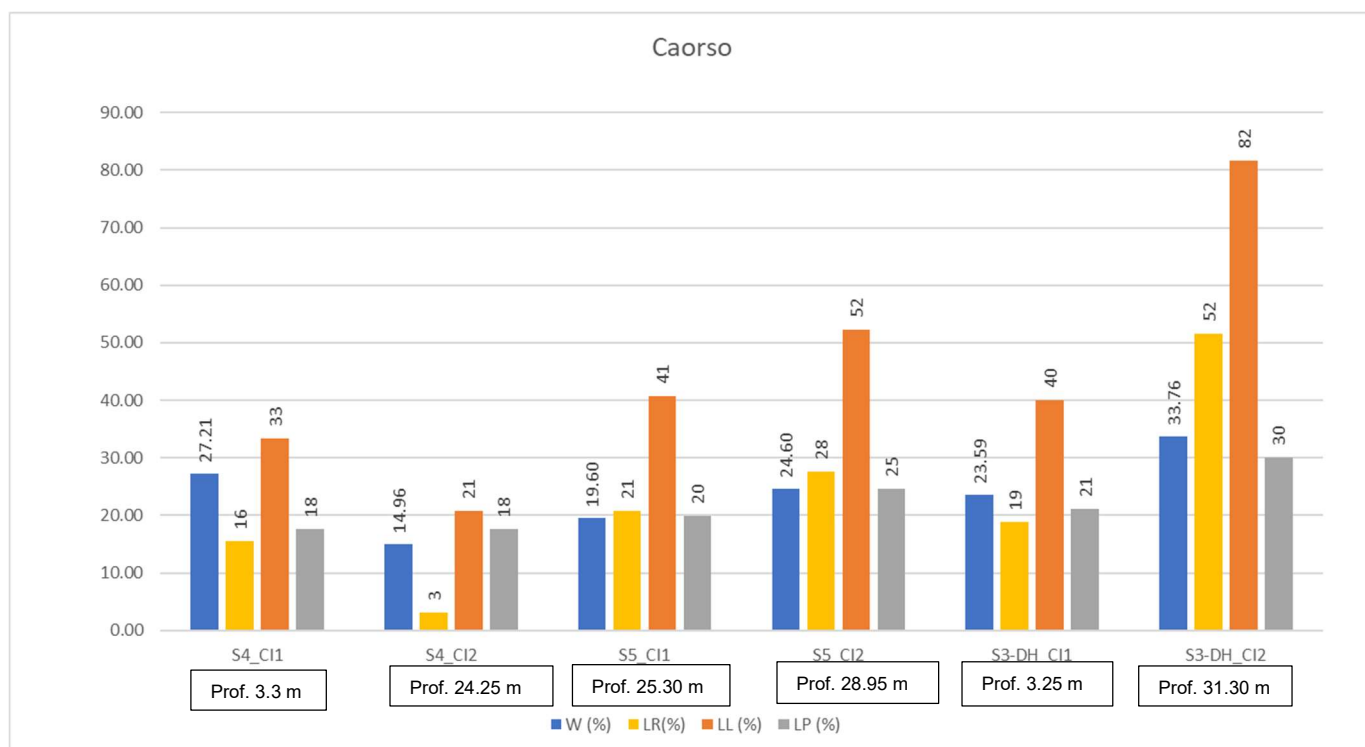


Figura 39. Confronto tra Limite Liquido (LL), Limite Plastico (LP) e Umidità naturale (w) e limite di ritiro dei campioni (LR) analizzati.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO					
Progetto Esecutivo					
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE					
Codice elaborato:		PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A			
Titolo elaborato:		Relazione geologica			
					pag. 67 / 126

2.5.3.3 Classificazione granulometrica

Le analisi granulometriche eseguite sia sui campioni indisturbati che sui campioni disturbati hanno permesso di classificare i materiali reperiti come segue:

Sondaggio	Classificazione granulometrica - AGI	Campioni	Profondità m da b.f.		Livello	Analisi granulometrica
S4	<i>limo con argilla deb. Sabbioso</i>	CI1	3	3.6	L1	G=2.01% S=8.56% L=47.81% A=41.63%
S4	<i>limo argilloso sabbioso</i>	CR1	7	7.5	L2	G=0% S=17.2% L=61.16% A=21.65%
S4	<i>ghiaia con sabbia limosa</i>	CR2	11.5	12	L3	G=56.93% S=27.28% L=11.7% A=4.1%
S4	<i>sabbia con ghiaia deb. limosa</i>	CR3	15	15.5	L3	G=38.44% S=50.78% L=7.78% A=2.99%
S4	<i>sabbia limosa</i>	CI2	24	24.5	L4	G=0.63% S=70.82% L=18.08% A=10.47%
S4	<i>sabbia limo-ghiaiosa</i>	CR4	27.5	28	L4	G=12.02% S=64% L=16.70% A=7.28%
S5	<i>sabbia limo ghiaiosa</i>	CR1	7	7.5	L3	G=15.77% S=64.52% L=14.41% A=5.3%
S5	<i>ghiaia con sabbia</i>	CR2	15	15.5	L4	G=62.27% S=34.55% L=2.51% A=0.67%
S5	<i>argilla con limo</i>	CI1	25	25.6	L5	G=1.13% S=3.6% L=43.65% A=51.62%
S5	<i>argilla con limo</i>	CI2	28.6	29.3	L5	G=1.76% S=1.93% L=38.7% A=57.62%
S5	<i>sabbia limosa</i>	CR3	34	34.5	L5	G=0 % S=91.25% L=6.32% A=2.43%
S3_DH	<i>limo con argilla</i>	CI1	3.5	4	L1	G=0% S=2.9% L=50.6% A=46.5%
S3-DH	<i>limo con argilla</i>	CR1	7	7.5	L2	G=0% S=1.35% L=57.26% A=41.38%
S3-DH	<i>sabbia limosa</i>	CR2	11.5	12	L3	G=7.75% S=72.11% L=13.5% A=6.63%
S3-DH	<i>sabbia con ghiaia, deb. limosa</i>	CR3	15	15.5	L4	G=33.87% S=55.37% L=7.77% A=2.99%
S3-DH	<i>sabbia deb. limosa</i>	CR4	27.5	28	L4	G=1.86% S=91.42% L=5.27% A=1.46%
S3_DH	<i>argilla limosa</i>	CI2	31.5	32.2	L5	G=0% S=0.86% L=16.52% A=82.63%
PZ-Pozzo 2	<i>limo sabbioso</i>	CR1	4	4.5	L2	G=0% S=9.98% L+A=90.02%
PZ-Pozzo 2	<i>sabbia limosa</i>	CR2	8	9	L3	G=0.38% S=81.55% L+A=18.07%
PZ-Pozzo 2	<i>sabbia con limo</i>	CR3	14	15	L4	G=0.23% S=73.49% L+A=26.29%
PZ-Pozzo 2	<i>sabbia con limo</i>	CR4	20	21	L4	G=12.47% S=60.71% L+A=26.82%
PZ-Pozzo 2	<i>limo-argilla</i>	CR5	24	25	L5	G=0.27% S=2.19% L+A=97.54%

Tabella 38. Classificazione granulometrica.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 68 / 126

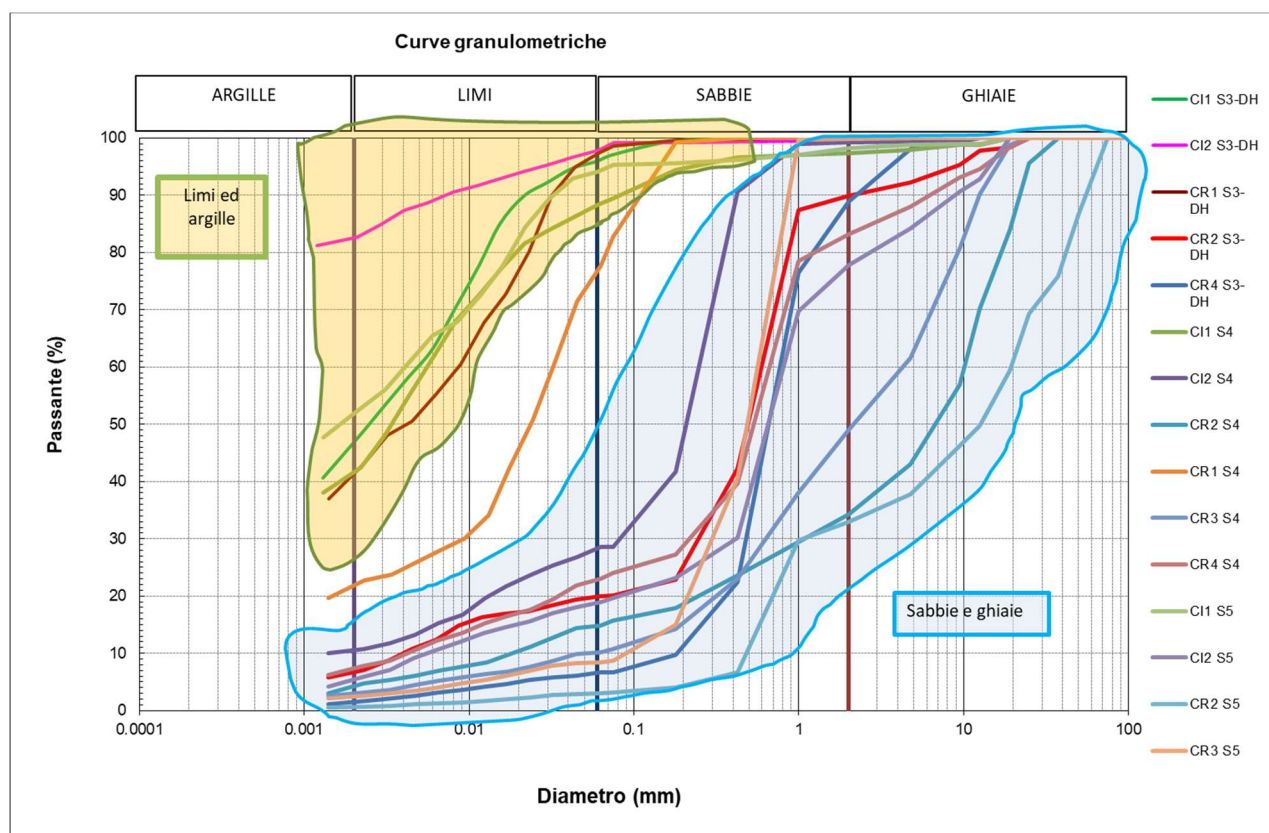


Figura 40. Analisi granulometriche – fusi granulometrici prevalentemente rappresentative di sabbie e ghiaie e di limi ed argille

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO		
Progetto Esecutivo		
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE		
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A	
Titolo elaborato:	Relazione geologica	pag. 69 / 126

2.5.3.4 Prova di compressione non drenata ELL

Sono state eseguite sui campioni prelevati alcune prove tipo ELL per la determinazione della coesione non drenata C_u . Nella tabella seguente si riassumono i risultati delle prove di laboratorio.

Campioni	profondità m da b.f.		Livello	Prova ELL		
				E %	Qu kPa	Cu kPa
S4-CI2	24	24.5	L4	2.84	29.99	15
S5-CI1	25	25.6	L5	10.43	191.69	95.8
S5-CI2	28.6	29.3	L5	4.00	52.88	26.44
S3-DH_CI1	3.5	4	L1	6.17	127.46	63.7
S3-DH_CI2	31.5	32.2	L5	4.87	81.47	40.7

Tabella 39. Risultati prova di compressione ad espansione laterale libera. Dove: Q_u = tensione massima determinata durante la prova, C_u = coesione non drenata; E = deformazione assiale.

2.5.3.5 Resistenza al taglio e coesione drenata

Sulla base della prova di taglio diretto consolidato e drenato eseguita sul campione S1_CI2 sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Campioni	profondità m da b.f.		Livello	Taglio diretto (CD)
S4-CI1	3	3.6	L1	$c'=12.4$ kPa $\phi_i'=26.2^\circ$
S4-CR3	15	15.5	L3	$c'=1.4$ kPa $\phi_i'=32.4^\circ$
S4-CI2	24	24.5	L4	$c'=3.2$ kPa $\phi_i'=32.8^\circ$
S5-CI1	25	25.6	L5	$c'=17$ kPa $\phi_i'=24.1^\circ$
S5-CI2	28.6	29.3	L5	$c'=22.4$ kPa $\phi_i'=20.5^\circ$
S3-DH_CI1	3.5	4	L1	$c'=15.4$ kPa $\phi_i'=28.3^\circ$
S3-DH_CR1	7	7.5	L2	$c'=13.7$ kPa $\phi_i'=27.4^\circ$
S3-DH_CR2	11.5	12	L3	$c'=1.6$ kPa $\phi_i'=34.2^\circ$
S3-DH_CI2	31.5	32.2	L5	$c'=22.3$ kPa $\phi_i'=20.5^\circ$

2.5.3.6 Prove di colonna risonante

La prova di Colonna Risonante si utilizza per misurare i parametri dinamici dei terreni a livelli deformativi bassi determinando le leggi di decadimento della rigidezza *G* e dell'incremento del fattore di smorzamento *D* in funzione della deformazione tangenziale in condizioni di frequenza di risonanza.

Nella figura seguente sono riportati i diagrammi della prova eseguita che ha interessato il livello L5 (campione analizzato S5_CI1 (prelevato tra 25 e 26 m da p.c.)).

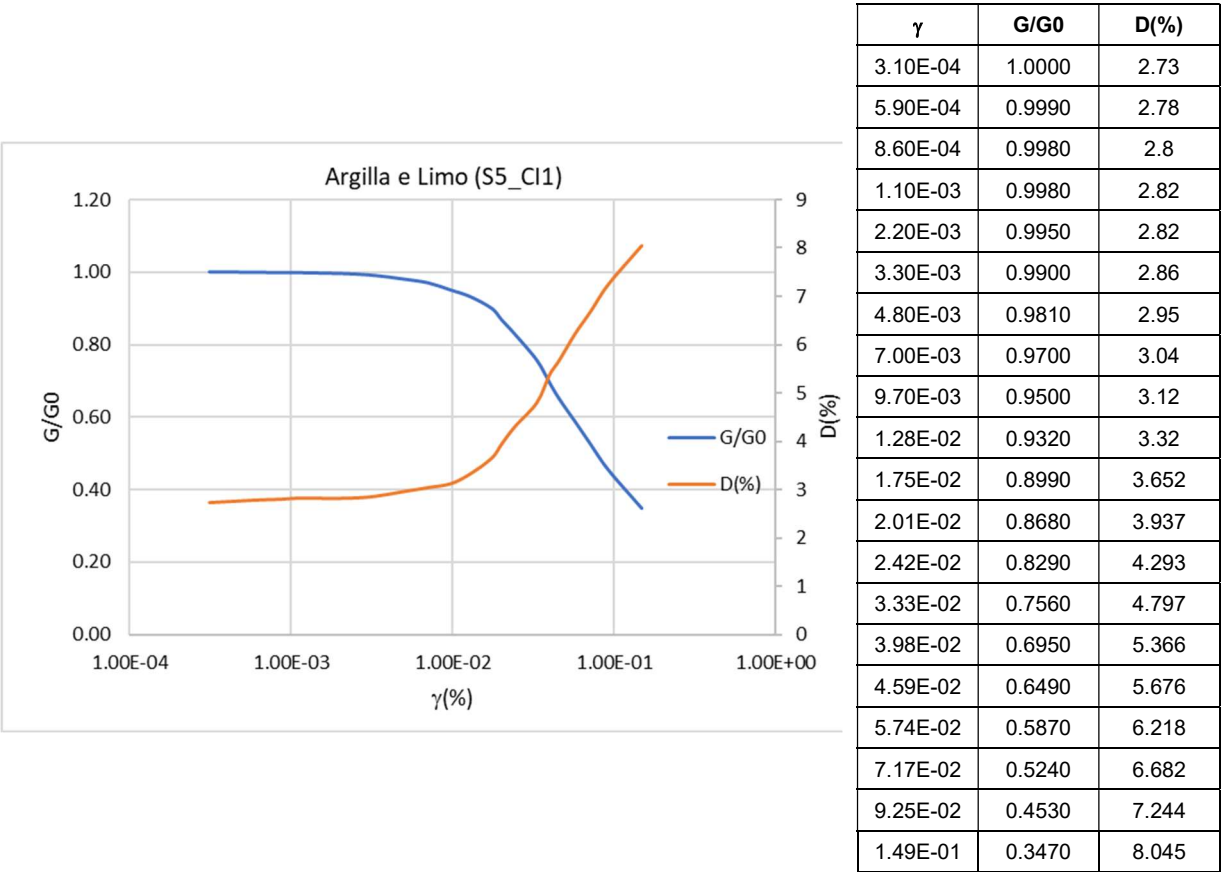


Figura 41. Risultati della prova in colonna risonante (eseguita su S5_CI1).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO				
Progetto Esecutivo				
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE				
Codice elaborato:		PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A		
Titolo elaborato:		Relazione geologica		
				pag. 71 / 126

2.5.3.7 Le prove edometriche e modulo edometrico

Di seguito sono riassunti i risultati delle prove edometriche eseguite e nei diagrammi seguenti è riportato anche il valore ottenuto per lo stato attuale del campione (segnalato in verde in tabella).

SONDAGGIO	CAMPIONI	PROFONDITA' m da b.f.		LIVELLO	EDOMETRICA				
					range di pressione				
					kPa				
					12.5-25	25-50	50-100	100-200	200-400
S4	CI1	3	3.5	L1	M= 1.39 MPa	M= 1.70 MPa	M= 2.59 MPa		
					Cv= 0.00048 cm ² /s	Cv= 0.00032 cm ² /s	Cv= 0.00031 cm ² /s		
					k= 3.41 *10 ⁻¹⁰ m/s	k= 1.85*10 ⁻¹⁰ m/s	k= 1.18*10 ⁻¹⁰ m/s		
S4	CI2	24	24.5	L4	M= 2.5 MPa	M= 4.63 MPa	M= 7.14 MPa	M= 11.9 MPa	M= 22.22 MPa
					Cv= 0.0067 cm ² /s	Cv= 0.00356 cm ² /s	Cv= 0.00151 cm ² /s		
					k= 2.64 *10 ⁻⁹ m/s	k= 7.54*10 ⁻¹⁰ m/s	k= 2.07*10 ⁻¹⁰ m/s		
S5	CI1	25	25.6	L5		M= 3.47 MPa	M= 3.5 MPa	M= 4.72 MPa	M= 6.85 MPa
						Cv= 0.00143 cm ² /s	Cv= 0.00137 cm ² /s	Cv= 0.00128 cm ² /s	
						k= 4.05*10 ⁻¹⁰ m/s	k= 3.85*10 ⁻¹⁰ m/s	k= 2.65*10 ⁻¹⁰ m/s	
S5	CI2	28.6	29.3	L5	M= 2.78 MPa	M= 3.16 MPa	M= 3.79 MPa	M= 5.29 MPa	M= 8.77 MPa
					Cv= 0.00444 cm ² /s	Cv= 0.00043 cm ² /s	Cv= 0.00032 cm ² /s		
					k= 1.57*10 ⁻⁹ m/s	k= 1.34*10 ⁻¹⁰ m/s	k= 8.17*10 ⁻¹¹ m/s		
S3_DH	CI1	3.5	4	L1	M= 1.25 MPa	M= 1.67 MPa	M= 2.43 MPa		
					Cv= 0.00442 cm ² /s	Cv= 0.00078 cm ² /s	Cv= 0.00061 cm ² /s		
					k= 3.46*10 ⁻⁹ m/s	k= 4.59*10 ⁻¹⁰ m/s	k= 2.46*10 ⁻¹⁰ m/s		

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**

Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 72 / 126

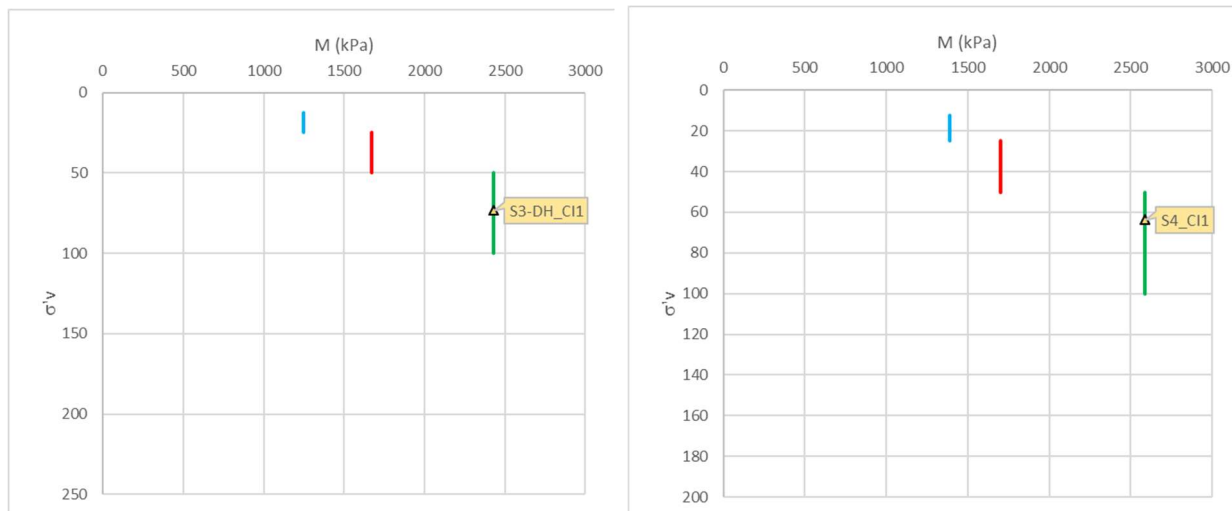


Figura 42. Risultati prove edometriche.

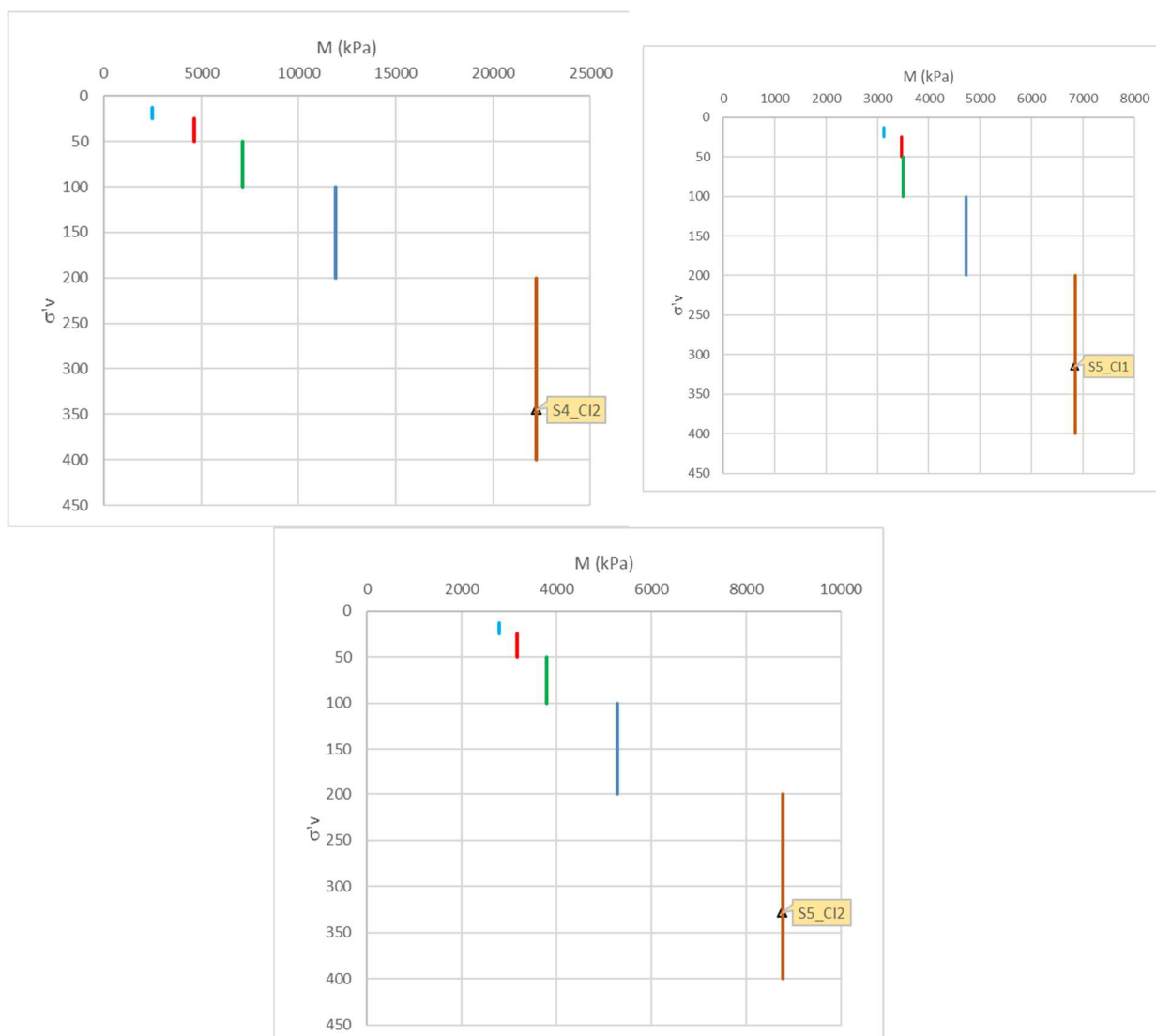


Figura 43. Risultati prove edometriche.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 73 / 126

2.5.4 Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu)

Le prove penetrometriche statiche consistono nell'infiiggere nel terreno la punta del penetrometro e misurare la resistenza che oppone il terreno alla penetrazione. È opportuno sottolineare che le prove penetrometriche, così come sono state eseguite, permettono di ottenere la resistenza di punta (q_c o R_p) e la resistenza laterale (q_s o R_l). Tramite i valori di q_c e q_s è possibile ricavare informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche meccaniche del terreno. I valori di resistenza alla punta q_c e di resistenza laterale q_s delle prove penetrometriche statiche CPT permettono di eseguire una interpretazione litologica puntuale ogni 1.0 cm.

Nel caso delle CPTu, la punta del penetrometro è munita di settore poroso e relativo trasduttore (piezocono) per misurare, oltre alla resistenza di punta (q_c o R_p) e alla resistenza laterale (q_s o R_l), anche la pressione nei pori (u).

Nei grafici seguenti sono riportati i valori di q_c in funzione della profondità misurati attraverso l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche con piezocono. Si riportano inoltre alcuni dei grafici interpretativi.

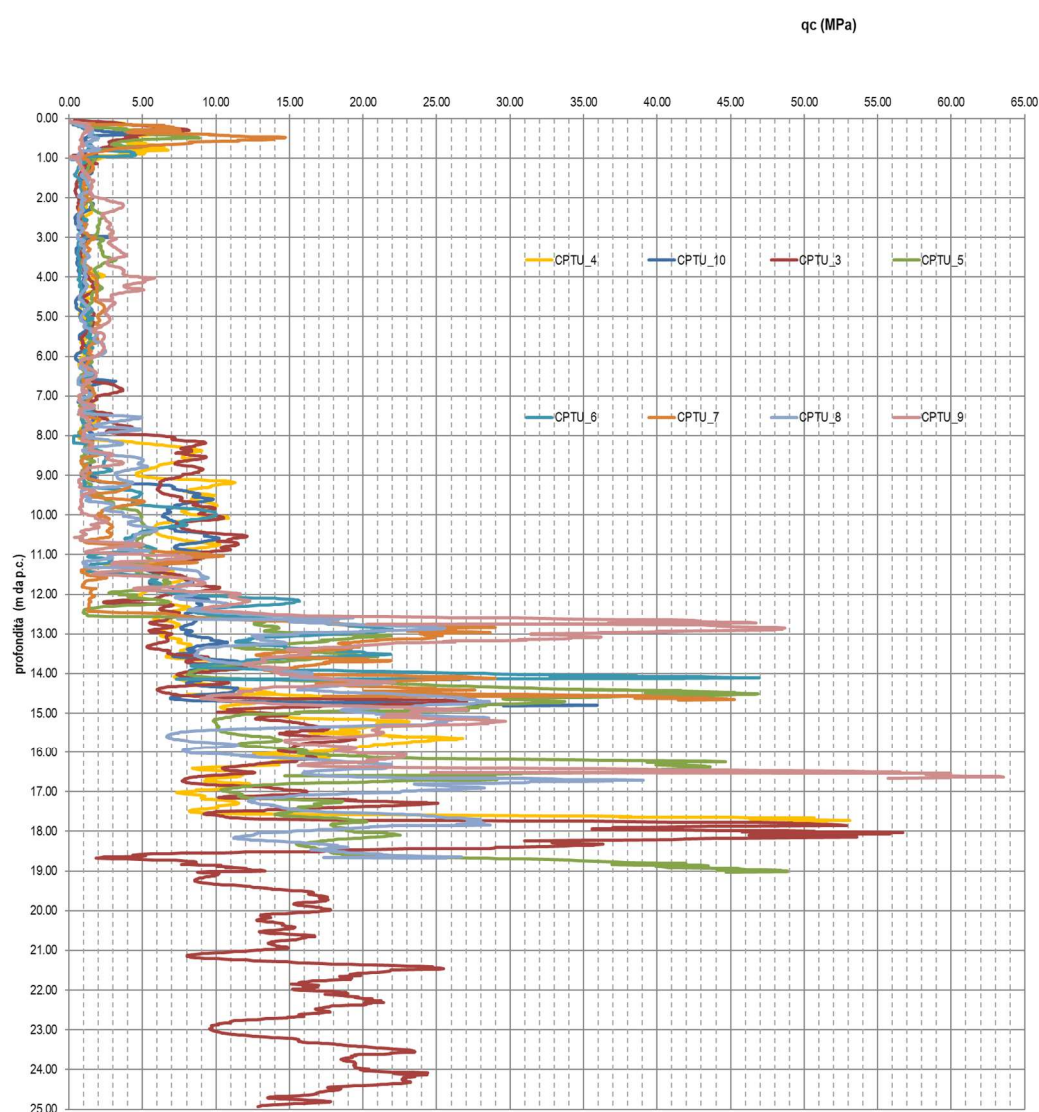
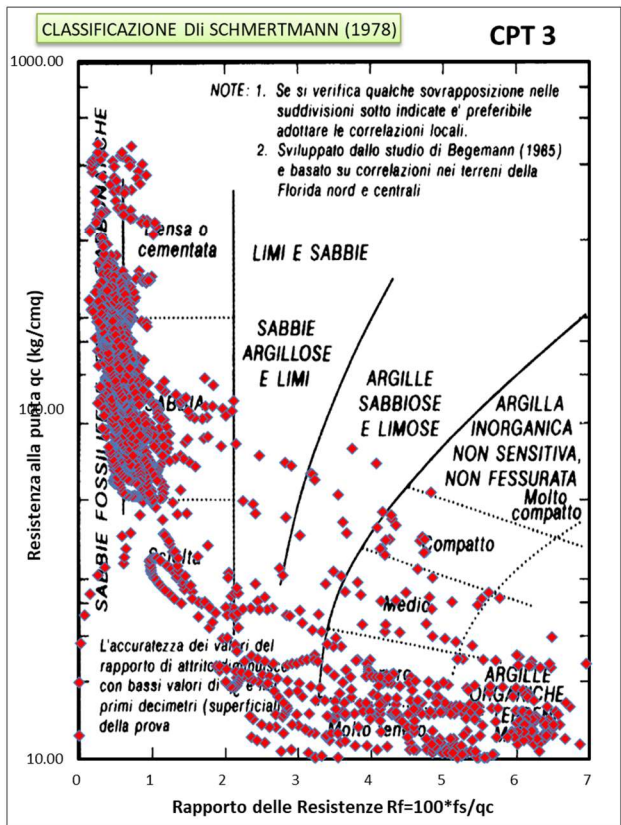
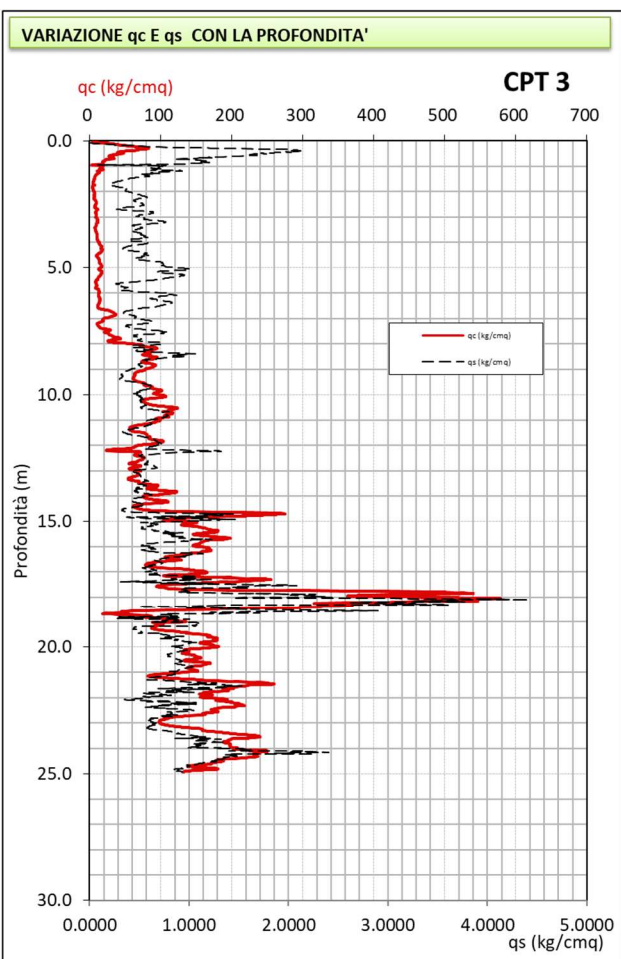


Figura 44. Grafici valori di q_c -profondità ottenuti dall'elaborazione delle prove CPTu.

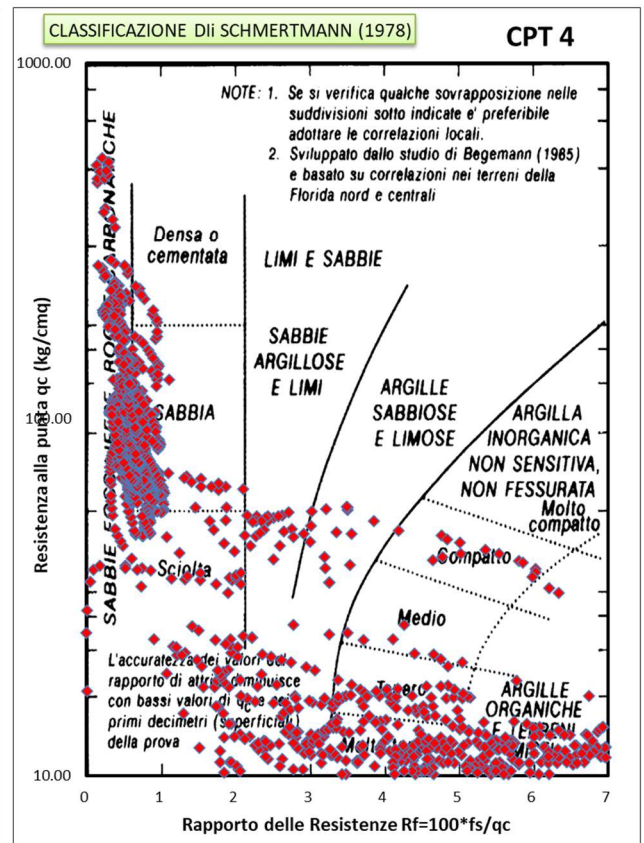
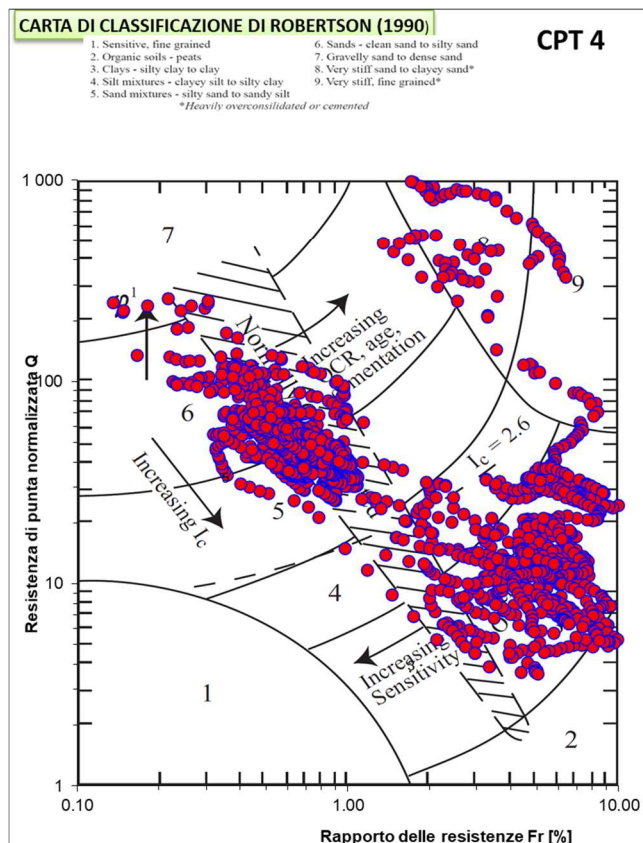
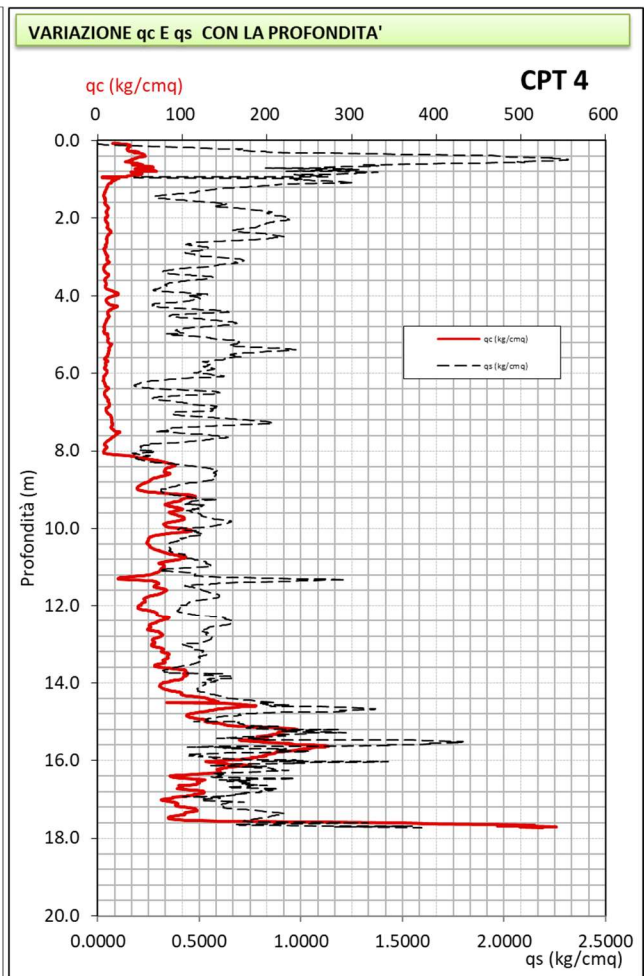
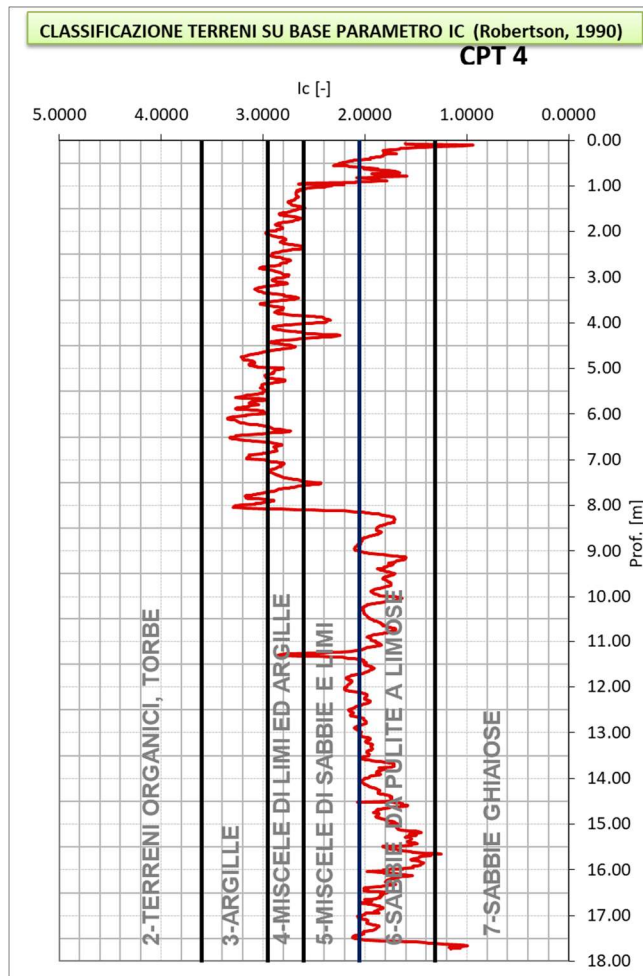


SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) - PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 75 / 126



SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

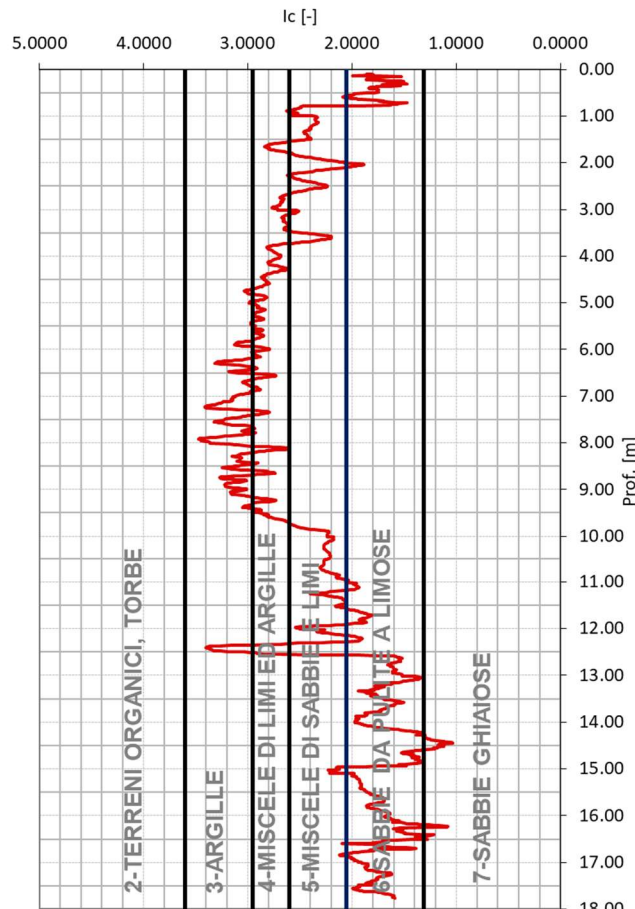
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 76 / 126

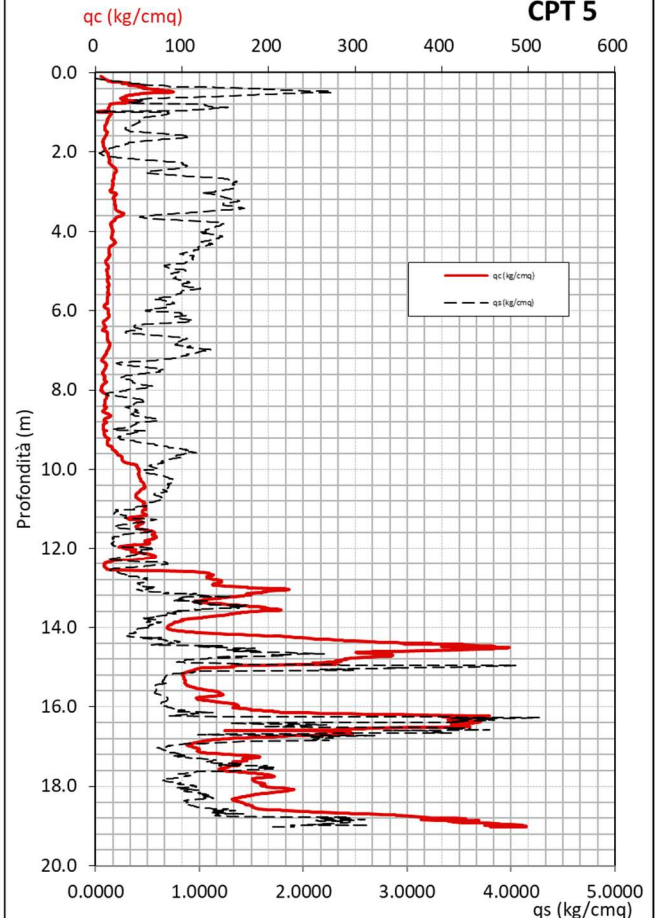
CLASSIFICAZIONE TERRENI SU BASE PARAMETRO IC (Robertson, 1990)

CPT 5



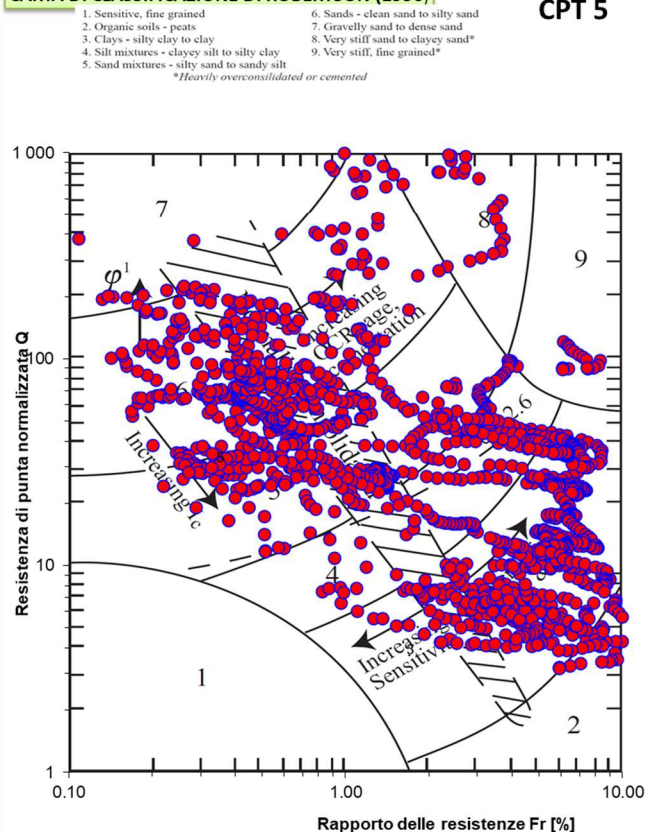
VARIAZIONE qc E qs CON LA PROFONDITA'

CPT 5



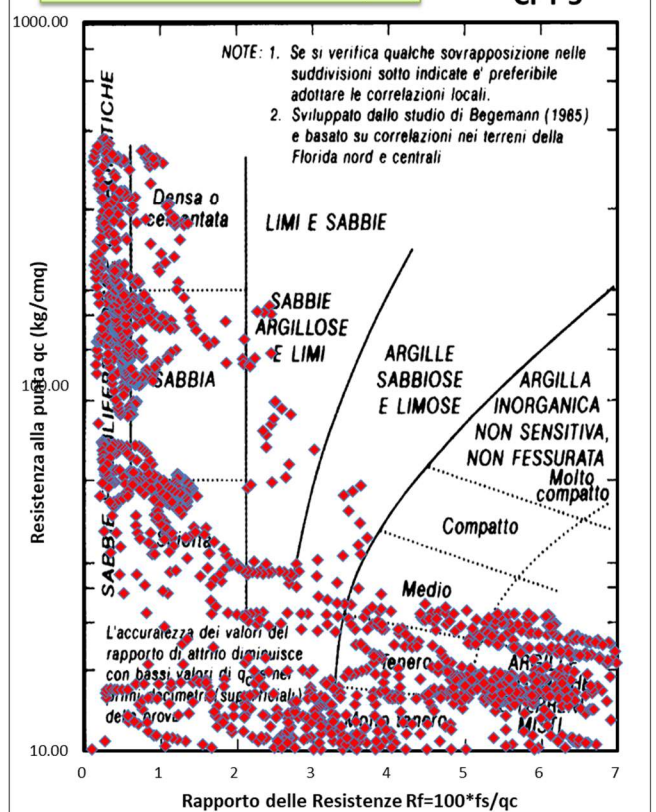
CARTA DI CLASSIFICAZIONE DI ROBERTSON (1990)

CPT 5



CLASSIFICAZIONE DI SCHMERTMANN (1978)

CPT 5



SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

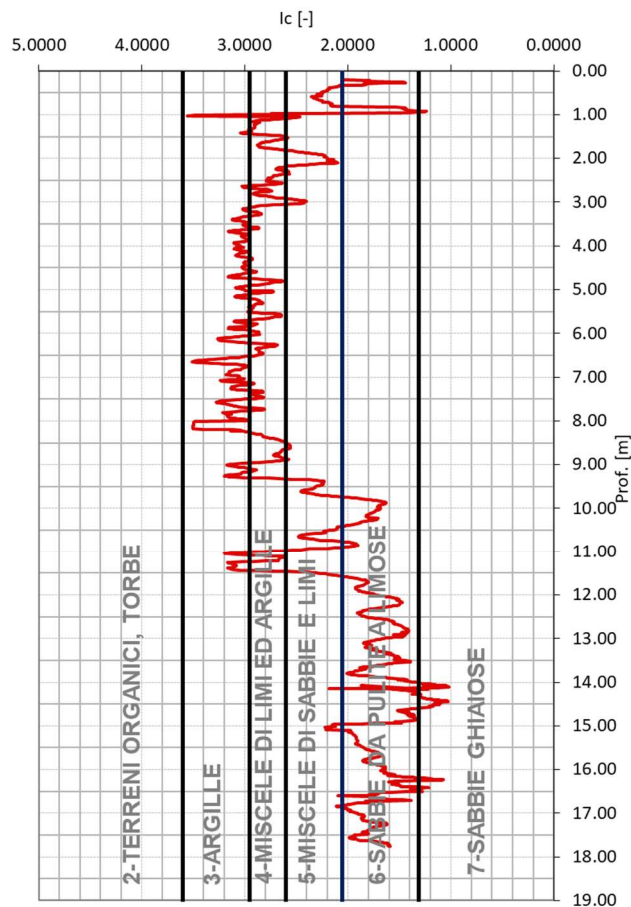
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

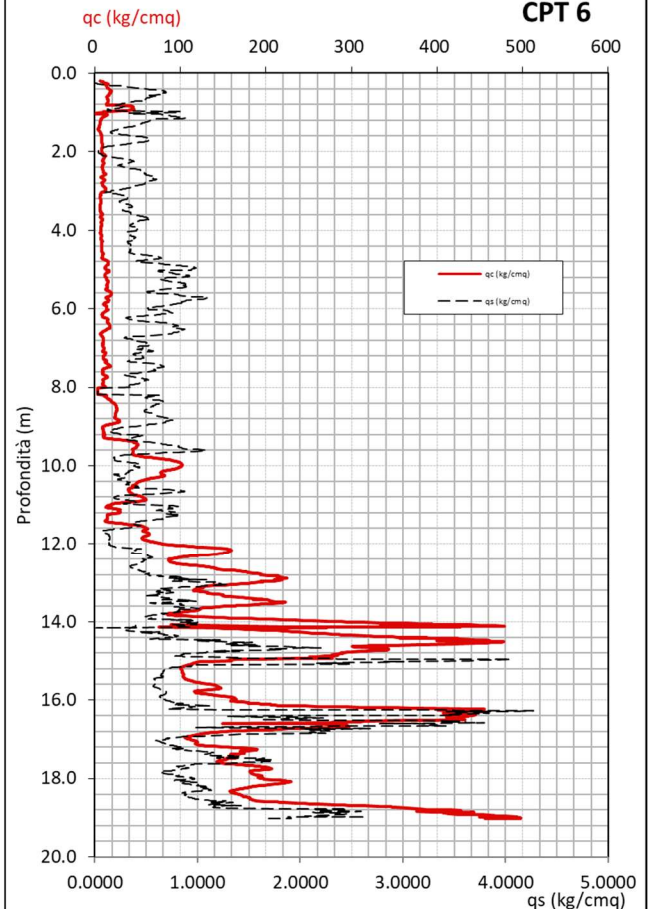
pag. 77 / 126

CLASSIFICAZIONE TERRENI SU BASE PARAMETRO I_c (Robertson, 1990)

CPT 6

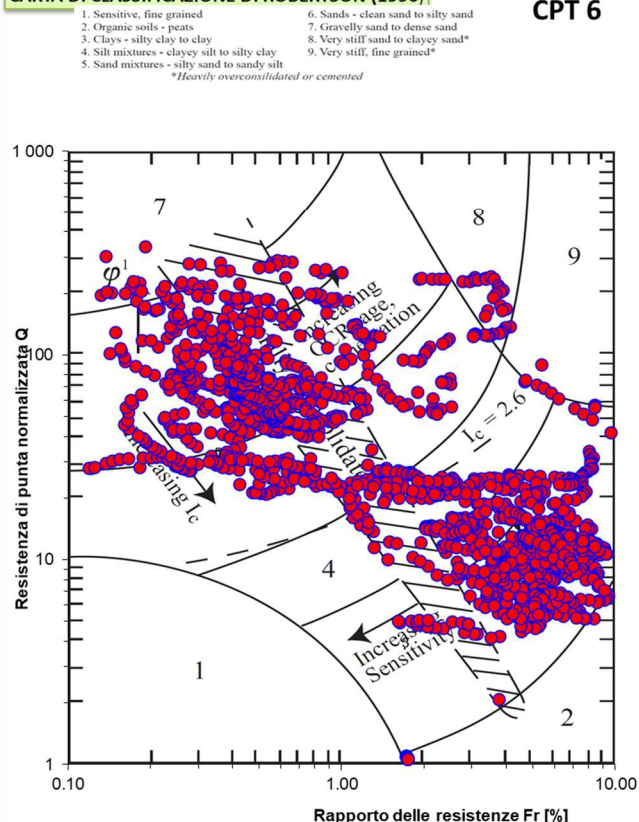
VARIAZIONE q_c E q_s CON LA PROFONDITA'

CPT 6



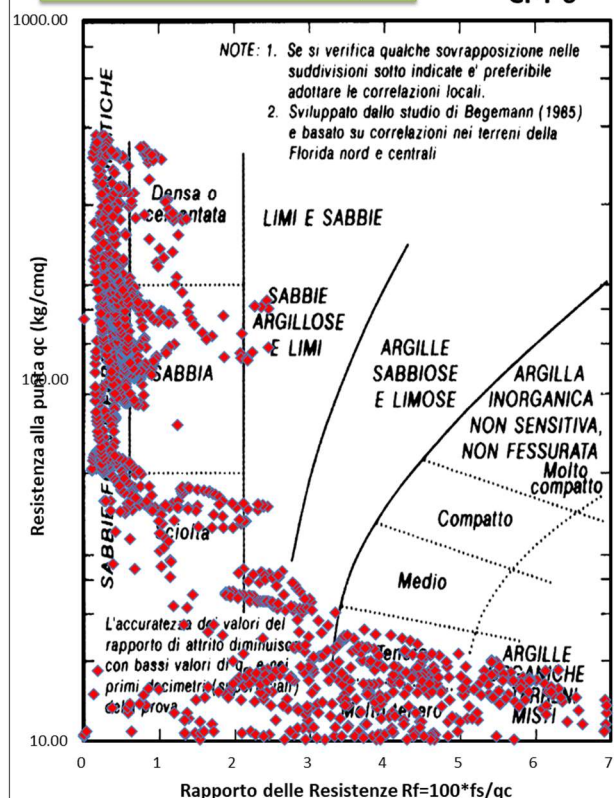
CARTA DI CLASSIFICAZIONE DI ROBERTSON (1990)

CPT 6



CLASSIFICAZIONE DI SCHMERTMANN (1978)

CPT 6



SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

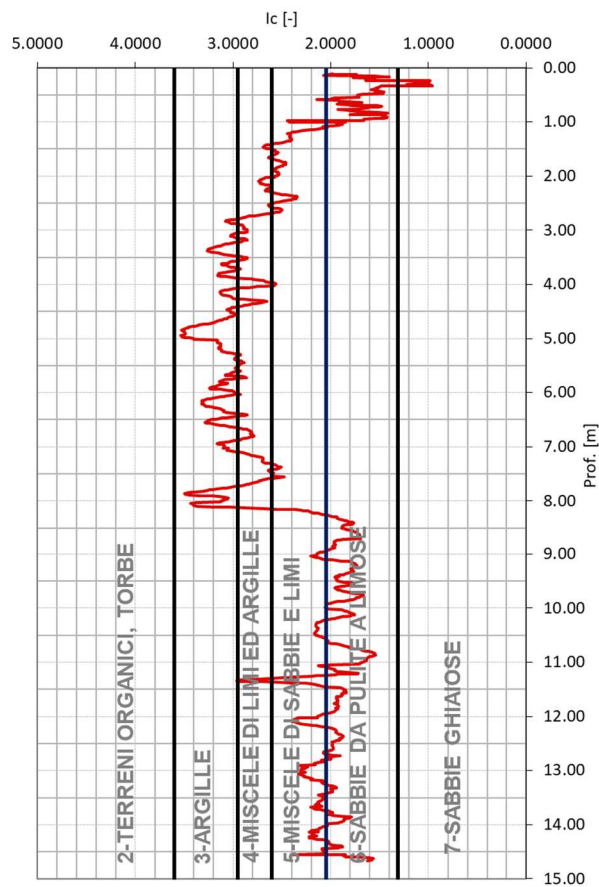
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 78 / 126

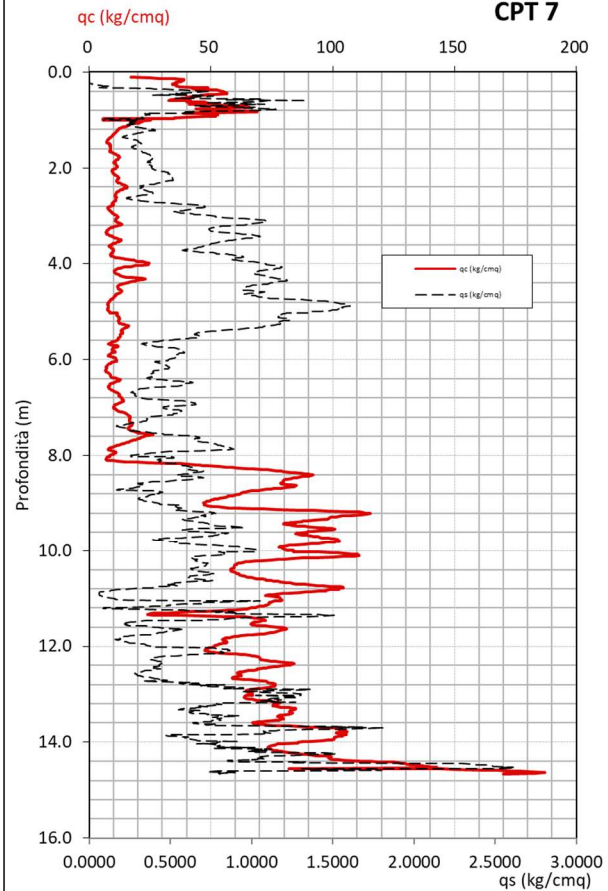
CLASSIFICAZIONE TERRENI SU BASE PARAMETRO IC (Robertson, 1990)

CPT 7



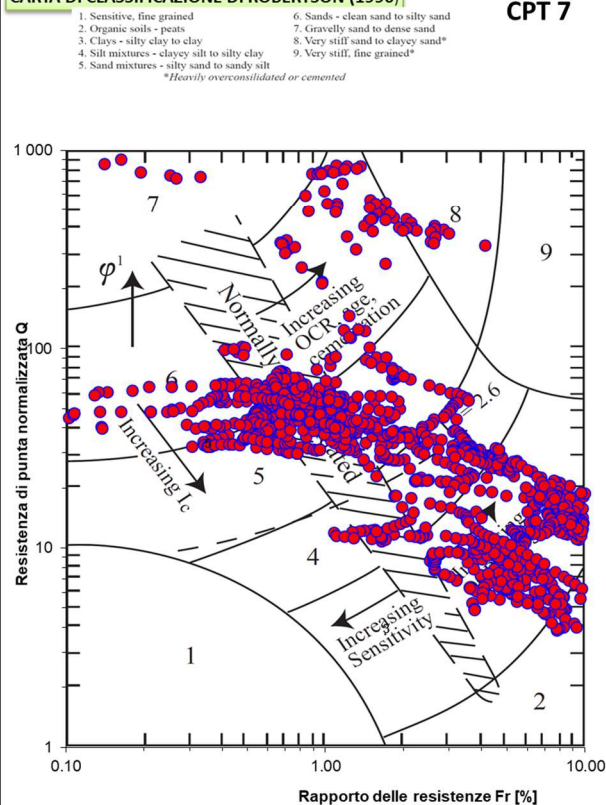
VARIAZIONE qc E qs CON LA PROFONDITA'

CPT 7



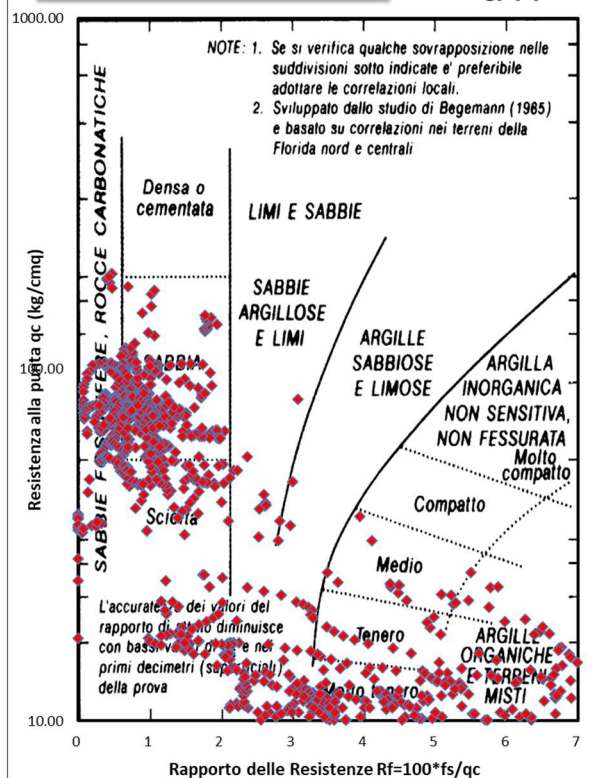
CARTA DI CLASSIFICAZIONE DI ROBERTSON (1990)

CPT 7



CLASSIFICAZIONE DI SCHMERTMANN (1978)

CPT 7

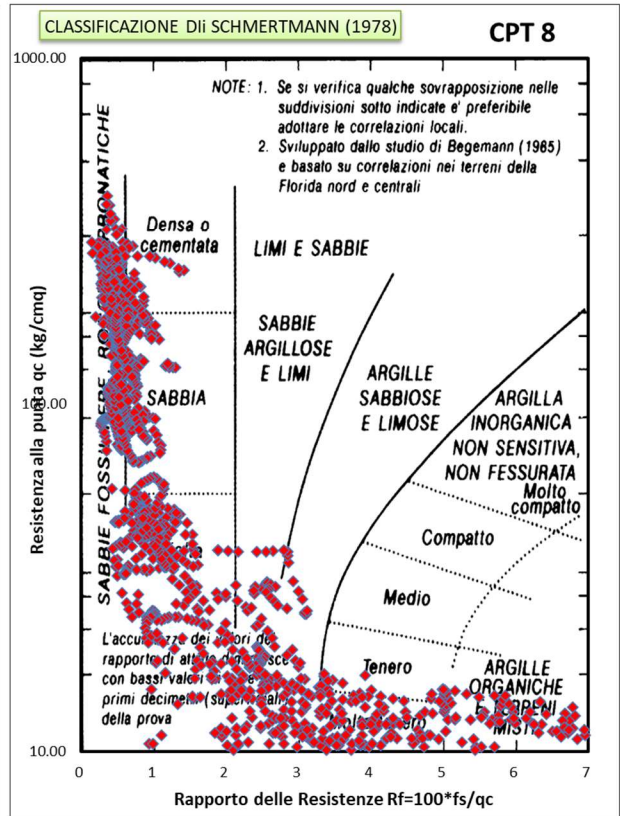
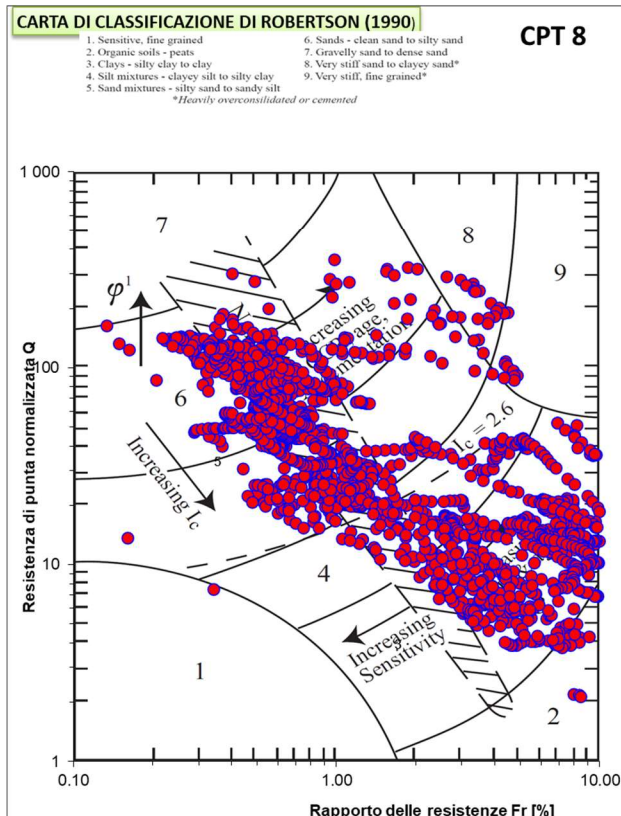
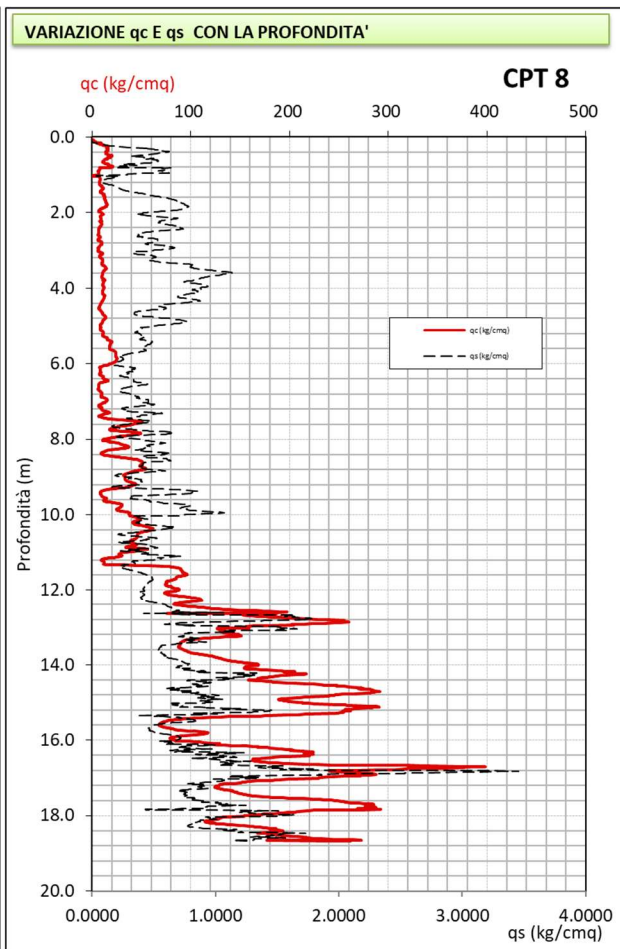
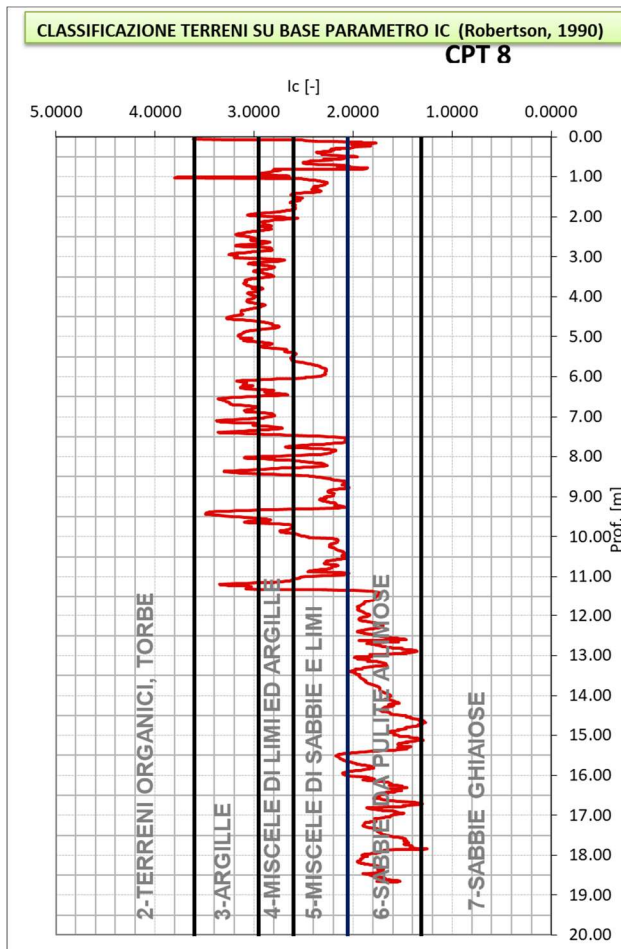


SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 79 / 126

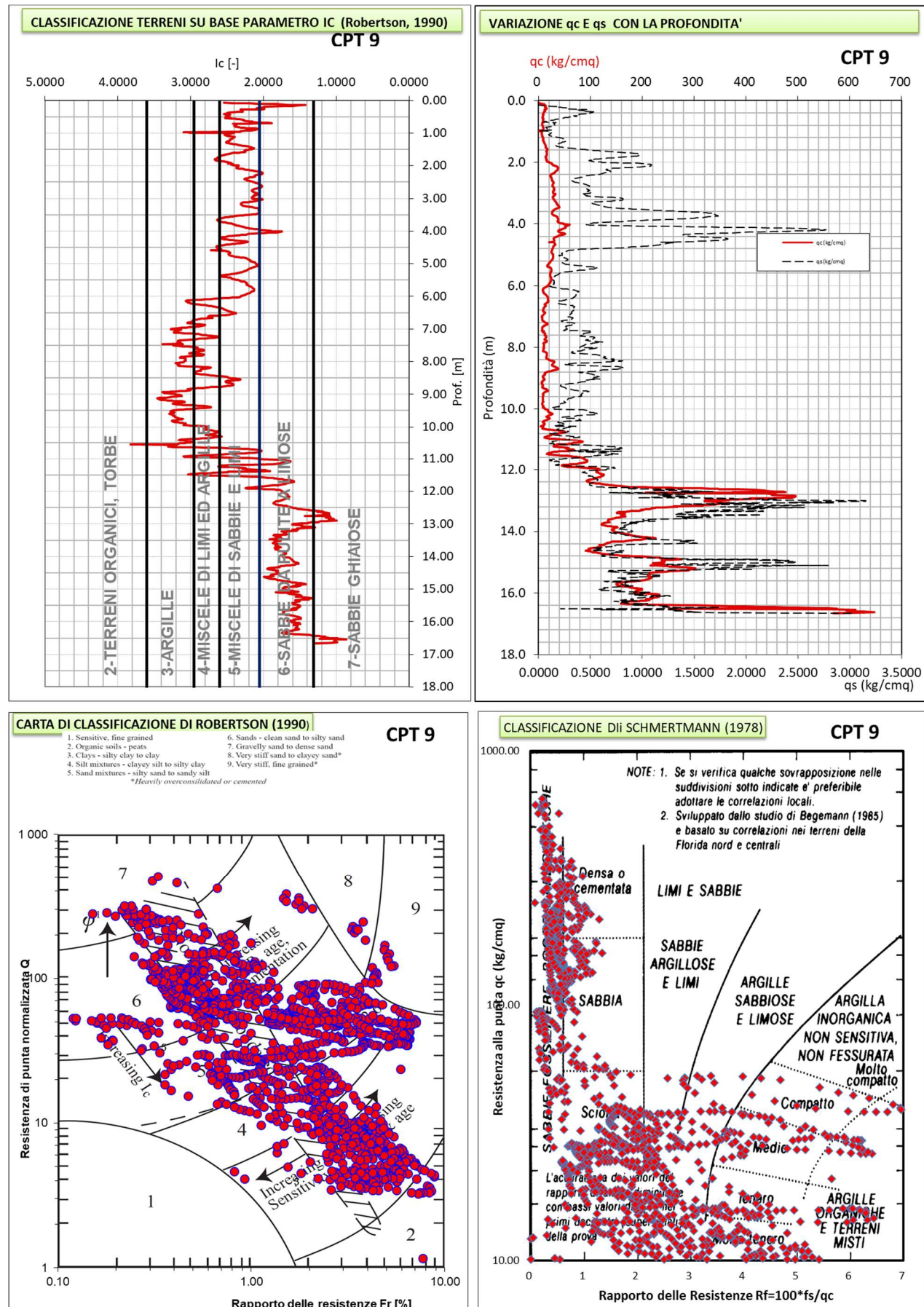


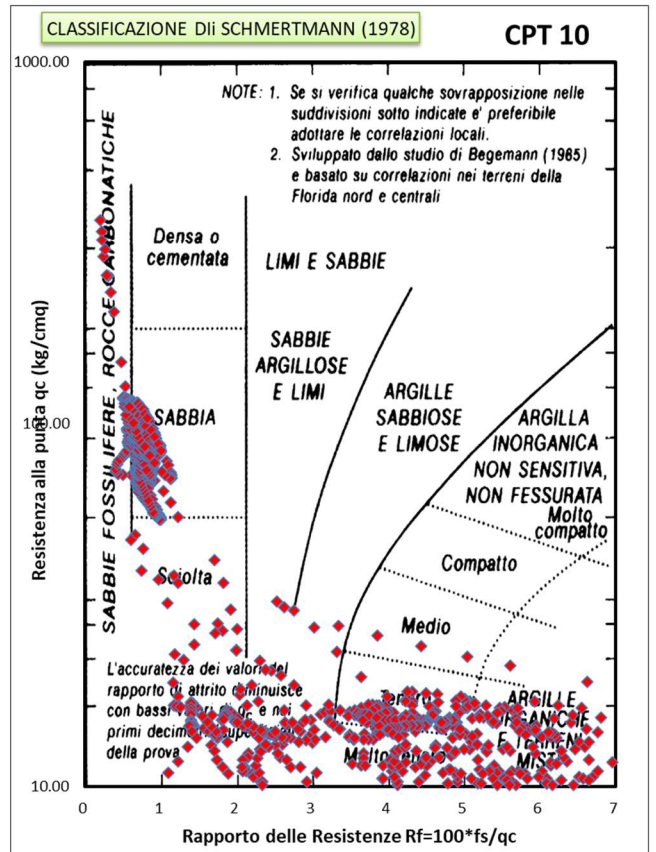
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 80 / 126





PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 82 / 126	

2.5.4.1 Le prove di dissipazione

La prova di dissipazione consiste nell'arresto della penetrazione del penetrometro tipo CPTu e nell'osservazione dell'evoluzione della pressione interstiziale (u) nel tempo (t); la velocità di dissipazione è funzione del coefficiente di consolidazione orizzontale (c_h) del terreno attorno alla punta, il quale a sua volta è funzione della compressibilità e della permeabilità del terreno. I dati vengono registrati automaticamente e la durata è normalmente spinta fino al raggiungimento di almeno il 50% della dissipazione.

Sono state proposte numerose soluzioni teoriche per la valutazione di c_h , in particolare di seguito si propongono i dati ottenuti tramite l'elaborazione delle prove con i metodi di Houlsby & Teh (1988)⁴.

L'elaborazione è stata eseguita plottando il valore di u in funzione della radice quadra del tempo, come proposto da Robertson & Campanella (1989)⁵, ottenendo un valore di t_{50} ovvero il tempo necessario per ottenere il 50% della dissipazione. Il valore del coefficiente di consolidazione c_h è stato quindi calcolato con la formula di Houlsby & Teh (1988):

$$c_h = \frac{T \times r^2 \times I_r^{0.5}}{t_{50}}$$

dove T = fattore di tempo fornito dalla teoria di Houlsby & Teh (1988), r = raggio del piezocono, I_r = indice di rigidità (G/C_u), t_{50} = tempo necessario per ottenere il 50% della dissipazione.

La dissipazione della pressione interstiziale durante la prova di dissipazione è controllata dal coefficiente di consolidazione nella direzione orizzontale (c_h) che è influenzata dalla combinazione della permeabilità del terreno (K_h) e dalla compressibilità (M) secondo la formula seguente:

$$k_h = c_h \times \gamma_w / M$$

dove M è il modulo edometrico e γ_w è la densità dell'acqua.

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state effettuate prove di dissipazione. Di seguito si riporta in esempio l'elaborazione della prova di dissipazione a – 14.8 m da p.c. nella prova CPTu3. Nella tabella seguente sono riportate le informazioni specifiche ed i risultati di ogni singola prova eseguita lungo una verticale CPTu (Report completo presente nell'elaborato PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.3. Report indagini)

4 Houlsby G.T. & Teh C.I. (1988): "Analysis of the piezocone in clay" Proceeding, International Symposium on Penetration testing, J.D. Ruiter (ed), AA Balkema. Rotterdam, The Netherlands, Vol.1, pp. 777-783.

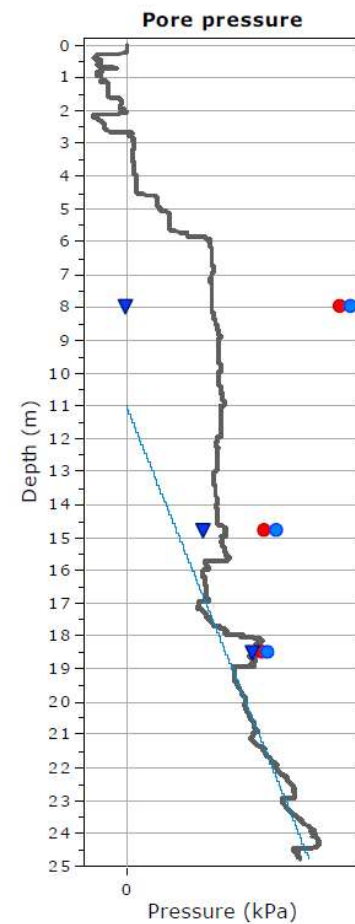
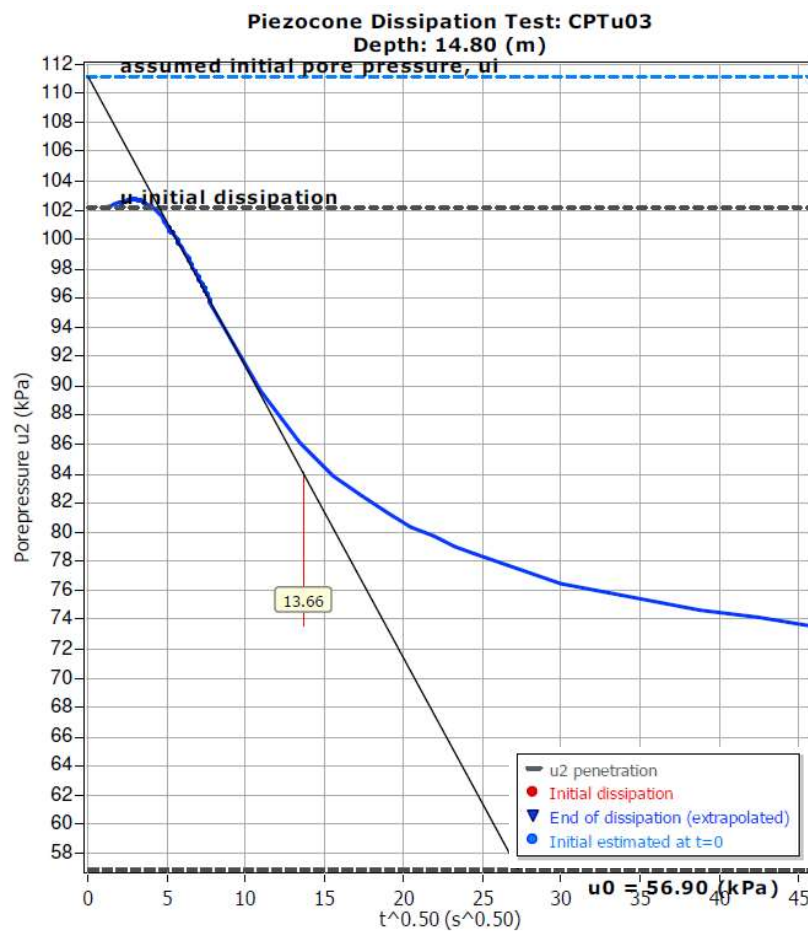
5 Robertson, P.K. and Campanella, R.G. (1989) Guidelines for Geotechnical Design using CPT and CPTU, Soil Mechanics Series No. 120, Civil Eng. Dept., Univ. of British Columbia, Vancouver, B.C., V6T 1Z4, Sept 1989.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 83 / 126



<u>CPTu3</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu03	8.00	27.4	750	2.38E-005	100.00	1.05E-006	33	48.07	2.14E-010
	CPTu03	14.80	13.7	187	5.92E-006	100.00	4.21E-006	133	160.97	2.56E-010
	CPTu03	18.50	4.3	18	5.84E-007	100.00	4.26E-005	1345	135.47	3.09E-009
<u>CPTu4</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu04	7.50	26.4	699	2.22E-005	382.38	2.20E-006	69	16.87	1.28E-009
	CPTu04	14.50	10.1	102	3.23E-006	100.00	7.71E-006	243	91.71	8.25E-010
	CPTu04	17.73	0.2	0	1.01E-009	100.00	2.46E-002	776900	187.62	1.29E-006
<u>CPTu5</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu05	8.99	10.2	104	3.31E-006	911.50	2.27E-005	716	3.60	6.20E-008
	CPTu05	16.59	4.9	24	7.52E-007	100.00	3.31E-005	1044	172.41	1.88E-009
	CPTu05	19.00	3.2	10	3.32E-007	100.00	7.50E-005	2366	210.92	3.49E-009
<u>CPTu6</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu06	8.00	27.4	752	2.39E-005	782.92	2.92E-006	92	4.08	7.02E-009
	CPTu06	10.50	9.4	88	2.78E-006	100.00	8.96E-006	283	34.00	2.59E-009
	CPTu06	14.13	1.4	2	6.34E-008	100.00	3.92E-004	12375	134.19	2.87E-008
<u>CPTu7</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu07	8.72	7.2	52	1.66E-006	786.67	4.22E-005	1330	5.40	7.66E-008
	CPTu07	12.00	9.1	83	2.63E-006	773.25	2.63E-005	829	11.21	2.30E-008
	CPTu07	14.55	3.1	10	3.02E-007	100.00	8.25E-005	2602	145.71	5.56E-009
<u>CPTu8</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu08	12.61	6.2	39	1.22E-006	100.00	2.03E-005	641	146.07	1.37E-009
	CPTu08	14.40	4.7	22	7.01E-007	100.00	3.55E-005	1120	127.90	2.72E-009
	CPTu08	18.65	2.5	6	1.91E-007	100.00	1.30E-004	4105	155.87	8.19E-009
<u>CPTu9</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu09	10.55	2.6	7	2.16E-007	1062.72	3.75E-004	11825	1.45	2.53E-006
	CPTu09	12.74	7.6	57	1.82E-006	100.00	1.37E-005	432	156.44	8.58E-010
	CPTu09	16.50	3.3	11	3.49E-007	100.00	7.12E-005	2246	186.41	3.75E-009
<u>CPTu10</u>	CPTU Borehole	Depth (m)	(t₅₀)^{0.50}	t₅₀ (s)	t₅₀ (years)	G/S_u	c_h (n²/s)	c_h (n²/year)	M (MPa)	k_h (m/s)
	CPTu10	8.00	27.5	756	2.40E-005	678.52	2.71E-006	85	11.19	2.37E-009
	CPTu10	14.00	5.3	28	8.95E-007	100.00	2.78E-005	877	66.27	4.12E-009
	CPTu10	14.95	5.2	27	8.68E-007	100.00	2.87E-005	904	141.63	1.99E-009

Figura 45. Sintesi elaborazione prove di dissipazione eseguite in corrispondenza delle verticali CPTu.

Per la stima dei valori di permeabilità di ciascun livello individuato in corrispondenza dell'area e attraversato dalle prove geognostiche eseguite si rimanda al paragrafo 4.1.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 85 / 126

2.5.5 Prova sismica Down Hole

La prova Down Hole è stata eseguita nel foro di sondaggio S3-DH su tutta la profondità del foro pari a 45 m da piano campagna.

Lo scopo della prova sismica consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di volume, di compressione (onde P) e di taglio (S), misurando il tempo che esse impiegano nel tragitto tra la sorgente, posta in superficie, e i ricevitori, posti all'interno di fori di sondaggio, considerando nota la distanza sorgente-ricevitori.

Le modalità di esecuzione della prova sono state le seguenti:

- posizionamento e bloccaggio del ricevitore (in foro) a fondo foro;
- generazione dell'impulso da superficie (con eventuale somma di più impulsi) su piastra di battuta e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione;
- generazione dell'impulso da superficie (con eventuale somma di più impulsi) su blocco per la generazione di impulsi di taglio e registrazione dei tempi di arrivo delle onde di taglio;
- ripetizione delle medesime operazioni con posizione del doppio geofono da foro in risalita per ogni mezzo metro di profondità.

L'analisi dei dati sismici provenienti da una prova Down-Hole consiste nel diagrammare i tempi di tragitto t misurati lungo il percorso sorgente-ricevitore in funzione della profondità z . Le procedure di interpretazione della prova sismica possono essere ricondotte a due tipologie principali di metodo: metodo diretto e metodo intervallo.

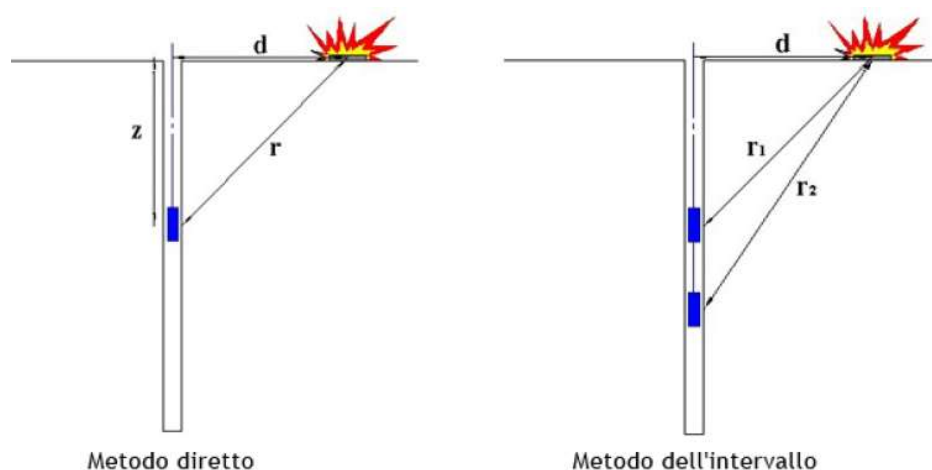


Figura 32. Metodi di interpretazione della prova sismica Down Hole.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 86 / 126



Figura 32. Esecuzione prova sismica Down Hole.

I dati ottenuti sono di seguito riportati.

Profondità (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
1	514	202
2	865	205
3	772	232
4	873	240
5	976	244
6	984	328
7	1110	329
8	1224	325
9	1241	337
10	1243	331
11	1214	356
12	1277	383
13	1246	356
14	1247	352
15	1348	388
16	1313	416
17	1426	399
18	1349	395
19	1314	389
20	1372	416
21	1486	434
22	1368	454
23	1332	416

Profondità (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
24	1388	384
25	1427	400
26	1469	416
27	1470	476
28	1561	500
29	1666	526
30	1428	500
31	1448	555
32	1639	588
33	1136	526
34	1219	613
35	1249	637
36	1250	625
37	909	454
38	862	588
39	1191	476
40	1428	714
41	1428	769
42	1250	833
43	1428	909
44	1666	1111
45	1851	1052

Figura 46. Variazione dei valori di velocità Vs e Vp con la profondità, ottenuti dalla prova sismica Down Hole eseguita in foro di sondaggio S3-DH.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 87 / 126

Il valore di V_{s30} ottenuto dalla prova Down Hole calcolato è risultato pari a **349 m/s** (sommità arginale).

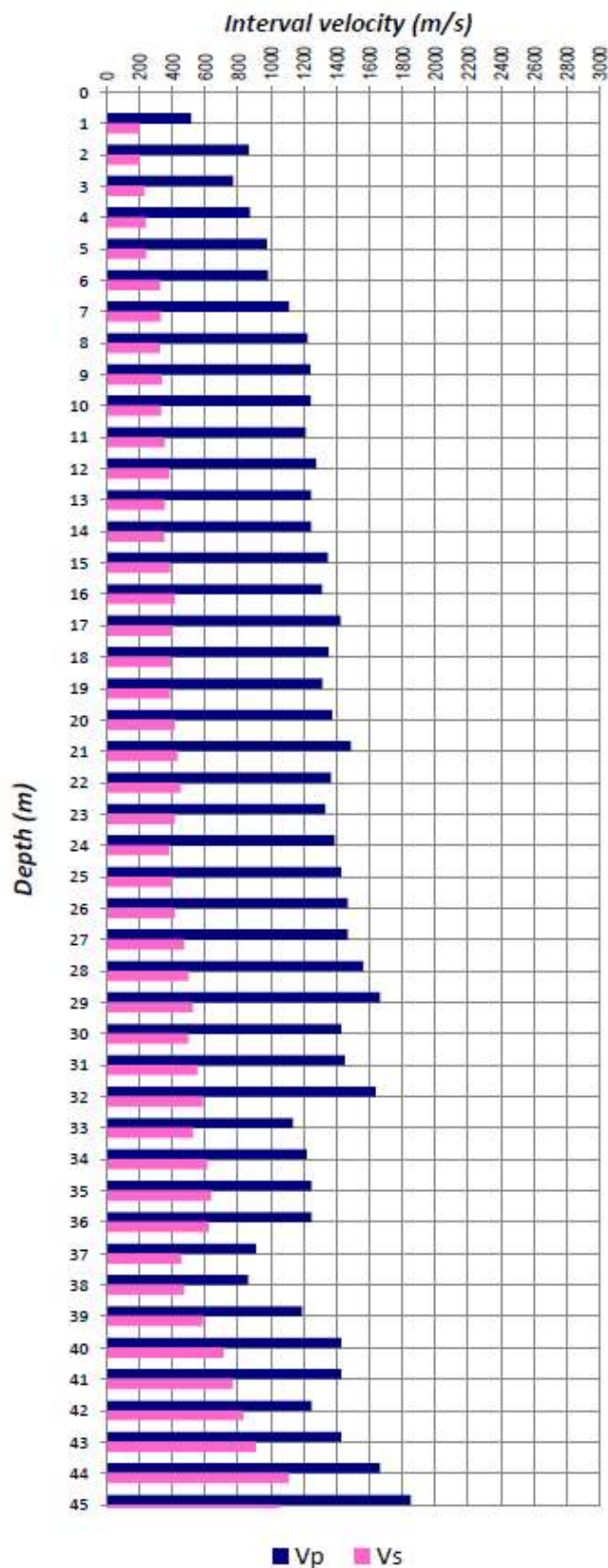


Figura 47. Grafico variazione dei valori di velocità Vs (in rosa) e Vp (in blu) delle onde di superficie con la profondità, ottenuti dalla prova sismica Down Hole eseguita in foro di sondaggio S3-DH.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 88 / 126

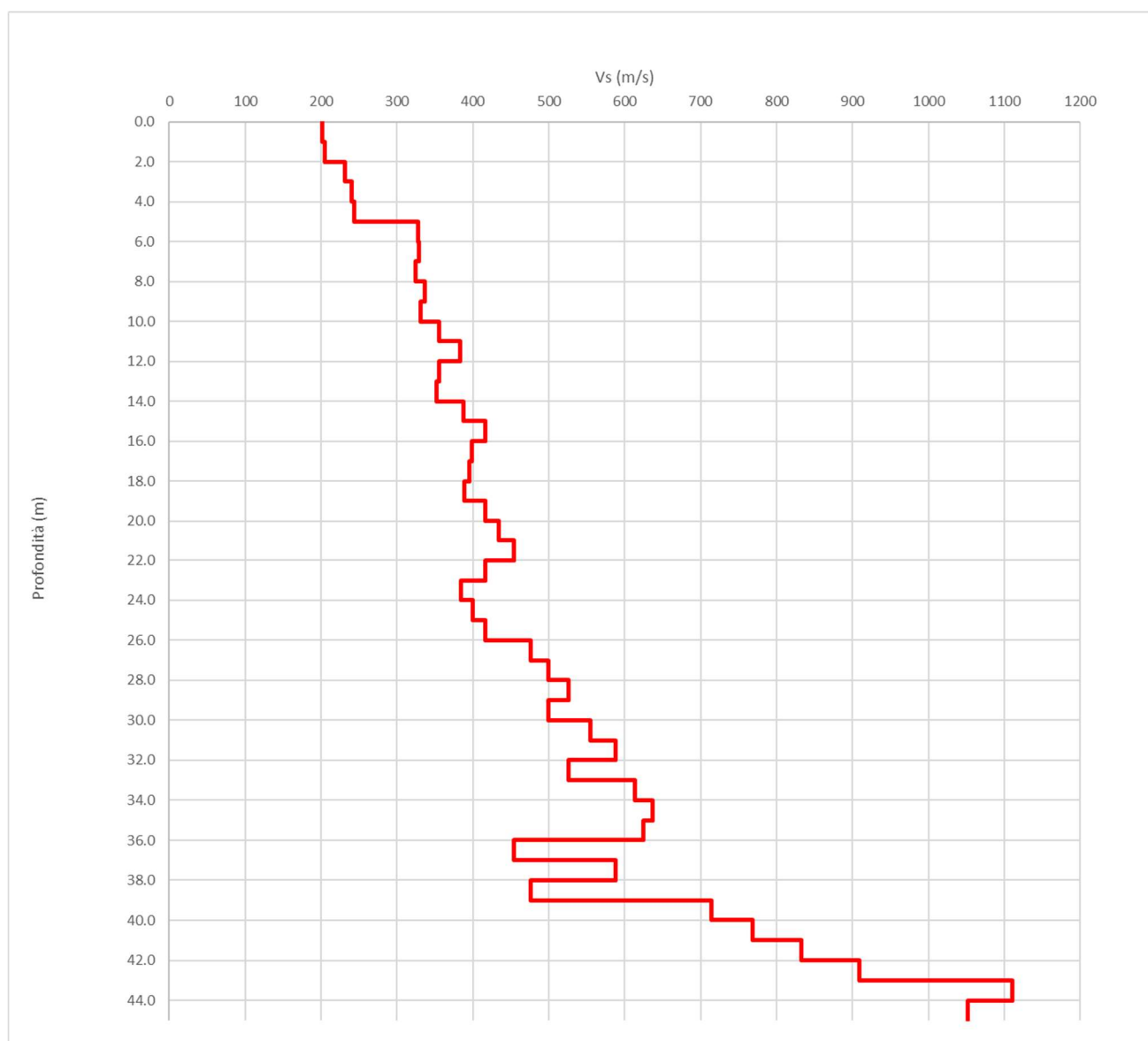


Figura 48. Variazione dei valori di velocità V_s con la profondità, ottenuti dalla prova sismica Down Hole eseguita in foro di sondaggio S3-DH.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURECodice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 89 / 126

2.5.6 Prova sismica MASW

La tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) utilizza le onde sismiche di superficie generate con sorgente meccanica (tipicamente massa battente) al fine di determinare un modello del sottosuolo della velocità delle onde di taglio (S). Questa tipologia d'indagine analizza la dispersione delle onde di superficie e si basa sul principio che le varie componenti (frequenze) del segnale sismico che si propaga, viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente velocità di fase più elevate.

Tradizionalmente le MASW sono effettuate tramite analisi delle onde di Rayleigh, che vengono registrate tramite geofoni a componente verticale e utilizzando una sorgente ad impatto verticale (massa battente). Le onde di Rayleigh costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P) e di taglio verticali (Sv). In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo, e vengono definite pseudo-Rayleigh.

L'analisi spettrale delle onde di superficie è stata eseguita mediante energizzazione del terreno dalla superficie con registrazione delle onde di superficie (di tipo Rayleigh) in corrispondenza di un allineamento di n. 24 geofoni equispaziati di 2 m.



Figura 49. Ubicazione indagine MASW – G1

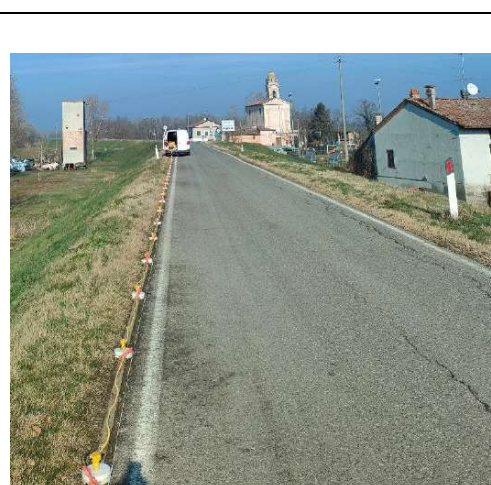


Figura 50. Stendimento sismico MASW

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

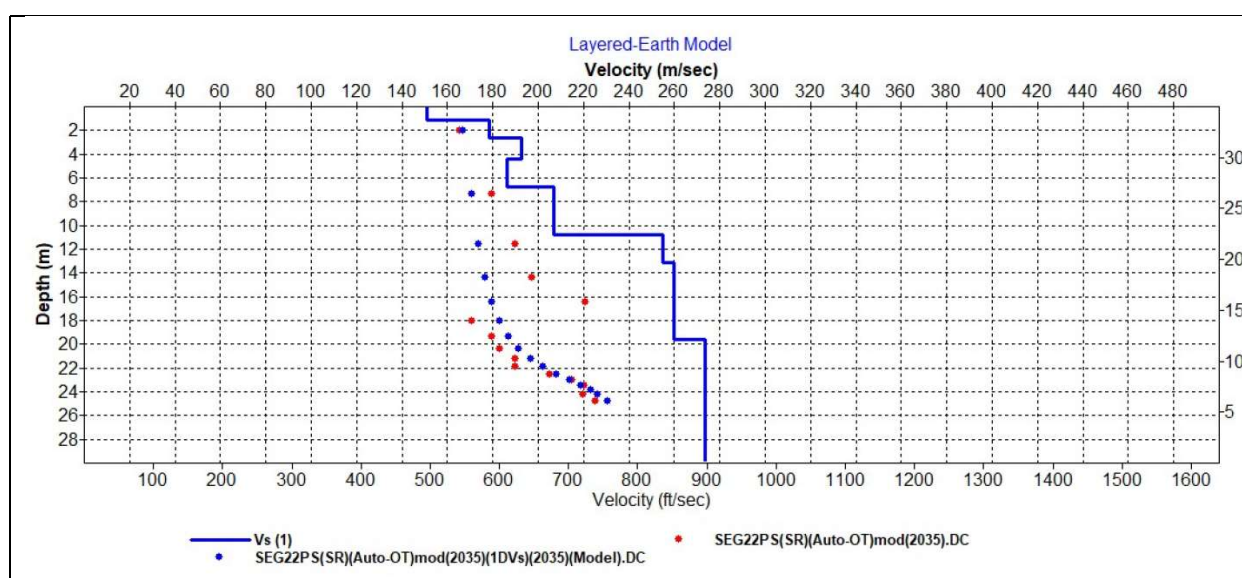
Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 90 / 126

Sismostrati	Profondità(m)	Spessore(m)	Vs(m/s)	Vp(m/s)	Poisson	Density
1	1.2	1.2	151	605	0.47	1.75
2	2.6	1.5	178	715	0.47	1.75
3	4.4	1.8	193	772	0.47	1.75
4	6.7	2.3	186	747	0.47	1.75
5	10.8	4.1	207	828	0.47	1.75
6	13.1	2.3	255	763	0.44	2.00
7	19.6	6.5	260	778	0.44	2.00
8	30.0	10.4	274	819	0.44	2.00

ID	V _{seq} (m/s)	TIPOLOGIA DI TERRENO
MASW01	232	C

Figura 51. Sismostrati e valore di Vs₃₀ da indagine MASW – G1.Figura 52. Variazione di Vs₃₀ con la profondità da indagine MASW – G1.

Il valore di Vs₃₀ ottenuto dalla prova MASW calcolato in sommità arginale è risultato pari **232 m/s** (calcolato al piano campagna/base argine il valore di Vs₃₀ risulta pari a 288 m/s).

La prova sismica MASW G1 ha permesso di individuare terreni con valori di Vs crescenti con la profondità in un range compreso tra 150 e 270 m/s.

In particolare la prova MASW G1 individua bene il salto tra due sismostrati a circa 10 m di profondità da sommità arginale (passaggio tra 200 e 260 m/s), procedendo poi con una certa uniformità fino alla massima profondità indagate.

2.5.7 Prova sismica MASW 2D

Il rilievo sismico è stato eseguito con n. 24 geofoni in modalità streamer con interdistanza pari ad 2 m e con le posizioni di energizzazione ad una estremità con offset pari a 4 m. L'array è stato spostato di 4 m lungo il profilo da acquisire con ripetizione dell'array fino a fine tratta. Di seguito si riporta lo schema di esempio della geometria di acquisizione della Masw 2D.

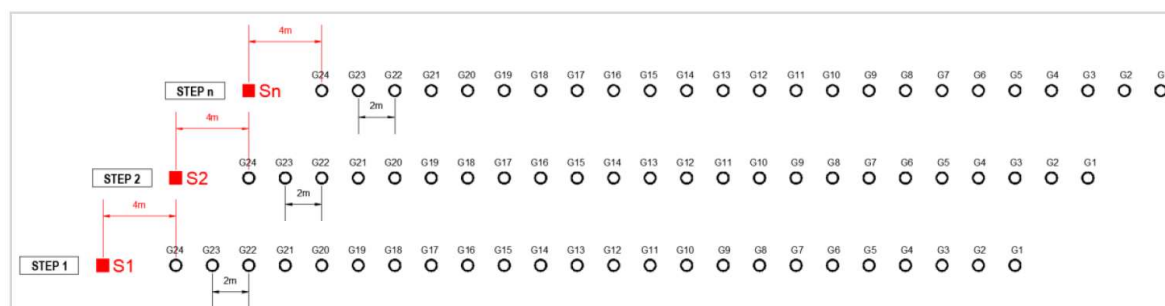


Figura 53. Geometria di acquisizione Masw 2D con l'utilizzo dello streamer a 24 canali.

Sono stati effettuati due stendimenti L1 ed L2 di lunghezza rispettivamente 480 m e 240 m.

Stendimento	Lunghezza
L1	480
L2	240
TOT	720

Per l'ubicazione degli stendimenti Masw 2D si rimanda all'elaborato PE.0.1.6.GET.GE.P.L.0.0.1.

La metodologia MASW 2D ha previsto tre step di elaborazione mediante l'utilizzo del software di elaborazione ParkSEIS della Park Seismic LLC. L'impiego di un modello di calcolo che utilizzi nel dominio continuo le curve di dispersione permette la costruzione di un modello 2D del valore di velocità Vs.

La restituzione dei risultati prevede la creazione di una sezione 2D in Vs su mappa continua in scala di colore. Di seguito si elencano gli step di elaborazione effettuati:

- elaborazione della curva di dispersione che rappresenta la velocità delle onde di superficie (Vs) delle diverse frequenze presenti nel record sismico acquisito (passaggio dal dominio tempo-spazio al dominio frequenza-numero d'onda);
- per ogni record sismico acquisito si ricava tramite inversione la curva di dispersione, un profilo verticale di velocità delle onde S che fornisce informazioni sulla distribuzione in profondità delle proprietà meccaniche della zona indagata (1D).
- dai modelli 1D ottenuti per tutti i record sismici, si ricava un modello 2D della distribuzione delle Vs lungo gli stendimenti. Il modello è il risultato delle informazioni (curve di dispersione e profili 1D) di tutta l'acquisizione effettuata sui singoli profili così da ottenere un modello in continuo della distribuzione delle Vs.

I dati delle matrici di Vs sono rappresentati in contouring 2D (con opportuna scala colore) mediante il software Surfer 13.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica
pag. 92 / 126	

Nel report riportato nell'elaborato PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.3 sono visualizzabili i profili ricostruiti attraverso gli stendimenti MASW 2D

Gli stendimenti di sismica MASW 2D lungo il profilo dell'area in esame hanno permesso di riconoscere una certa omogeneità laterale in termini di Vs registrate per i primi 20 m da sommità arginale; sono riconoscibili, attraverso anche i risultati delle prove geognostiche come sondaggi e CPTu strati sub orizzontali, a basso angolo di pendenza.

2.5.8 Tomografia elettrica 2D

Le indagini geoelettriche costituiscono un metodo geofisico che permette di ricostruire la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo.

La grandezza che viene comunemente misurata è la resistività elettrica, ma possono essere misurati altri parametri quali il potenziale spontaneo e la polarizzazione indotta.

Il principio sul quale si basa questa metodologia è così schematizzabile: una corrente viene immessa nel mezzo attraverso una coppia di elettrodi AB (dipolo di immissione) e la differenza di potenziale risultante viene misurata attraverso un'altra coppia di elettrodi MN (dipolo di ricezione). Un voltmetro consente la misura della differenza di potenziale.

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n. 3 profili di rilievo eseguiti con metodologia di acquisizione in tomografia elettrica con inter-distanza elettrodica di 2 m. Nella tabella che segue si riassumono le lunghezze di ciascun stendimento eseguito.

<i>Stendimento</i>	<i>Lunghezza</i>
L1	480
L2	240
T1	160
TOT	880

Il profilo di rilievo T1 è rappresentato dalla sezione trasversale al profilo L1 in corrispondenza di una zona segnalata come interessata da fontanazzi.

Per l'ubicazione degli stendimenti di tomografia elettrica si rimanda all'elaborato PE.0.1.6.GET.GE.P.L.0.0.1.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica
pag. 93 / 126	

Come riportato nel Profilo geologico (elaborati PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.1 e PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.3) gli stendimenti di geoelettrica eseguiti nell'area in esame hanno permesso di individuare bene lo spessore dell'argine, dove si concentrano valori di resistività medio bassi (40-70 ohm*m) e si è in una condizione di presenza di terreno insaturo (la falda si trova, per quasi tutto il profilo in esame, a profondità maggiori della base arginale). I primi livelli al di sotto dell'argine presentano resistività più basse (<50/40 ohm*m), si passa da un insaturo (livello rappresentato dall'argine) ad un terreno sotto falda (saturo).

Negli elaborati suddetti sono state segnalate inoltre le anomalie di resistività individuate lungo gli stendimenti (queste possono essere attribuibili a differenti cause, legate a differenze litologiche, presenza di riempimenti dovuti ad eventi erosivi alluvionali, presenza di canali sepolti o paleoalvei).

3 PROVE DI PORTATA – CAMPO PROVA

La determinazione diretta della permeabilità dei terreni dell'acquifero interessati dal progetto è stata effettuata mediante prove di portata eseguite in corrispondenza dei pozzi e piezometri realizzati lungo due punti (due campi prova) presso il tratto di argine in esame. Entrambi i campi prova sono costituiti da n°1 pozzo profondo 25 m, e n° 3 piezometri profondi 25 m.

Nelle immagini seguenti si riporta l'ubicazione dei due sistemi pozzo-piezometri realizzati presso l'argine nell'area di studio. Nelle tabelle seguenti si riportano anche le principali informazioni di configurazione dei campi prova realizzati.



Figura 54. Ubicazione sistemi pozzo-piezometri per esecuzione prove di portata.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 95 / 126



Figura 55. Ubicazione Pozzo 1 e piezometri per prova di portata.



Figura 56. Ubicazione Pozzo 2 e piezometri per prova di portata.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 96 / 126	

	Profondità m da p.c.	Distanza da pozzo (m)	Diametro tubo (m)	Tratto cieco (da m a m da p.c.)	Tratto filtrato (da m a m da p.c.)
Sistema Pozzo + Piezometri 1					
Pozzo1	25	-	6"	0-13	13-25
Piezometro PZ1	25	5.9	2"	0-1	1-25
Piezometro PZ2	25	16.3	2"	0-1	1-25
Piezometro PZ3	25	31.1	2"	0-1	1-25
Sistema Pozzo + Piezometri 2					
Pozzo1	25	-	6"	0-13	13-25
Piezometro PZ1	25	10.6	2"	0-1	1-25
Piezometro PZ2	25	21.7	2"	0-1	1-25
Piezometro PZ3	25	31.0	2"	0-1	1-25

Tabella 40. Principali informazioni di configurazione dei campi prova Pozzo + piezometri 1 e 2.

Di seguito (ed al paragrafo 2.5.2) si riporta la stratigrafia dei Pozzi 1 e 2 e dei piezometri Pz1 (eseguiti attraverso perforazione a carotaggio continuo in corrispondenza di ciascun pozzo).

POZZO 1			Tratto filtrato	
	quota DTM m slm 43.5			
m		LIVELLO		
0.0-5.6	Limo argilloso	L1		
5.6-10.5	Sabbia ghiaiosa deb. Limosa	L3	m da p.c.	m slm
10.5-17.9	Ghiaia	L4	13	30.5
17.9-24.5	Sabbia debolmente limosa	L4		
24.5-25.0	Argilla limosa	L5	25	18.5

PZ1_POZZO 1			Tratto filtrato	
	quota DTM m slm 43.5			
m		LIVELLO	m da p.c.	m slm
0.0-5.6	Limo argilloso	L2	1	42.5
5.6-10.5	Sabbia ghiaiosa deb. Limosa	L3		
10.5-17.9	Ghiaia	L4		
17.9-24.5	Sabbia debolmente limosa	L4		
24.5-25.0	Argilla limosa	L5	25	18.5

Tabella 41. Configurazione Pozzo1 e PZ-1_Pozzo1.

POZZO 2			Tratto filtrato	
	quota DTM m slm 44.5			
m		LIVELLO	m da p.c.	m slm
0.0-7.4	Limo argilloso	L2	13	31.5
7.4-24	Ghiaia/sabbia	L3/L4		
24-25	Argilla limosa	L5	25	19.5

PZ1_POZZO 2			Tratto filtrato	
	quota DTM m slm 44.5			
m		LIVELLO	m da p.c.	m slm
0.0-7.4	Limo argilloso	L2	1	43.5
7.4-24	Ghiaia/sabbia	L3/L4		
24-25	Argilla limosa	L5	25	19.5

Tabella 42. Configurazione Pozzo2 e PZ-1_Pozzo2.

In corrispondenza di entrambi i campi prova è stata eseguita una preventiva **prova di pompaggio a gradini** ed una successiva **prova di pompaggio a lunga durata**. Le prove sono state realizzate utilizzando una elettropompa sommersa da pozzo Rovatti 6E-46/6F-612.

La pompa è stata collegata durante il suo utilizzo ad un contalitri, utile al calcolo della portata emunta ed a un regolatore di portata a saracinesca, posizionati alla sommità del pozzo, attraverso una colonna di tubi con diametro di 3".

Le misure piezometriche sono state effettuate con l'utilizzo di freatimetri.



Figura 57. Campo prova Pozzo 1.

3.1 Prova di pompaggio a gradini

La prova è stata eseguita realizzando alcuni gradini di pompaggio a portata costante, caratterizzati da emungimento minimo per il primo gradino e massimo per l'ultimo. Tale metodologia di prova prevede la misurazione degli abbassamenti piezometrici della falda (livello dinamico) all'interno del foro, attraverso l'utilizzo di un freatimetro, ad intervalli di tempo regolari durante l'emungimento.

Ogni gradino è sospeso quando il livello dinamico raggiunge un valore pressoché costante, calcolando così l'abbassamento totale della superficie piezometrica per ogni singola portata.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO		
Progetto Esecutivo		
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE		
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A	
Titolo elaborato:	Relazione geologica	pag. 98 / 126

Per ogni gradino di portata sono stati calcolati i seguenti parametri:

<i>Portata di emungimento</i>	$Q \text{ (m}^3/\text{h)}$
<i>Abbassamenti residuali</i>	$s \text{ (m)}$
<i>Portata specifica</i>	$qs = Q/s \text{ (m}^2/\text{h)}$
<i>Abbassamento specifico</i>	$s/Q = (h/m^2)$

La prova di pozzo con gradini di portata di breve durata valuta le caratteristiche del complesso acquifero/opere di captazione. Con l'interpretazione grafica dei risultati ottenuti, modellizzata secondo il metodo di Jacob (1977). Per tale metodo l'abbassamento misurato durante la prova è la somma di due componenti, la perdita di carico lineare (BQ) provocata dal deflusso laminare nell'acquifero in prossimità del pozzo, e la perdita di carico quadratico (CQ²) non lineare legata al flusso turbolento nell'opera. Le variazioni del livello piezometrico sono quindi date dalla seguente espressione: $s = BQ + CQ^2$.

Di seguito si riassumono i risultati delle prove eseguite in corrispondenza dei due sistemi Pozzo + piezometri.

3.1.1 Pozzo 1

Si riporta sintesi della prova e delle elaborazioni eseguite.

Prova a gradini Pozzo 1				
Profondità pompa	11	m		
	Portata		Portata	
Portata I gradino	17.93	m ³ /h	5.0	l/s
Portata II gradino	32.11	m ³ /h	8.9	l/s
Portata III gradino	49.68	m ³ /h	13.8	l/s

Prova a gradini Pozzo 1			Gradini		
			I	II	III
PORTATA DI EMUNGIMENTO	q	m ³ /h	17.93	32.11	49.68
PORTATA SPECIFICA	qs = Q/s	m ² /h	17.58	15.98	14.83
ABBASSAMENTO SPECIFICO	s/Q	h/m ²	5.69E-02	6.26E-02	6.74E-02

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 99 / 126

PROVA DI POMPAGGIO A GRADINI

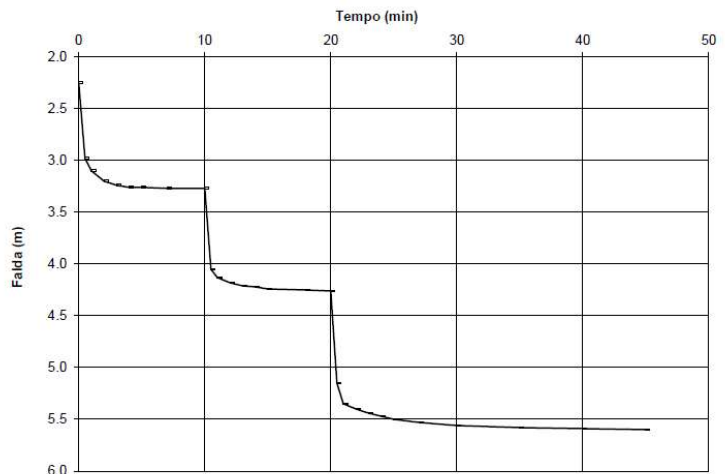
Committente: Aipo
Località: Caorso (PC)
Sigla pozzo: POZZO 1
Profondità: 25.00 m

Data: 15/04/2024
Profondità pompa: 11.00 m

DATI PROVA

Gradino I		Gradino II		Gradino III	
Tempo min	Falda m	Tempo min	Falda m	Tempo min	Falda m
0.0	2.250	0.5	4.050	0.5	5.150
0.5	2.980	1.0	4.130	1.0	5.350
1.0	3.100	2.0	4.180	2.0	5.400
2.0	3.200	3.0	4.210	3.0	5.440
3.0	3.240	4.0	4.220	4.0	5.470
4.0	3.260	5.0	4.240	5.0	5.500
5.0	3.260	8.0	4.250	7.0	5.530
7.0	3.270	10.0	4.260	10.0	5.560
10.0	3.270	0.5	5.150	15.0	5.580
				20.0	5.590
				25.0	5.600

GRAFICO PROVA



DATI SPERIMENTALI

Gradino	Q (mc/h)	Q/s (m ² /h)	s/Q (h/m ²)	Equazione di Jacob C.E. (1950)
I	17.93	17.58	5.69E-02	$s = BQ + CQ^2$ B = 5.13E-02 C = 3.30E-04
II	32.11	15.98	6.26E-02	
III	49.68	14.83	6.74E-02	

Figura 58. Grafico abbassamento/tempo prova a gradini Pozzo 1.

LEGENDA: Q = portata s = abbassamento Q/s = portata specifica s/Q = abbassamento specifico
BQ = perdite di carico lineari CQ² = perdite di carico quadratiche

CURVA CARATTERISTICA DEL POZZO

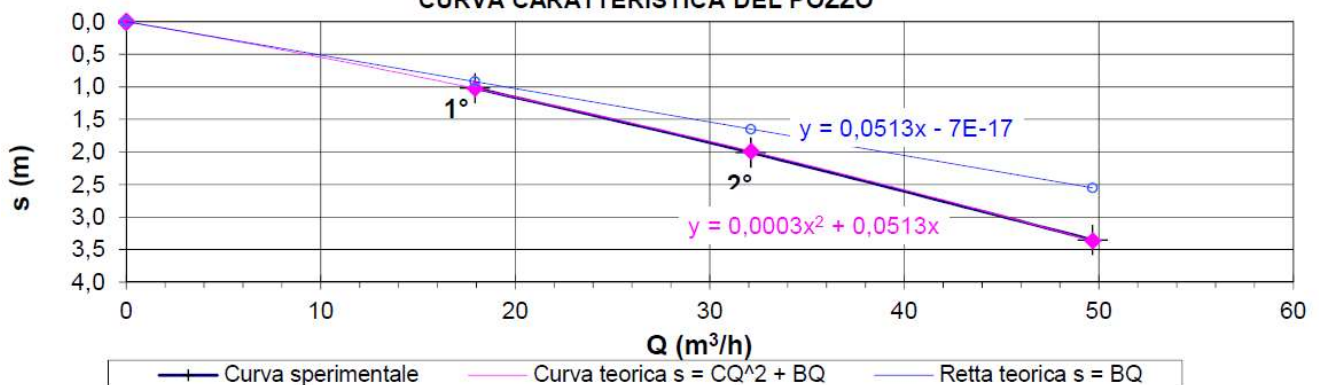


Figura 59. Grafico portata/abbassamenti Pozzo 1.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: **PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A**

Titolo elaborato: **Relazione geologica**

pag. 100 / 126

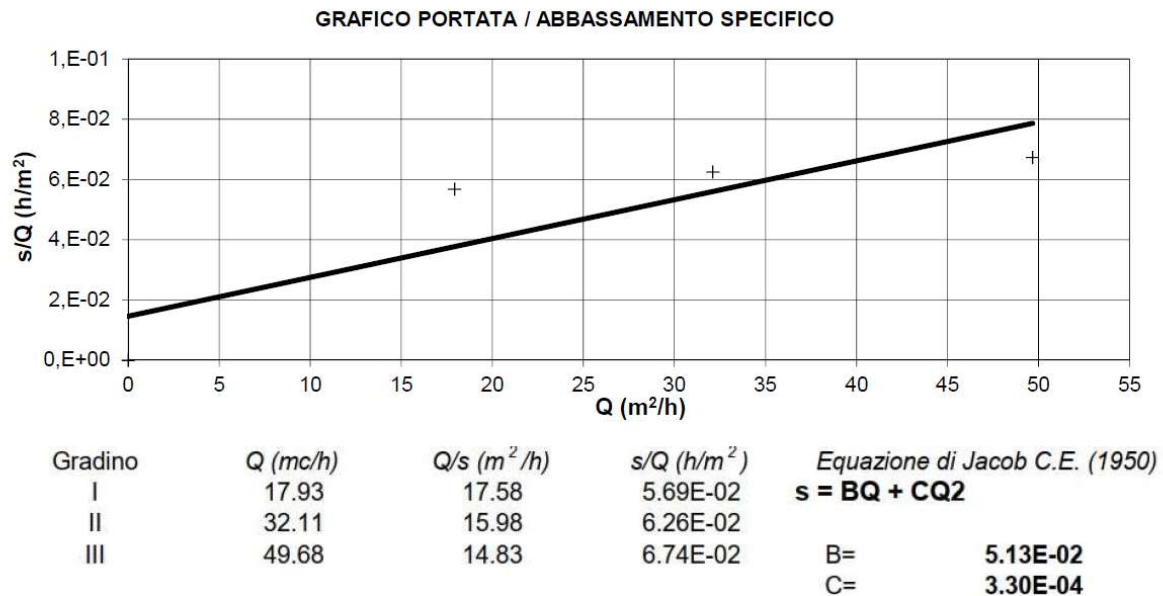


Figura 60. Grafico portata/abbassamento specifico Pozzo 1.

LEGENDA: Q = portata s = abbassamento Q/s = portata specifica s/Q = abbassamento specifico
 BQ = perdite di carico lineari CQ² = perdite di carico quadratiche

3.1.2 Pozzo 2

Si riporta sintesi della prova e delle elaborazioni eseguite.

Prova a gradini Pozzo 2				
Profondità pompa	18	m		
	Portata		Portata	
Portata I gradino	18	mc/h	5.0	l/s
Portata II gradino	30.77	mc/h	8.5	l/s
Portata III gradino	39.55	mc/h	11.0	l/s
Portata IV gradino	52.79	mc/h	14.7	l/s

Prova a gradini Pozzo 2			Gradini			
			I	II	III	III
PORTATA DI EMUNGIMENTO	q	m ³ /h	18	30.77	39.55	52.79
PORTATA SPECIFICA	qs= Q/s	m ² /h	29.51	27.72	26.37	23.51
ABBASSAMENTO SPECIFICO	s/Q	h/m ²	3.39E-02	3.61E-02	3.79E-02	4.25E-02

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

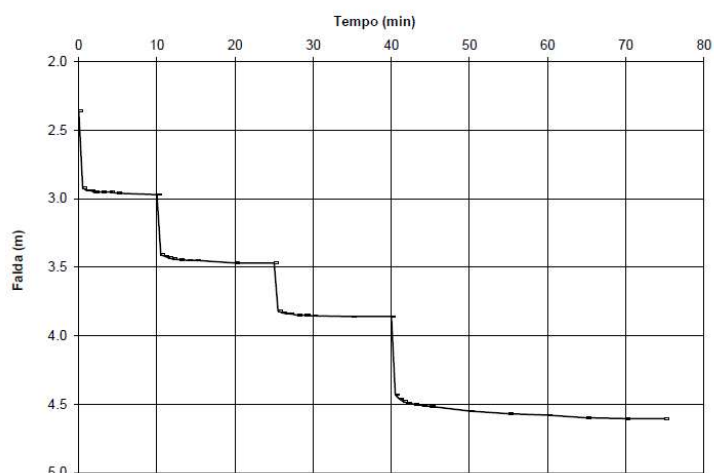
Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 101 / 126

PROVA DI POMPAGGIO A GRADINI

Committente: Aipo
 Località: Caorso (PC)
 Sigla pozzo: POZZO 2
 Profondità: 25.00 m
 Data: 12/04/2024
 Profondità pompa: 11.00 m

GRAFICO PROVA



DATI SPERIMENTALI

Gradino	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h)	s/Q (h/m ³)	Equazione di Jacob C.E. (1950)
I	18.00	29.51	3.39E-02	$s = BQ + CQ^2$
II	30.77	27.72	3.61E-02	
III	39.55	26.37	3.79E-02	B= 2.89E-02
IV	52.79	23.51	4.25E-02	C= 2.47E-04

LEGENDA

Q = portata s = abbassamento Q/s = portata specifica s/Q = abbassamento specifico
 BQ = perdite di carico lineari CQ² = perdite di carico quadratiche

Figura 61. Grafico abbassamento/tempo prova a gradini Pozzo 2.

LEGENDA: Q = portata s = abbassamento Q/s = portata specifica s/Q = abbassamento specifico
 BQ = perdite di carico lineari CQ² = perdite di carico quadratiche

CURVA CARATTERISTICA DEL POZZO

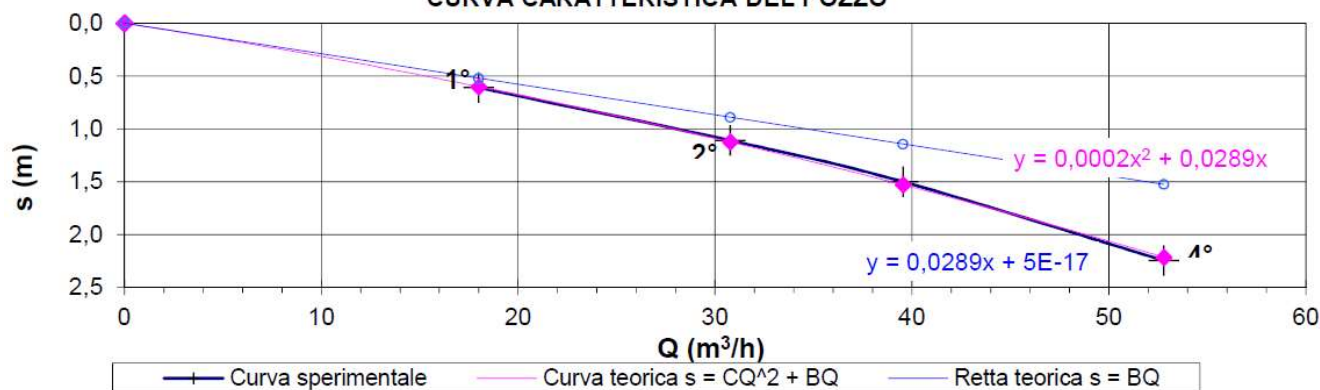


Figura 62. Grafico portata/abbassamenti Pozzo 2.

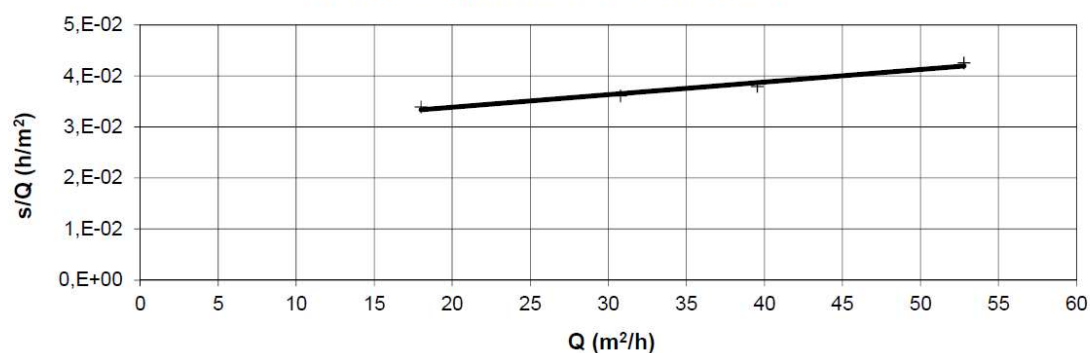
SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 102 / 126

GRAFICO PORTATA / ABBASSAMENTO SPECIFICO



Gradino	Q (mc/h)	Q/s (m ² /h)	s/Q (h/m ²)	Equazione di Jacob C.E. (1950)	
I	18.00	29.51	3.39E-02	s = BQ + CQ²	
II	30.77	27.72	3.61E-02		
III	39.55	26.37	3.79E-02	B=	2.89E-02
IV	52.79	23.51	4.25E-02	C=	2.47E-04

LEGENDA

Q = portata s = abbassamento Q/s = portata specifica s/Q = abbassamento specifico

BQ = perdite di carico lineari CQ² = perdite di carico quadratiche

Figura 63. Grafico portata/abbassamento specifico Pozzo 2.

LEGENDA: Q = portata s = abbassamento Q/s = portata specifica s/Q = abbassamento specifico

BQ = perdite di carico lineari CQ² = perdite di carico quadratiche.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica
pag. 103 / 126	

3.2 Prove di pompaggio a lunga durata

Le prove di pompaggio a lunga durata sono eseguite con un solo gradino di portata, verificando gli abbassamenti della falda nel pozzo ed in almeno un piezometro di controllo. Con tali prove è possibile determinare i seguenti parametri idrogeologici:

- Trasmissività (T) prodotto tra lo spessore dell'acquifero e la sua conducibilità idraulica ($T=k*b$) espressa in m^2/s ;
- Coefficiente di immagazzinamento (S) variazione di volume d'acqua in un prisma verticale di sezione unitaria per una variazione unitaria del carico, utile a valutare il volume d'acqua che si può liberare da un acquifero;
- Raggio fittizio R_f la distanza alla quale l'abbassamento è nullo.

I primi due parametri sopra indicati sono stati calcolati utilizzando il metodo di Jacob C.E. (1946), valido per le falde confinate. Tale metodo deriva dalle espressioni di calcolo di Theis C.V. (1935), dove T e S sono così rappresentati:

$$T = (Q/4*\pi*s)*W(u)$$

$$S = (4*Tt/r^2)*u$$

Di seguito si riportano le informazioni relative alle prove di pompaggio a lunga durata eseguite in corrispondenza del Pozzo 1 e del Pozzo 2.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 104 / 126

3.2.1 Pozzo 1

La prova è stata eseguita con una portata pari a $49.82 \text{ mc/h} = 13.8 \text{ l/s}$.

GRAFICO PROVA POZZO 1

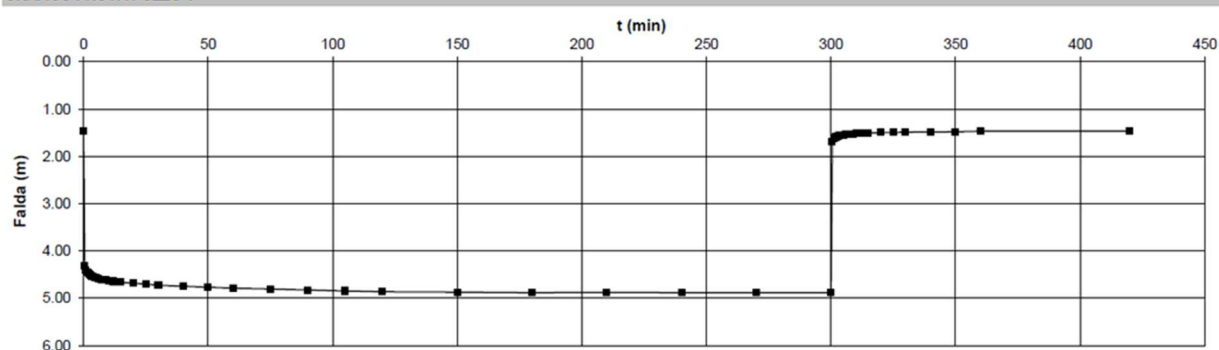


GRAFICO PROVA PIEZOMETRO P1 (POZZO 1)

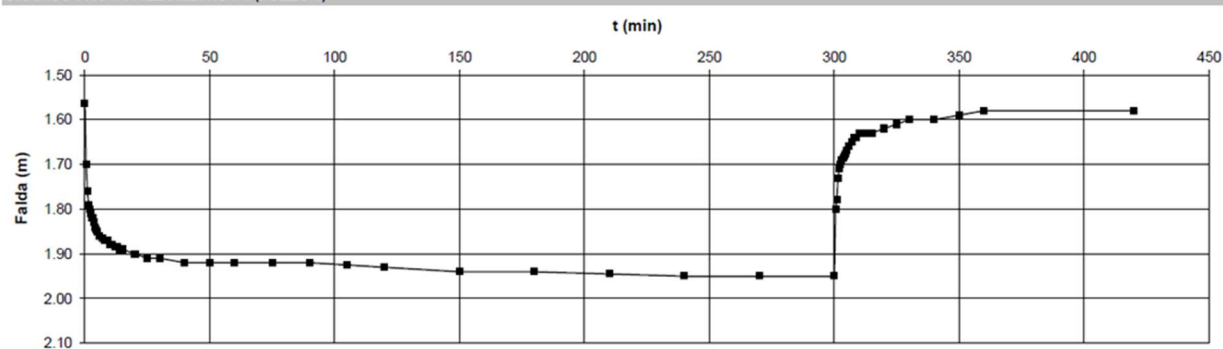


GRAFICO PROVA PIEZOMETRO P2 (POZZO 1)

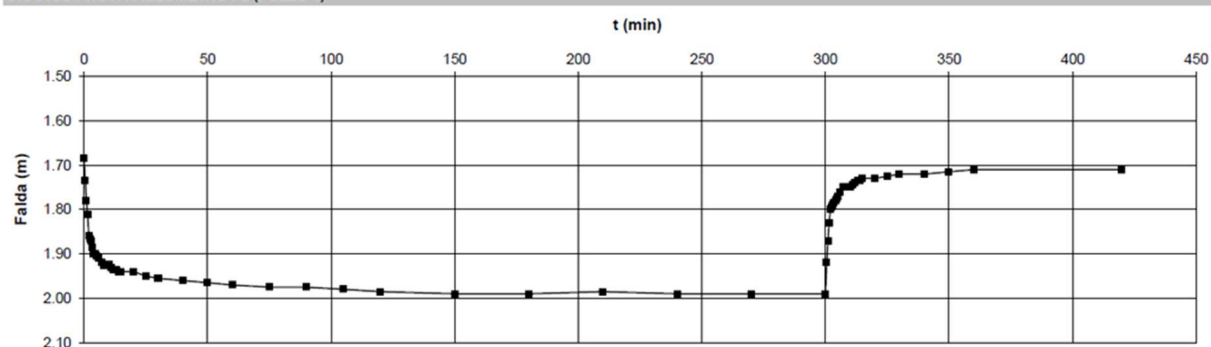


GRAFICO PROVA PIEZOMETRO P3 (POZZO 1)

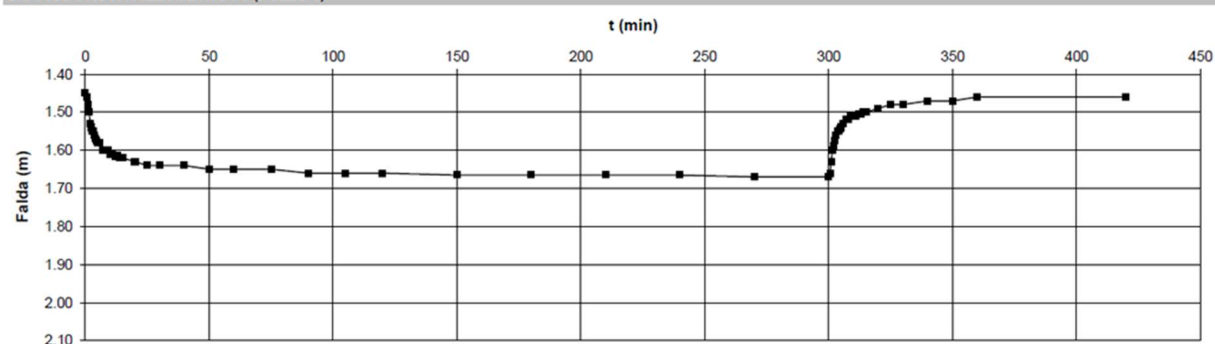


Figura 64. Grafico prova di pompaggio a lunga durata da dati di abbassamento Pozzo 1, PZ1, PZ2 e PZ3.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 105 / 126

3.2.2 Pozzo 2

La prova è stata eseguita con una portata pari a $47.84 \text{ mc/h} = 13.3 \text{ l/s}$.

GRAFICO PROVA POZZO 2

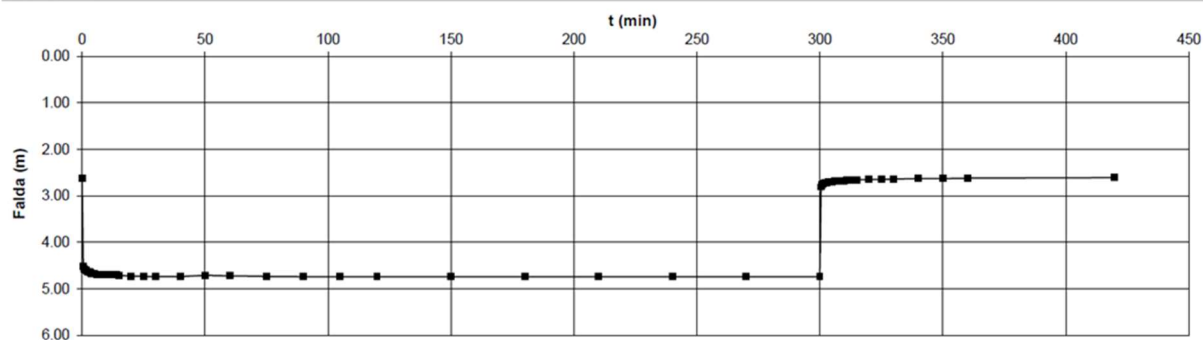


GRAFICO PROVA PIEZOMETRO P1 (POZZO 2)

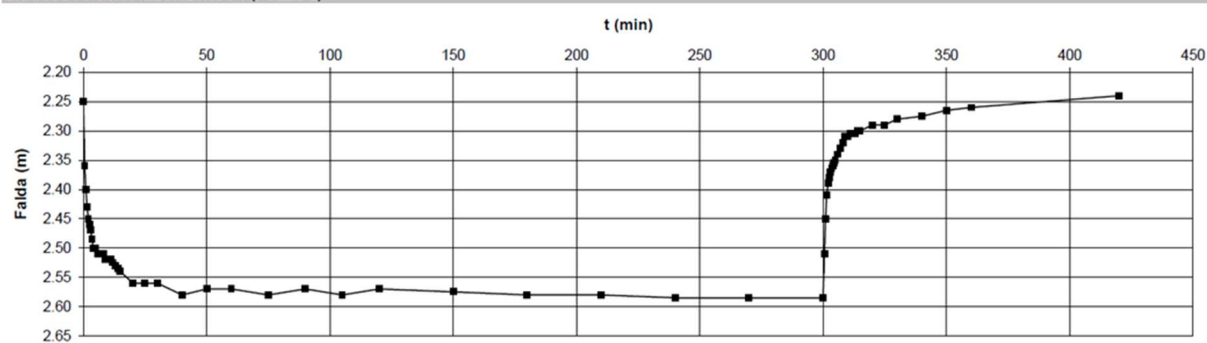


GRAFICO PROVA PIEZOMETRO P2 (POZZO 2)

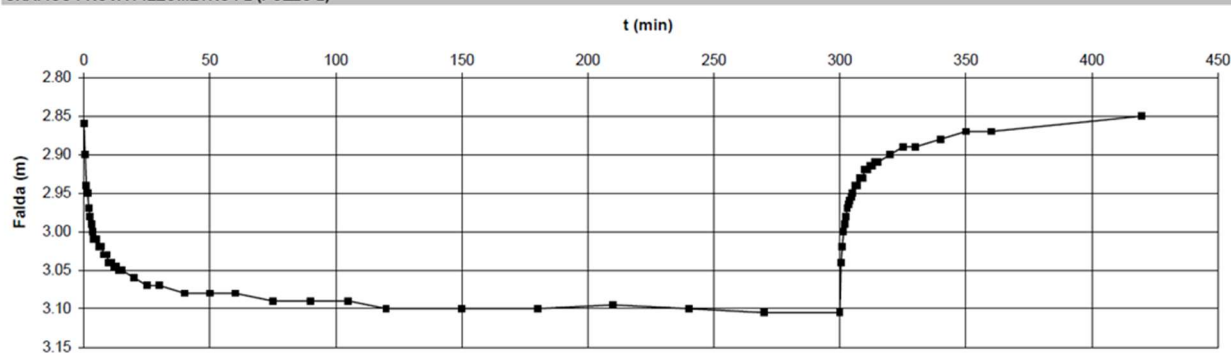


GRAFICO PROVA PIEZOMETRO P3 (POZZO 2)

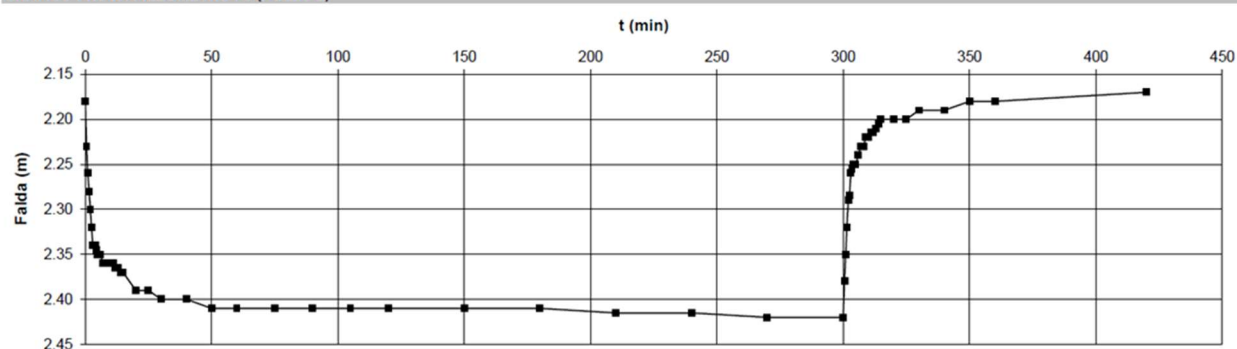


Figura 65. Grafico prova di pompaggio a lunga durata da dati di abbassamento Pozzo 2, PZ1, PZ2 e PZ3.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 106 / 126	

3.3 Risultati prove di portata

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle prove di portata eseguite in corrispondenza dell'area in esame.

Pozzo 1					
Sigla piezometro		Q m ³ /h	T m ² /s	S	K m/s
P1	pompaggio	49.82	3.44E-02	6.91E-04	1.87E-03
	risalita		2.48E-02		1.35E-03
P2	pompaggio	49.82	3.39E-02	2.89E-03	1.84E-03
	risalita		2.90E-02		1.58E-03
P3	pompaggio	49.82	3.59E-02	1.54E-03	1.95E-03
	risalita		2.70E-02		1.47E-03

Tabella 43. Risultati prova di portata Pozzo 1. Legenda: Q = portata di pompaggio; T = trasmissività; S = coefficiente di immagazzinamento; k = coefficiente di permeabilità;

Pozzo 2					
Sigla piezometro		Q m ³ /h	T m ² /s	S	K m/s
P1	pompaggio	47.84	3.50E-02	8.35E-04	1.84E-03
	risalita		2.22E-02		1.17E-03
P2	pompaggio	47.84	3.64E-02	7.12E-03	1.92E-03
	risalita		2.78E-02		1.46E-03
P3	pompaggio	47.84	4.51E-02	1.04E-03	2.38E-03
	risalita		2.63E-02		1.38E-03

Tabella 44. Risultati prova di portata Pozzo 2. Legenda: Q = portata di pompaggio; T = trasmissività; S = coefficiente di immagazzinamento; k = coefficiente di permeabilità; b = potenza acquifero.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO		
Progetto Esecutivo		
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE		
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A	
Titolo elaborato:	Relazione geologica	pag. 107 / 126

4 MODELLO GEOLOGICO E SCHEMA LITOLOGICO

Le informazioni ottenute attraverso i risultati delle prove geognostiche eseguite nella campagna di indagini di Gennaio-Aprile 2024 hanno permesso di ricostruire il seguente modello geologico-geotecnico per l'area in esame.

Sulla base delle informazioni reperite ed elaborate è possibile definire il seguente schema litologico:

		Profondità base livello	
		DA SOMMITÀ ARGINALE	DA P.C.
L1	<p>- <i>Argine – L1</i>: rilevato arginale, costituito da terreno di riporto limo-argilloso; in superficie le prove hanno attraversato anche un livello di circa 1 m di materiale che costituisce il sottofondo stradale. Il livello è stato riconosciuto sia lungo le verticali delle prove CPTu, eseguite tutte a partire dalla sommità arginale, che in corrispondenza dei sondaggi S3_DH e S4, eseguiti in sommità arginale. È costituito prevalentemente da terreni limosi/limo sabbiosi. Il livello è presente sino a -4/-4.5 m da sommità arginale.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: qc = 0.6/0.9 MPa; Vs = <200 m/s;</i></p> <p><i>Resistività < 70-50 ohm*m</i></p>	-4/4.5 m da sommità arginale	-
L2	<p>- <i>Livello L2</i>: coltre alluvionale di superficie prevalentemente limosa-argillosa con presenza di sabbia. Questo livello, prevalentemente limo argilloso, è stato attraversato da tutte le prove, è presente a partire da p.c. (quindi si trova al di sotto dell'argine sopra descritto/a partire dalla base arginale) sino a profondità di -4/7.5 m da p.c.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: qc = 0.7/1.1 MPa; Vs = 190/200 m/s;</i></p> <p><i>Resistività < 70-30 ohm*m</i></p>	-7/11 m da sommità arginale	-4/7.5 m da p.c.
L3	<p>- <i>Livello L3</i>: livello prevalentemente costituito da sabbia e sabbia limosa. Il livello è presente a partire da -4/7.5 m da p.c. sino a circa -8/13 m da p.c.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: qc = 1.2/4.7 MPa; Vs = 200-250 m/s;</i></p> <p><i>Resistività = 70-30 ohm*m</i></p>	-12/16.5 m da sommità arginale	-8/13 m da p.c.
L4	<p>- <i>Livello L4</i>: livello prevalentemente costituito da sabbia/sabbia limosa con presenza di orizzonti di ghiaia fine. Il livello è presente a partire dai 8/13 m da p.c. sino a circa 23.5/26.0 m da p.c. La maggior parte delle prove penetrometriche statiche raggiunge il rifiuto in corrispondenza di questo livello. Attraverso i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti è stato possibile verificare che la base del livello è presente a circa 23-26 m da p.c.</p> <p><i>Parametri caratteristici del livello: qc = 6/12.7 MPa; Vs = 250-350 m/s;</i></p> <p><i>Resistività > 70-90 ohm*m</i></p>	-29/-30 m da sommità arginale	-23.5/26 m da p.c.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
<i>Codice elaborato:</i>	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione geologica
pag. 108 / 126	

		Profondità base livello	
		DA SOMMITÀ ARGINALE	DA P.C.
L5	- <i>Livello L5:</i> livello prevalentemente costituito da argilla limosa. Il livello è presente a partire da 23.5/26 m da p.c. <i>Parametri caratteristici del livello:</i> Vs = 350-400 m/s.		
		-35/-39 m da sommità arginale	-31/33 m da p.c.
L6	- <i>Livello L6:</i> A partire da profondità superiori ai 35/38.6 m da sommità arginale la litologia prevalente risulta essere costituita da limo sabbioso con presenza di sacche decimetriche di sabbia/sabbia limosa debolmente ghiaiosa. Il livello è stato riconosciuto in corrispondenza dei sondaggi geognostici che hanno raggiunto la profondità massima di -45 m da sommità arginale. <i>Parametri caratteristici del livello:</i> Vs (prova DH)= >400 m/s.		

Nel grafico seguente si riportano i valori di resistenza alla punta qc dalle prove penetrometriche statiche CPTu, il valore di variazione della velocità delle onde S da prova Down Hole (i valori di Vs sono stati divisi per 10 nel grafico) con la profondità ed i valori di N_{SPT} ottenuti dalle prove SPT eseguite in foro di sondaggio.

Per la stima dei parametri geotecnici caratteristici di ogni livello si rimanda all'elaborato PE.0.1.6.GET.GE.R.T.0.0.1 Relazione Geotecnica.

Nel sottoparagrafo 4.1 si riporta la stima dei valori di permeabilità di ciascun livello individuato in corrispondenza dell'area in esame.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 109 / 126

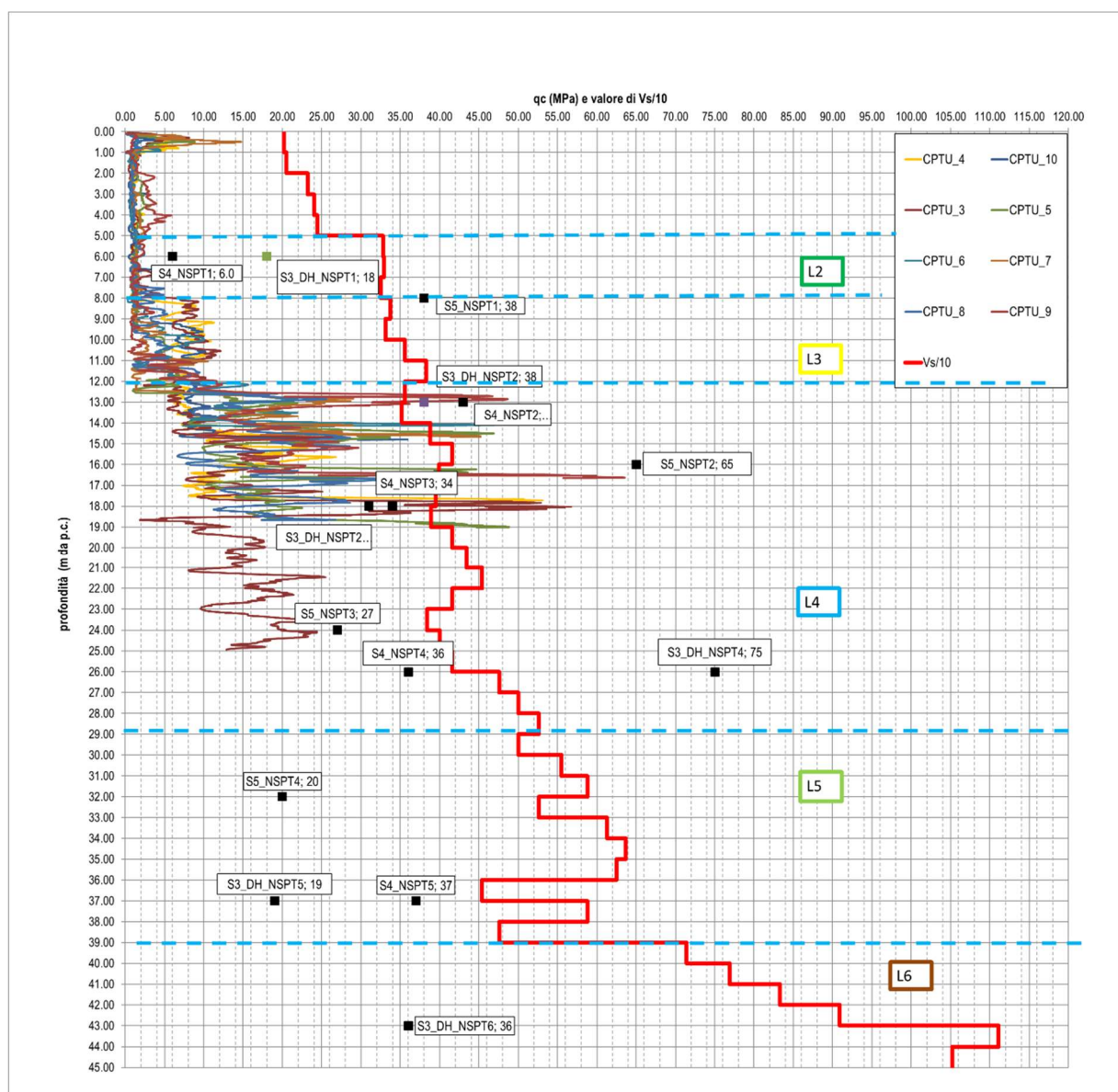


Figura 66. Grafico di variazione con la profondità dei valori di resistenza alla punta q_c dalle prove penetrometriche statiche CPTu, di velocità delle onde S da prova Down Hole (i valori di V_s sono stati divisi per 10 nel grafico) e valori di N_{SPT} ottenuti dalle prove SPT eseguite in foro di sondaggio.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 110 / 126	

4.1 Permeabilità

Per la stima dei valori di permeabilità di ciascun livello individuato in corrispondenza dell'area e attraversato dalle prove geognostiche sono state considerate le risultanze di alcune prove eseguite in corrispondenza del sito di studi.

Di particolare rilevanza è risulta determinazione diretta della permeabilità dei terreni dell'acquifero interessati dal progetto che è stata effettuata mediante le prove di portata eseguite in corrispondenza dei pozzi e piezometri realizzati lungo due punti (due campi prova) presso il tratto di argine in esame. Entrambi i campi prova sono costituiti da n°1 pozzo profondo 25 m, e n° 3 piezometri profondi 25 m (si veda in dettaglio il paragrafo 4).

Nell'immagine seguente si riporta l'ubicazione dei due sistemi pozzo-piezometri realizzati presso l'argine nell'area di studio.



Figura 67. Ubicazione sistemi pozzo-piezometri per esecuzione prove di portata.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 111 / 126

Sono inoltre stati considerati i valori di permeabilità determinati attraverso le prove Lefranc eseguite durante la perforazione dei sondaggi geognostici (si veda per approfondimenti il paragrafo 2.5.1.5).

Di seguito si riporta la stima dei valori di permeabilità caratteristici associate ad ogni livello individuate in corrispondenza dell'area in esame.

Valori di permeabilità da prove di portata

Le prove di portata hanno permesso di valutare la permeabilità dei livelli L3 ed L4 che sono principalmente costituiti da sabbia e sabbia limosa (L3) e sabbiosa limosa con orizzonti di ghiaia (L4).

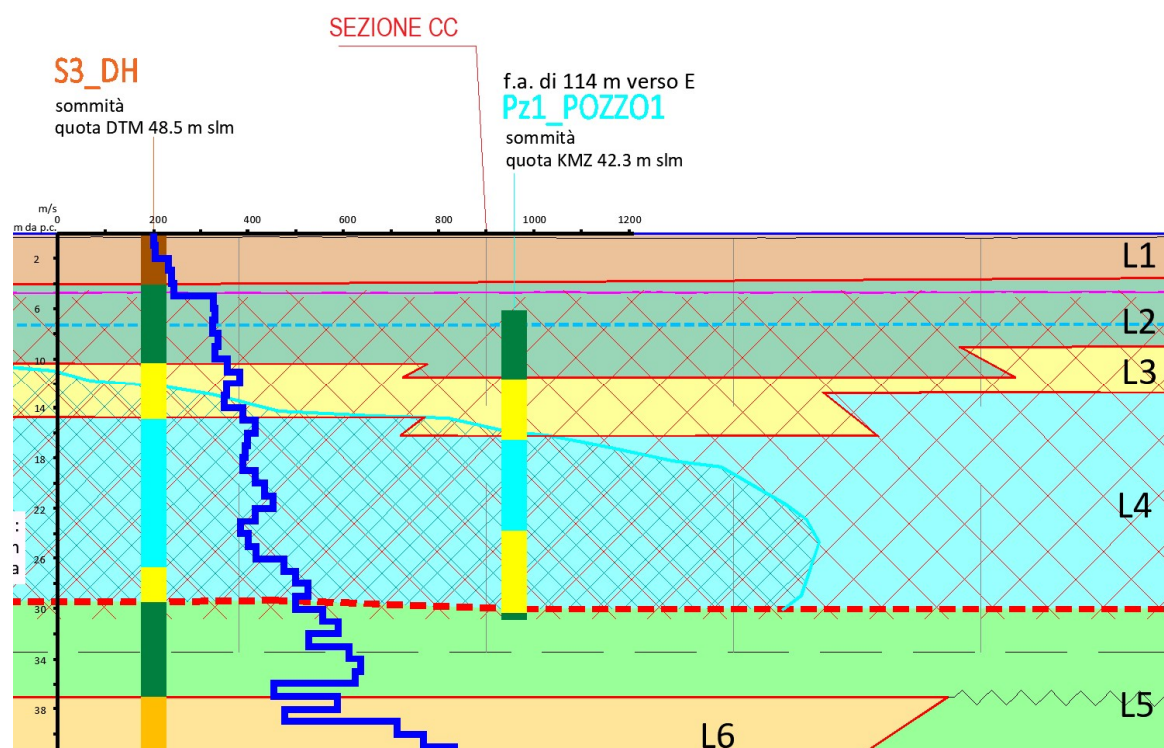


Figura 68. Porzione profilo geologico ricostruito per l'area in esame, in corrispondenza del PZ1_Pozzo 1.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 112 / 126

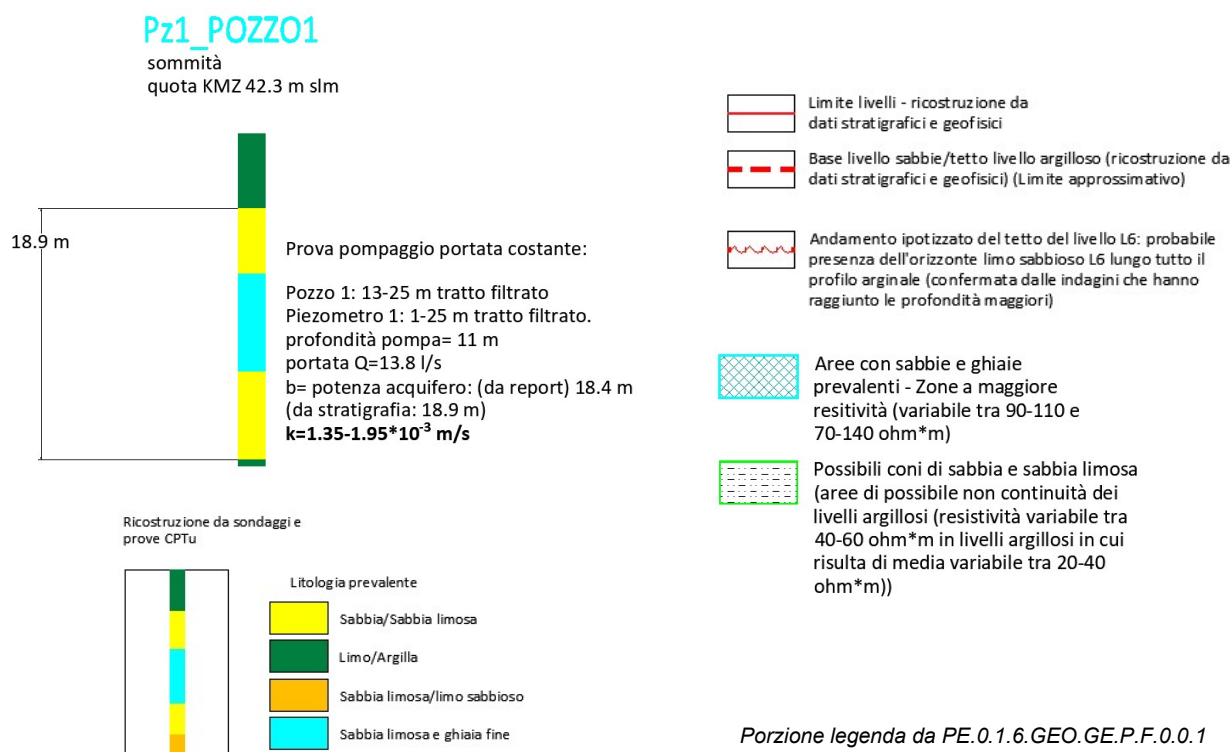


Figura 69. Stratigrafia del PZ1_Pozzo 1 e configurazione piezometro per prova di portata su Pozzo 1.

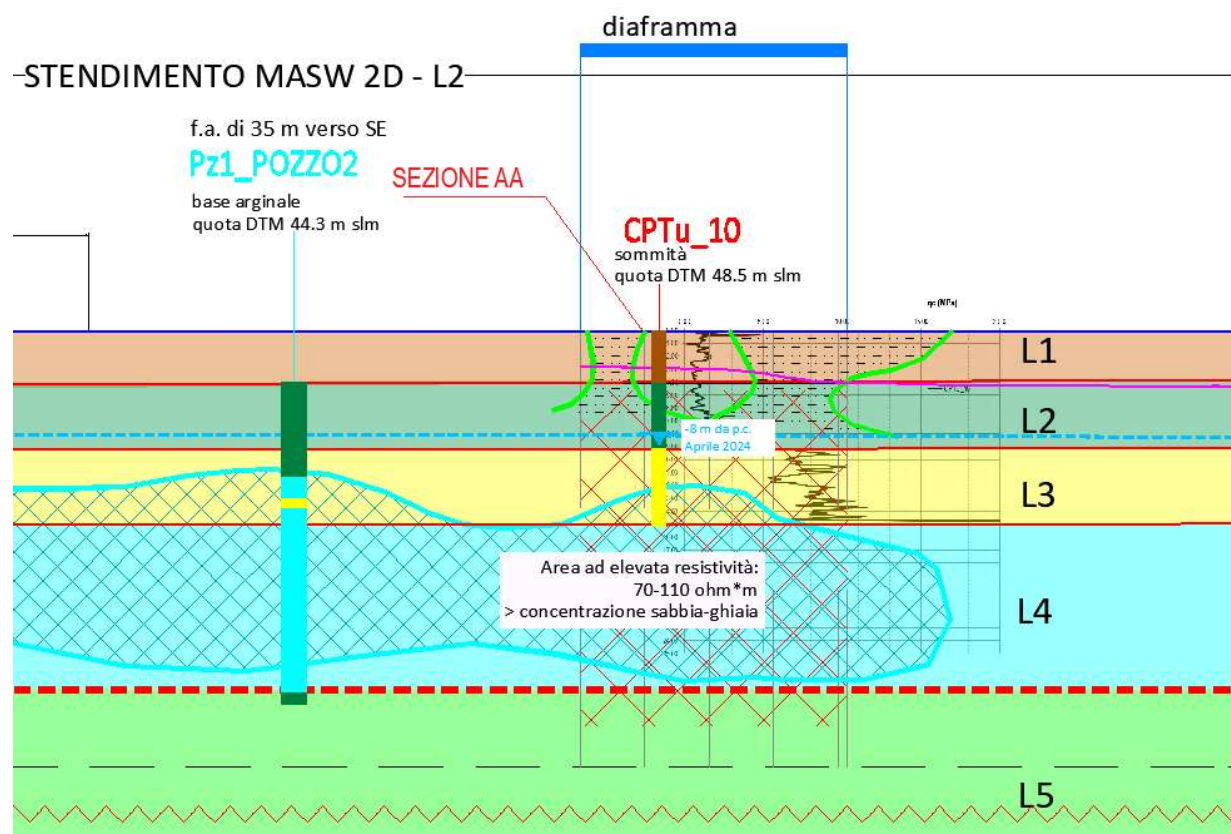


Figura 70. Porzione profilo geologico ricostruito per l'area in esame, in corrispondenza del PZ1_Pozzo 2.

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 113 / 126

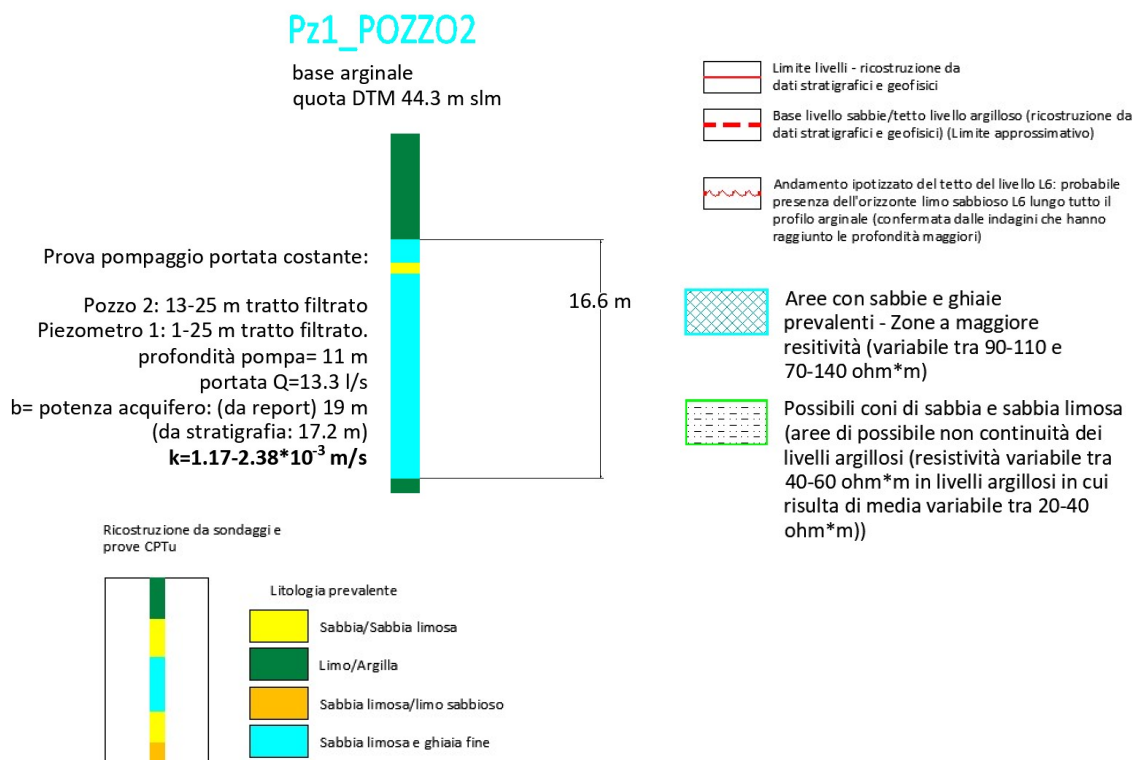


Figura 71. Stratigrafia del PZ1_Pozzo 2 e configurazione piezometro per prova di portata su Pozzo 2.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle prove di portata eseguite in corrispondenza dell'area in esame.

POZZO 1					
Sigla piezometro		T m ² /s	S	K m/s	LIVELLO
P1	pompaggio	3.44E-02	6.91E-04	1.87E-03	L3-L4
	risalita	2.48E-02		1.35E-03	L3-L4
P2	pompaggio	3.39E-02	2.89E-03	1.84E-03	L3-L4
	risalita	2.90E-02		1.58E-03	L3-L4
P3	pompaggio	3.59E-02	1.54E-03	1.95E-03	L3-L4
	risalita	2.70E-02		1.47E-03	L3-L4

Tabella 45. Risultati prova di portata Pozzo 1. Legenda: T = trasmissività; S = coefficiente di immagazzinamento; k = coefficiente di permeabilità.

POZZO 2					
Sigla piezometro		T m ² /s	S	K m/s	LIVELLO
P1	pompaggio	3.50E-02	8.35E-04	1.84E-03	L3-L4
	risalita	2.22E-02		1.17E-03	L3-L4
P2	pompaggio	3.64E-02	7.12E-03	1.92E-03	L3-L4
	risalita	2.78E-02		1.46E-03	L3-L4
P3	pompaggio	4.51E-02	1.04E-03	2.38E-03	L3-L4
	risalita	2.63E-02		1.38E-03	L3-L4

Tabella 46. Risultati prova di portata Pozzo 2. Legenda: T = trasmissività; S = coefficiente di immagazzinamento; k = coefficiente di permeabilità.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 114 / 126

La stima di k determinata attraverso l'elaborazione delle prove di portata individua per l'acquifero presente in corrispondenza dell'area in esame, costituito dai livelli L3 ed L4 valori variabili nel range tra **1.17E-03 e 2.38E-03 m/s**.

	POZZO1		POZZO2	
	p.c.		p.c.	
quota DTM m s.l.m.	43.5	LIVELLO Litologico	44.5	LIVELLO Litologico
K (m/s)	1.35E-03	L3-L4	1.17E-03	L3-L4
K (m/s)	1.95E-03		2.38E-03	

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 115 / 126

Valori di permeabilità da prove Lefranc

Nelle tabelle che seguono si riassumono i risultati delle prove Lefranc a carico variabile eseguite.

S3-DH			
Profondità m da bocca sondaggio		Permeabilità stimata da prove Lefranc (m/s)	Livello
5.0	5.5	1.22E-08	L2
10.0	10.5	1.05E-06	L2
15.0	15.5	1.40E-04	L3
20.0	20.5	1.05E-04	L4
25.0	25.5	1.65E-04	L4
30.0	30.5	2.43E-08	L5
35.0	35.5	3.65E-09	L5

Tabella 47. Prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la perforazione del sondaggio S3_DH.

S4			
Profondità m da bocca sondaggio		Permeabilità stimata da prove Lefranc (m/s)	Livello
5.0	5.5	3.65E-08	L2
10.0	10.5	1.31E-06	L2
15.0	15.5	1.13E-04	L3
20.0	20.5	1.33E-04	L4
25.0	25.5	1.40E-05	L4
30.0	30.5	6.44E-07	L4
35.0	35.5	6.08E-09	L5

Tabella 48. Prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la perforazione del sondaggio S4.

S5			
Profondità m da bocca sondaggio		Permeabilità stimata da prove Lefranc (m/s)	Livello
5.0	5.5	2.07E-07	L2
10.0	10.5	3.80E-05	L3
15.0	15.5	1.12E-04	L4
20.0	20.5	1.60E-04	L4
25.0	25.5	1.22E-09	L5
30.0	30.5	3.65E-09	L5
35.0	35.5	3.65E-08	L5

Tabella 49. Prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la perforazione del sondaggio S5.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 116 / 126	

È stato stimato statisticamente il valore di k da prove Lefranc per ciascun livello individuato.

Di seguito si riporta la stima dei valori:

	L1	L2	L3	L4	L5
media	5.23E-07	5.23E-07	9.70E-05	9.85E-05	1.26E-08
5° percentile	1.71E-08	1.71E-08	4.55E-05	4.65E-06	1.83E-09
minimo	1.22E-08	1.22E-08	3.80E-05	6.44E-07	1.22E-09
massimo	1.31E-06	1.31E-06	1.40E-04	1.65E-04	3.65E-08
Dev stad	6.11E-07	6.11E-07	5.28E-05	6.63E-05	1.44E-08
COV	1.17E+00	1.17E+00	5.45E-01	6.72E-01	1.15E+00
Bayesiano	2.18E-07	2.18E-07	7.06E-05	6.54E-05	5.35E-09

Tabella 50. Stima valori di permeabilità attraverso le prove Lefranc. (per l'argine sono stati considerati i valori di permeabilità ottenuti dalle prove Lefranc eseguiti nel livello L2: la maggiore parte delle prove in L2 sono state eseguite intorno ai 5 m da b.f. dei vari sondaggi eseguiti a partire da sommità arginale, in corrispondenza della base del livello arginale e/o del tetto del livello L2).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 117 / 126	

Permeabilità livelli individuati

Livello		Valore di permeabilità da prove Lefranc (range valore minimo/valore massimo)	Valore di permeabilità da prove pozzo (range valore minimo/valore massimo)	VALORI CARATTERISTICI	
		<i>k</i> (m/s)	<i>k</i> (m/s)	<i>k</i> (m/s)	NOTE
L1	coesivo/misto	1.22E-08/1.31E-06	-	1.22E-08/1.31E-06	per l'argine sono stati considerati i valori di permeabilità ottenuti dalle prove Lefranc eseguiti al tetto del livello L2
L2	coesivo	1.22E-08/1.31E-06	-	1.22E-08/1.31E-06	
L3	granulare	3.80E-05/1.40E-04	1.17E-03/2.38E-03	1.17E-03/2.38E-03	considerati caratteristici i valori ottenuti da prove di portata
L4	granulare	6.44E-07/1.65E-04	1.17E-03/2.38E-03	1.17E-03/2.38E-03	
L5	coesivo	1.22E-09/3.65E-08	-	1.22E-09/3.65E-08	

Tabella 51. Valori di permeabilità considerati caratteristici per i livelli individuati in corrispondenza dell'area in esame.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 118 / 126	

5 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio geologico-geotecnico costituisce la relazione geologica a corredo del Progetto Esecutivo - PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO per la specifica scheda n°16 CAORSO (PC).

Nella precedente fase di Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica PFTE, attraverso l'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche eseguite nel 2024 è stato possibile ricavare le caratteristiche geologiche dell'area interessata dalle opere in progetto presso il comune di Caorso, lungo l'argine destro del Fiume Po in corrispondenza dell'abitato di Roncarolo. Le elaborazioni svolte hanno evidenziato le condizioni di fattibilità geologica e sono state definite le condizioni geologiche, litologiche e idrogeologiche locali.

Con riferimento alle modalità tecnico-esecutive delle opere in progetto, attraverso il presente studio si conferma la compatibilità esecutiva delle opere previste con l'assetto geologico-litologico e idrogeologico dell'area di studio.

- ⇒ La zona in esame ricade nel Foglio 162 "PIACENZA" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 ed è caratterizzata principalmente dalla presenza di depositi di piana alluvionale appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8) ed in particolare all'Unità di Modena (AES8a). Questa unità è composta da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, ricoperti da una coltre limoso-argillosa discontinua e da limi, talora sabbiosi, di limitato spessore.
Le prove geognostiche eseguite e i risultati ottenuti dalla loro elaborazione comprovano una discreta omogeneità stratigrafica-litologica dell'area dal punto di vista stratigrafico-litologico. In corrispondenza dell'area in esame, come ricostruito al paragrafo 4 e come riassunto in seguito, è stato riconosciuto uno spessore del livello arginale di circa 4/5 m; al piano campagna è presente un livello prevalentemente coesivo (L2), costituito da limo-argilla con presenza di sabbia che presenta spessori variabili tra i 3 e i 5 m (sino ad una profondità di circa 7.5/8 m da p.c. A partire da 7.5/8 m da p.c. sono stati riconosciuti due livelli costituiti prevalentemente da sabbia (L3) e sabbia e ghiaia (L4) che presenta spessori variabili e la base si trova ad una profondità massima di 26 m da p.c. Segue poi un livello prevalentemente argillo-limoso sino almeno ad una profondità di 31/33 m da p.c.
- ⇒ L'area è ubicata nella Carta Tecnica Regionale elemento 162111 "S. NAZZARO" alla scala 1:5.000; il sito in esame si colloca ad una quota di circa 44-45 m s.l.m. e le coordinate di un punto baricentrale dell'area sono rispettivamente 45.069808° di latitudine e 9.839217° di longitudine (ED50).
- ⇒ Dal punto di vista morfologico l'area, a morfologia pianeggiante, è in prevalenza il risultato dell'azione prodotta dalle acque di scorrimento superficiale e dall'attività antropica. Il sito in esame si trova ad una quota di circa 44-45 m s.l.m. È stata consultata la Tavola B_04 "Carta geologica e geomorfologica" del PSC del comune di Caorso. L'area in esame rientra nelle zone soggette a recenti fenomeni di meandreggiamento del Fiume Po. Poco a sud dell'area in esame è segnalata una recente ansa meandrica abbandonata.
Non sono segnalate tracce di paleoalvei e dossi fluviali in corrispondenza dell'area di studio.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 119 / 126	

- ⇒ L'intera area in esame, presso cui è in Progetto la costruzione del diaframma rientra in Fascia A. Le aree interessate dalle indagini geognostiche eseguite per la caratterizzazione geolitologica dell'area sono comprese in zone in Fascia A e Fascia C.
- ⇒ Nel Piano di Gestione delle Alluvioni (PGRA) l'area risulta interessata da alluvioni rare (L-P1), poco frequenti (M-P2) e frequenti (H-P3) del reticolo di pianura principale (RP).
- ⇒ Nel territorio in esame è presente il Gruppo Acquifero A. Il sito in esame si colloca in aree di ricarica diretta per infiltrazione dalla superficie; in corrispondenza del sito in esame lo spessore cumulativo dei depositi porosi permeabili del Gruppo acquifero A è compreso tra i 60 e gli 80 m e la profondità del limite basale è compreso tra -150 e -100 m s.l.m.
- ⇒ Nei mesi tra Gennaio e Aprile 2024 è stata eseguita una campagna geognostica che ha visto l'esecuzione delle seguenti prove:
- n° 8 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu(n) con esecuzione di prove di dissipazione;
 - n°5 sondaggi a carotaggio continuo S(n) (uno dei quali attrezzato per l'esecuzione di n°1 prova sismica Down Hole);
 - n°2 perforazioni per la costruzione di n°2 pozzi per le prove di emungimento;
 - n°4 sondaggi a distruzione di nucleo per la costruzione di piezometri in corrispondenza dei pozzi suddetti.
- ⇒ Le indagini geofisiche, eseguite tra il Gennaio e Febbraio 2024, sono le seguenti:
- indagine Down-Hole eseguita nel foro S3-DH fino alla profondità di 45 m;
 - indagine Masw;
 - indagine Masw 2D;
 - indagine di Tomografia elettrica 2D;

Nelle tabelle sottostanti sono riassunte alcune informazioni relative alle prove geognostiche e sismiche eseguite, descritte in dettaglio nei paragrafi seguenti.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità tetto sabbie (m da b.f.)	Profondità falda (m da b.f.)	Tipo prova
S3_DH	45	06-16/02/2024	10.5	-	Sondaggio a carotaggio continuo (foro strumentato per esecuzione prova sismica Down Hole)
S4	40	30/01-05/02/2024	11.0	-	Sondaggio a carotaggio continuo
S5	35	19-26/01/2024	7.0	-	Sondaggio a carotaggio continuo
CPTu3	25	Febbraio-Marzo 2024	7	9	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu4	17.7	Febbraio-Marzo 2024	8	7.5	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu5	19	Febbraio-Marzo 2024	9	9	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu6	14.20	Febbraio-Marzo 2024	9	10	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu7	14.7	Febbraio-Marzo 2024	10.5	6.5	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu8	18.7	Febbraio-Marzo 2024	10.5	8	Prova penetrometrica statica con piezocono
CPTu9	16.7	Febbraio-Marzo 2024	10.5	5	Prova penetrometrica statica con piezocono

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 120 / 126	

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità tetto sabbie (m da b.f.)	Profondità falda (m da b.f.)	Tipo prova
CPTu10	14.8	Febbraio-Marzo 2024	9	8	Prova penetrometrica statica con piezocono

Indagini geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 in corrispondenza dell'area in esame.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Profondità tetto sabbie (m da b.f.)	Tipo prova
POZZO_1	25		10.5	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ1_POZZO1	25	29/02-18/03/2024	10.5	Sondaggio a carotaggio continuo
PZ2_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ3_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
POZZO_2	25		9.7	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ1_POZZO1	25	21-22/03/2024	9.7	Sondaggio a carotaggio continuo
PZ2_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ3_POZZO1	25		-	Sondaggio a distruzione di nucleo
PZ_INFISSIONE_1	15		-	Infissione piezometro ad infissione tramite penetrometro
PZ_INFISSIONE_2	15		-	Infissione piezometro ad infissione tramite penetrometro

Indagini geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 in corrispondenza dell'area in esame.

Prova	Profondità (m da p.c.)	Data esecuzione	Tipo prova
DH	45	23/02/2024	Prova sismica Down Hole (in sondaggio S3)
MASW-G1	30	15/01/2024	Stendimento sismico MASW Multi-channel Analysis of Surface Waves
L1_MASW 2D	25	Gennaio/Febbraio 2024	Stendimento sismico MASW 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves
L2_MASW 2D	25	Gennaio/Febbraio 2024	Stendimento sismico MASW 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves
L1 TOM E	30	Gennaio/Febbraio 2024	Tomografia elettrica
L2 TOM E	30	Gennaio/Febbraio 2024	Tomografia elettrica
T1 TOM E	30	Gennaio/Febbraio 2024	Tomografia elettrica

Indagini sismiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024 in corrispondenza dell'area in esame.

- ⇒ La caratterizzazione geologica e stratigrafica dell'area in esame e la costruzione del profilo geologico in corrispondenza del tratto interessato dalla costruzione del diaframma sono stati eseguiti elaborando le prove geognostiche eseguite tra Gennaio e Aprile 2024. Le indagini eseguite e consultate hanno evidenziato la presenza dei seguenti livelli:

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 121 / 126

		Profondità base livello	
		DA SOMMITÀ ARGINALE	DA P.C.
L1	<p>- <i>Argine – L1</i>: rilevato arginale, costituito da terreno di riporto limo-argilloso; in superficie le prove hanno attraversato anche un livello di circa 1 m di materiale che costituisce il sottofondo stradale. Il livello è stato riconosciuto sia lungo le verticali delle prove CPTu, eseguite tutte a partire dalla sommità arginale, che in corrispondenza dei sondaggi S3_DH e S4, eseguiti in sommità arginale. È costituito prevalentemente da terreni limosi/limo sabbiosi. Il livello è presente sino a -4/-4.5 m da sommità arginale. <i>Parametri caratteristici del livello: qc = 0.6/0.9 MPa; Vs = <200 m/s;</i> <i>Resistività < 70-50 ohm*m</i></p>	-4/4.5 m da sommità arginale	-
L2	<p>- <i>Livello L2</i>: coltre alluvionale di superficie prevalentemente limosa-argillosa con presenza di sabbia. Questo livello, prevalentemente limo argilloso, è stato attraversato da tutte le prove, è presente a partire da p.c. (quindi si trova al di sotto dell'argine sopra descritto/a partire dalla base arginale) sino a profondità di -4/7.5 m da p.c. <i>Parametri caratteristici del livello: qc = 0.7/1.1 MPa; Vs = 190/200 m/s;</i> <i>Resistività < 70-30 ohm*m</i></p>	-7/11 m da sommità arginale	-4/7.5 m da p.c.
L3	<p>- <i>Livello L3</i>: livello prevalentemente costituito da sabbia e sabbia limosa. Il livello è presente a partire da -4/7.5 m da p.c. sino a circa -8/13 m da p.c. <i>Parametri caratteristici del livello: qc = 1.2/4.7 MPa; Vs = 200-250 m/s;</i> <i>Resistività = 70-30 ohm*m</i></p>	-12/16.5 m da sommità arginale	-8/13 m da p.c.
L4	<p>- <i>Livello L4</i>: livello prevalentemente costituito da sabbia/sabbia limosa con presenza di orizzonti di ghiaia fine. Il livello è presente a partire dai 8/13 m da p.c. sino a circa 23.5/26.0 m da p.c. La maggior parte delle prove penetrometriche statiche raggiunge il rifiuto in corrispondenza di questo livello. Attraverso i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti è stato possibile verificare che la base del livello è presente a circa 23-26 m da p.c. <i>Parametri caratteristici del livello: qc = 6/12.7 MPa; Vs = 250-350 m/s;</i> <i>Resistività > 70-90 ohm*m</i></p>	-29/-30 m da sommità arginale	-23.5/26 m da p.c.
L5	<p>- <i>Livello L5</i>: livello prevalentemente costituito da argilla limosa. Il livello è presente a partire da 23.5/26 m da p.c. <i>Parametri caratteristici del livello: Vs = 350-400 m/s.</i></p>	-35/-39 m da sommità arginale	-31/33 m da p.c.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto Esecutivo	
SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE	
Codice elaborato:	PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione geologica
pag. 122 / 126	

		Profondità base livello	
		DA SOMMITÀ ARGINALE	DA P.C.
L6	- <i>Livello L6</i> : A partire da profondità superiori ai 35/38.6 m da sommità arginale la litologia prevalente risulta essere costituita da limo sabbioso con presenza di sacche decimetriche di sabbia/sabbia limosa debolmente ghiaiosa. Il livello è stato riconosciuto in corrispondenza dei sondaggi geognostici che hanno raggiunto la profondità massima di -45 m da sommità arginale. <i>Parametri caratteristici del livello: Vs (prova DH)= >400 m/s.</i>		

Per la stima dei parametri geotecnici caratteristici di ogni livello si rimanda all'elaborato PE.0.1.6.GET.GE.R.T.0.0.1 Relazione Geotecnica.

⇒ Attraverso gli elaborati

PE.0.1.6.GEO.GE.S.Z.0.0.1-Sezioni Geologiche

PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.1-Profilo Geologico

PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.2-Profilo Geologico + stendimento MASW 2D

PE.0.1.6.GEO.GE.P.F.0.0.3-Profilo Geologico + stendimento Tomografia Elettrica

è possibile osservare la ricostruzione della stratigrafia ottenuta dall'insieme delle informazioni ricostruite attraverso le indagini geognostiche (sondaggi a carotaggio continuo e prove CPTu) e le indagini geofisiche (stendimenti MASW 2D e stendimenti di tomografia elettrica).

Gli stendimenti di sismica MASW 2D lungo il profilo dell'area in esame hanno permesso di riconoscere una certa omogeneità laterale in termini di Vs registrate per i primi 20 m da sommità arginale; sono riconoscibili infatti strati sub orizzontali, a basso angolo di pendenza.

Gli stendimenti di geoelettrica eseguiti nell'area in esame hanno permesso di individuare bene lo spessore dell'argine, dove si concentrano valori di resistività medio bassi (40-70 ohm*m) e si è in una condizione di presenza di terreno insaturo (la falda si trova, per quasi tutto il profilo in esame, a profondità maggiori della base arginale). I primi livelli al di sotto dell'argine presentano resistività più basse (<50/40 ohm*m), si passa da un insaturo (livello rappresentato dall'argine) ad un terreno sotto falda (saturo).

Negli elaborati suddetti sono state segnalate inoltre le anomalie di resistività individuate lungo gli stendimenti.

⇒ Lo studio dei dati piezometrici relativi al sito oggetto di studi ha tenuto in considerazione diverse fonti. Innanzi tutto sono stati considerati i dati relativi alla profondità della falda misurata durante l'esecuzione delle indagini geognostiche.

È stato inoltre consultato il PSC del comune di Caorso ed in particolare la Relazione Geologica e le Tavole B_05 "Carta idrogeologica" e B_06 "Carta dell'idrografia di superficie". L'area in esame risulta compresa tra le curve isofreatiche di 42 e 41 m s.l.m.

La campagna di indagini eseguita tra Gennaio e Aprile 2024 ha visto inoltre l'installazione di un sistema di monitoraggio della falda, costituito da piezometri ad infissione. I piezometri ad infissione installati sono stati collegati ad un sistema di monitoraggio in continuo e da remoto.

⇒ È stata periodicamente consultata la piattaforma che permette il controllo da remoto dei dati piezometrici. Nel periodo tra Aprile 2024 e Febbraio 2025 la profondità della falda in corrispondenza dell'area in esame è variata tra:

- Sommità arginale: +42.42 ÷ 40.0 m s.l.m. (livello massimo e minimo registrato in corrispondenza del piezometro DT0015)
- Piano campagna: +42.93 ÷ 40.6 m s.l.m. (livello massimo e minimo registrato in corrispondenza del piezometro DT0014)

Piezometro	Centralina	Posizione	Quota p.c.	Livello massimo m slm	Livello minimo m slm
DT0015	ID0286	Sommità arginale	+48.5	+42.42 Ottobre 2024	+40.0 Agosto 2024
DT0014	ID0285	Piano campagna	+43.5	+42.93 Ottobre 2024	+40.6 Agosto 2024

Valori di soggiacenza (m slm) minimo e massimo.

- ⇒ Si precisa che il monitoraggio della falda nell'area in esame attraverso il sistema installato è proseguito nella fase di Progetto Esecutivo e proseguirà sino al periodo di inizio lavori (e finché questi non coinvolgeranno le aree occupate dai piezometri in oggetto).
- ⇒ La correlazione tra i livelli piezometrici rilevati dagli strumenti installati e le quote idrometriche del Fiume Po evidenzia una stretta relazione: all'innalzare del livello idrometrico la quota di falda si approssima a piano campagna. La particolarità dei rilievi eseguiti è il fatto che il piezometro lato campagna (esterno all'alveo e all'argine) presenta una piezometria a quote maggiori ad indicare come la falda sembra localmente drenata dal corso d'acqua (F. Po); il divario piezometrico tra i due strumenti è di circa 60 cm in periodo di magra e si riduce a circa 20 cm e tende ad azzerarsi durante le piene fluviali.

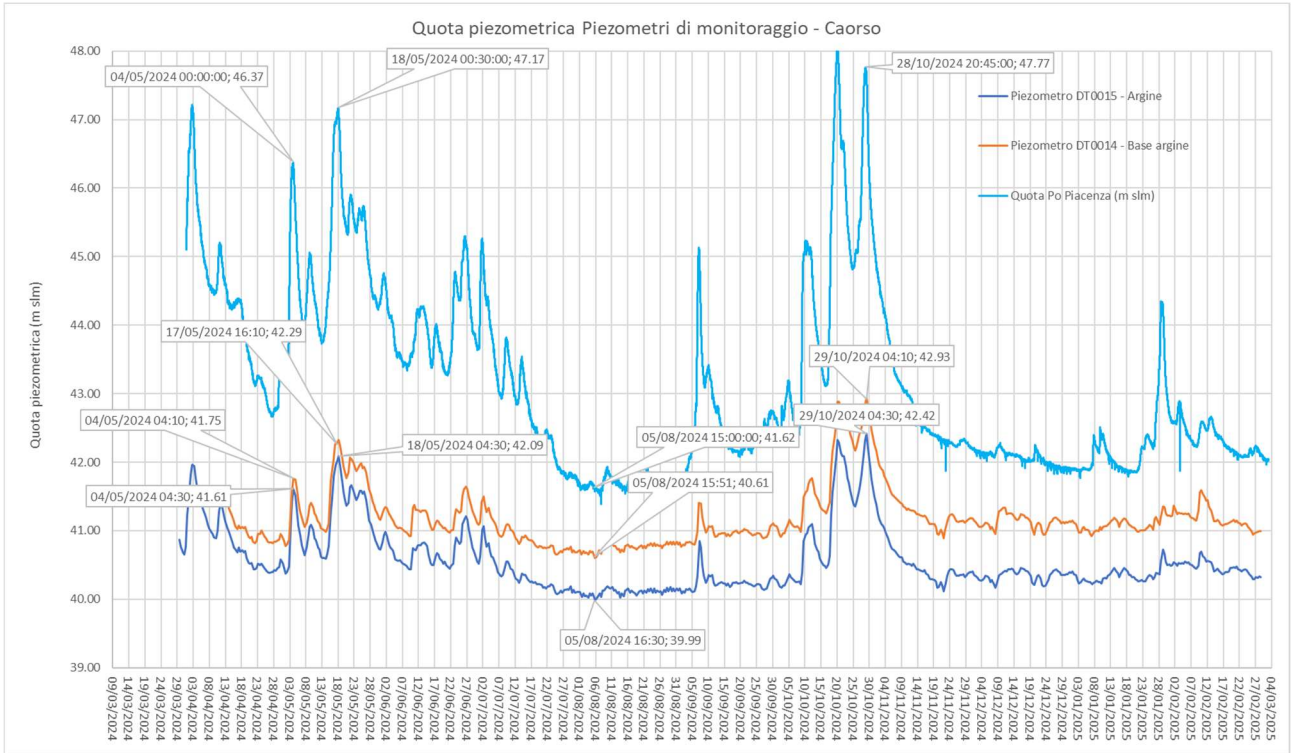


Figura 72. Variazione livello falda (m s.l.m.) – Periodo Aprile 2024 – Febbraio 2025 (PZ_DT0014 – base arginale in arancione e PZ_DT0015 sommità arginale in blu) correlata alla variazione del livello idrometrico del Fiume Po (dati da stazione di Piacenza).

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 124 / 126

⇒ Sono state eseguite n°2 prove di portata in corrispondenza dei pozzi e piezometri realizzati lungo due punti (due campi prova) presso il tratto di argine in esame. Entrambi i campi prova sono costituiti da n°1 pozzo profondo 25 m, e n° 3 piezometri profondi 25 m (si veda in dettaglio il paragrafo 4).

In corrispondenza di entrambi i campi prova è stata eseguita una preventiva prova di pompaggio a gradini ed una successiva prova di pompaggio a lunga durata.

Le prove di pompaggio a lunga durata hanno permesso di determinare i seguenti valori di permeabilità dei livelli L3 ed L4 costituenti l'acquifero:

Pozzo 1					
Sigla piezometro		Q m ³ /h	T m ² /s	S	K m/s
P1	pompaggio	49.82	3.44E-02	6.91E-04	1.87E-03
	risalita		2.48E-02		1.35E-03
P2	pompaggio	49.82	3.39E-02	2.89E-03	1.84E-03
	risalita		2.90E-02		1.58E-03
P3	pompaggio	49.82	3.59E-02	1.54E-03	1.95E-03
	risalita		2.70E-02		1.47E-03

Pozzo 2					
Sigla piezometro		Q m ³ /h	T m ² /s	S	K m/s
P1	pompaggio	47.84	3.50E-02	8.35E-04	1.84E-03
	risalita		2.22E-02		1.17E-03
P2	pompaggio	47.84	3.64E-02	7.12E-03	1.92E-03
	risalita		2.78E-02		1.46E-03
P3	pompaggio	47.84	4.51E-02	1.04E-03	2.38E-03
	risalita		2.63E-02		1.38E-03

Risultati prova di portata Pozzo 2. Legenda: Q = portata di pompaggio; T = trasmissività; S = coefficiente di immagazzinamento; k = coefficiente di permeabilità.

⇒ Per la stima dei valori di permeabilità di ciascun livello individuato in corrispondenza dell'area e attraversato dalle prove geognostiche sono state considerate le risultanze di alcune prove eseguite in corrispondenza del sito di studi.

Il valore di permeabilità dei livelli costituenti l'acquifero è stato stimato attraverso le prove di portata riassunte in precedenza e riportate al paragrafo 3.

Per quanto riguarda i livelli prevalentemente coesivi presenti nell'area di studio sono stati considerati i valori di permeabilità stimati attraverso le prove Lefranc eseguite in corrispondenza delle verticali di sondaggio.

La tabella che segue riassume i valori di permeabilità caratteristici individuati per ogni livello.

SCHEDA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 125 / 126

Livello		Valore di permeabilità da prove Lefranc (range valore minimo/valore massimo)	Valore di permeabilità da prove pozzo (range valore minimo/valore massimo)	VALORI CARATTERISTICI	
		k (m/s)	k (m/s)	k (m/s)	NOTE
L1	coesivo/misto	1.22E-08/1.31E-06	-	1.22E-08/1.31E-06	per l'argine sono stati considerati i valori di permeabilità ottenuti dalle prove Lefranc eseguiti al tetto del livello L2
L2	coesivo	1.22E-08/1.31E-06	-	1.22E-08/1.31E-06	
L3	granulare	3.80E-05/1.40E-04	1.17E-03/2.38E-03	1.17E-03/2.38E-03	considerati caratteristici i valori ottenuti da prove di portata
L4	granulare	6.44E-07/1.65E-04	1.17E-03/2.38E-03	1.17E-03/2.38E-03	
L5	coesivo	1.22E-09/3.65E-08	-	1.22E-09/3.65E-08	

SCHEMA N. 16 CAORSO (PC) – PROGETTO DIAFRAMMATURE

Codice elaborato: PE.0.1.6.GEO.GE.R.T.0.0.1.A

Titolo elaborato: Relazione geologica

pag. 126 / 126

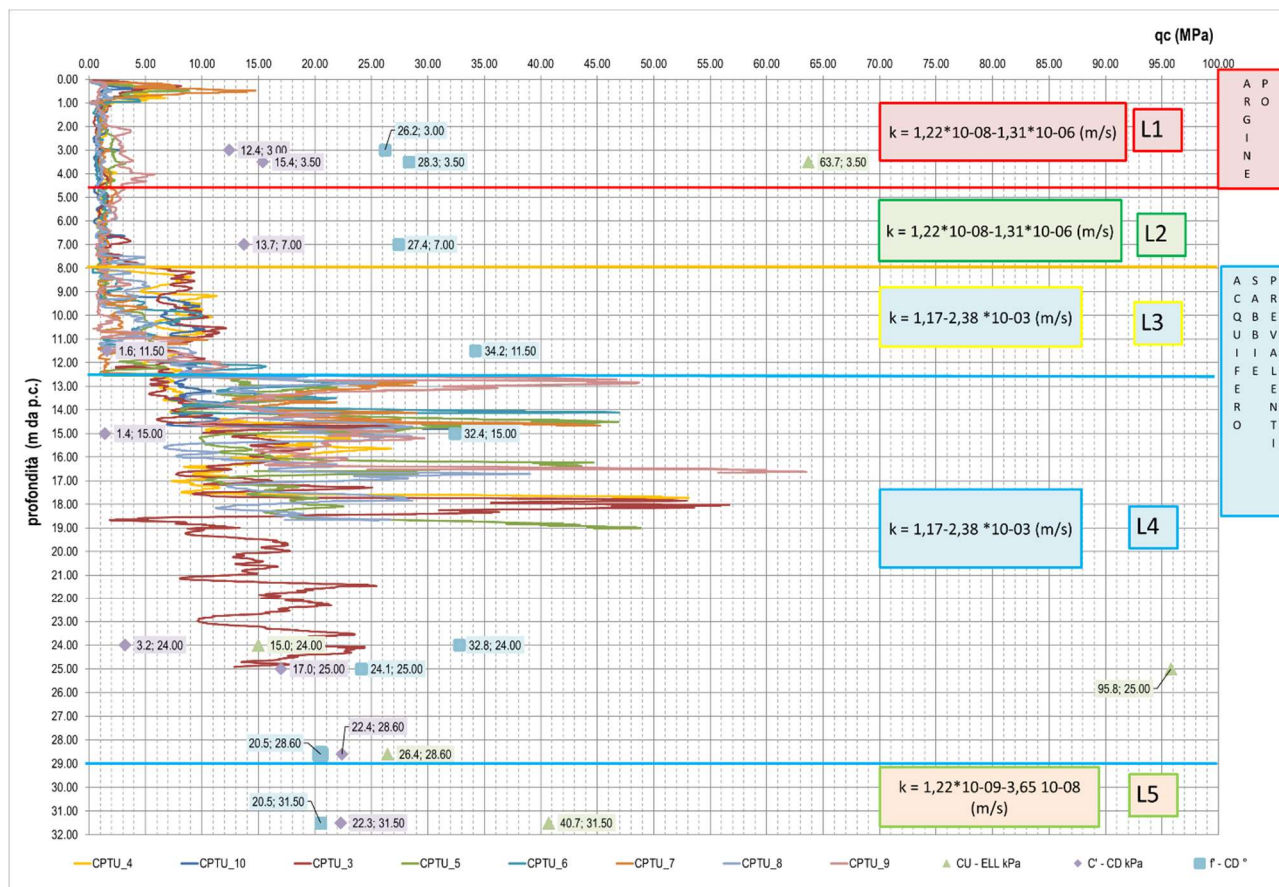


Figura 73. Relazione tra prove CPTu, parametri geotecnici principali da prove di laboratorio (Cu, C' e f) e livelli litologici individuati – si riporta anche sintesi dei parametri idrogeologici.

Marzo, 2025



Giancarlo Bonini

Dott. Geol. Giancarlo Bonini