



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



PROTEZIONE CIVILE  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza  
Missione 2 - Componente 4 - Sub-investimento 2.1b



Agenzia Interregionale per il fiume Po



ARGINE DESTRO DEL FIUME PO DI VENEZIA IN COMUNE DI  
CORBOLA LAVORI DI SISTEMAZIONE ARGINALE

CUP B48H22000200006  
PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO: <b>RT04</b>	TITOLO:  <b>RELAZIONE GEOLOGICA RO-E-1438</b>	CODICE COMMESSA:
SCALA: -		CODICE FILE:

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO
0	Aprile 2023	PRIMA EMISSIONE	Ing. Orcali	Ing. Zin	Ing. Cerchia

COMMITTENTE:

**Agenzia Interregionale per il fiume Po - Ufficio operativo  
di Rovigo**

Corso del Popolo 129 - 45100 - (RO)

email: [ufficio-ro@agenziapo.it](mailto:ufficio-ro@agenziapo.it)

Pec: [ufficio-ro@cert.agenziapo.it](mailto:ufficio-ro@cert.agenziapo.it)

Il Responsabile del Procedimento

Dott. Ing. Ettore Alberani

PROGETTAZIONE:

**EOS Ingegneria**

Via Tione, 3/A - 37069 Villafranca di Verona - VR

e-mail: [info@eosingegneria.com](mailto:info@eosingegneria.com) - Tel. 045/2213000 - Fax. 045/2213000

C.F./P.IVA: 02503920205 - SDI: KRRH6B9

**EOS**  
INGEGNERIA

Responsabile della progettazione:

Ing. Paolo Cerchia

# EOS

---

INGEGNERIA

COMUNE di CORBOLA

## RELAZIONE GEOLOGICA

---

Data	06/03/2023	
Commessa	23-S006	
Codice	R2-1	
Rev.	Redatto	Approvato
1	EN	GC

Sistema  
di gestione  
della qualità  
certificato



## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
2.1	Normativa di riferimento .....	5
2.2	Elaborati di progetto .....	5
2.3	Bibliografia .....	5
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>11</b>
4.1	Assetto geologico-geomorfologico locale .....	15
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA .....</b>	<b>22</b>
6.1	Piano Assetto territorio (PAT), Comune di Corbola .....	22
6.2	Idrogeo, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.....	25
6.3	PAI Delta, Autorità di bacino Distrettuale del Fiume Po .....	26
6.4	Piano territoriale Regionale di Coordinamento, Regione Veneto .....	27
<b>7</b>	<b>INDAGINI A DISPOSIZIONE .....</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>RISULTATI DELLE INDAGINI.....</b>	<b>30</b>
8.1	Sondaggi geognostici .....	30
8.2	Prove Penetrometriche di tipo Standard Penetration Test (SPT).....	30

8.3	Valutazione della permeabilità con prova di permeabilità in foro a carico variabile .	31
8.4	Prove di laboratorio .....	32
8.5	Prova penetrometrica statica con piezocono e con piezocono sismico (CPTU e SCPTU)	34
8.6	Misure del livello della falda.....	34
8.7	Indagini Geoelettriche.....	35
9	<b>MODELLO GEOLOGICO .....</b>	<b>36</b>
10	<b>STUDI SISMICI DELL'AREA .....</b>	<b>37</b>
11	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE .....</b>	<b>41</b>
12	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>43</b>
	<b>ALLEGATO: PROFILO GEOLOGICO .....</b>	<b>45</b>

## 1 PREMESSE

La presente relazione riguarda lo studio geologico nell'ambito del progetto per il miglioramento della tenuta idraulica di un tratto dell'argine in sponda destra del Fiume Po nel comune di Corbola, per l'Agenzia Interregionale per il fiume Po di Rovigo (AIPO Rovigo). La necessità di intervenire in tale area è motivata dalla formazione locale di alcuni fontanazzi a lato campagna, avvenuti in occasione delle piene, in particolare quella di novembre 2014.

Il progetto prevede la realizzazione di un diaframma in conglomerato cementizio plastico di tenuta idraulica per un tratto di circa 600 m.

Il presente documento è la relazione geologica volta a restituire il modello geologico ed idrogeologico del sito come previsto dal paragrafo 6.2.1 delle NTC 2018.

Il presente studio si pone i seguenti obiettivi:

- inquadramento geografico;
- inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico;
- descrizione delle indagini eseguite durante le campagne geognostiche;
- modellazione geologica;
- inquadramento sismico e definizione dell'accelerazione sismica;
- conclusioni in merito alla fattibilità geologica, idrogeologica e sismica del progetto.

A tale scopo, oltre ad uno studio dei dati bibliografici disponibili, è stato possibile consultare alcune indagini geognostiche, dati stratigrafici e di permeabilità forniti da AIPO Rovigo, che ha eseguito una campagna di indagini nell'area in oggetto condotta nel 2022 da *Sevizi Geologici Srl*.

Per la valutazione dell'efficacia del diaframma tramite le verifiche di sicurezza del rilevato arginale, secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM del 17 Gennaio 2018 (NTC 2018), si rimanda alla Relazione geotecnica.

## **2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### **2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Nuove “Norme tecniche per le costruzioni” Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018.
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. 1977 AGI – Associazione Geotecnica Italiana;
- Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida 2005 AGI - Associazione Geotecnica Italiana;
- AGI (1994) Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio. Associazione Geotecnica Italiana;
- Linee guida per l'esecuzione degli interventi di adeguamento delle arginature di Po sia in corso di esecuzione che di progettazione. – Direttiva del Magistrato per il Po (Parma, 22 luglio 1998).
- UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2:2007 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- Circolare del 2 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. recante le Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»;

### **2.2 ELABORATI DI PROGETTO**

- Servizi Geologici S.r.l. (settembre 2022), Indagini geologiche e geotecniche per la caratterizzazione dei terreni RO-E-464M, eseguite per Agenzia Interregionale per il Fiume Pa-AIPo.

### **2.3 BIBLIOGRAFIA**

- Autorità di bacino del Fiume Po (2007). Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del Fiume Po (PAI Delta) con deliberazione CI n.5 del 9 luglio 2007.
- Castellarin, A., C. Eva, G. Giglia, G. B. Vai, E. Rabbi, G. A. Pini and G. Crestana (1985). Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. Giorn. Geol., 3a, 47/1-2;
- Cibi U., Stefani M. M. Bondesan, L. Cattani, A. Ceriani, M.L. Colalongo, A. Di Giulio, L. Marchesini, N. Pugliese, F. Serra, E. Tsakiridis, S.C. Vaiani, S. Vincenzi (2009). Foglio 187 *Codigoro* della Carta Geologico d'Italia alla scala 1:50.000 e Note illustrative, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia;

- Colleselli et al (1994) “Problemi Geotecnica relativi alle arginature ed alle sponde di fiumi e canali” CISM International Centre for Mechanical Sciences
- DISS 3.3.0. DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>;
- Jamiolkowski M, Lo Presti D.C.F., Garizio G.M. (2001) “Correlation between relative density and cone resistance for silica sands” Jubilee Volume
- Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) “New correlations of penetration tests for design practice” Proceedings of 1st International Symposium on Penetration Testing ISOPT I, Orlando FLA
- Mayne P.W., Peuchen.J (2018) “Evaluation of CPTU Nkt cone factor for undrained strength of clays” Delft University of Technology, Netherlands
- Meloni F., Molin D. (dicembre 1988). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale di geofisica della terra solida, Atti del convegno Vol. 1, CNR Roma;
- Meloni F., Molin D., Rossi A. (dicembre 1987). Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale di geofisica della terra solida, Atti del 7° convegno Vol. 1, CNR Roma;
- Ravagnani Fabrizio (dicembre, 2009). Relazione idraulica ed idrologica, Elaborato B3, Piano Assetto del Territorio, Comune di Corbola;
- Regione Veneto (2020). Piano Territoriale di Coordinamento PTRC, Allegato E Norme Tecniche e Tav. 01c. Approvato con del. di Consiglio Regionale n. 62 del 30 giugno 2020 (BUR n. 107 del 17 luglio 2020);
- Romanato C., DeBattisti L. (dicembre, 2009). Carta delle Fragilità e Carta delle Invarianti alla scala 1:10.000, Piano Assetto del Territorio, Comune di Corbola.
- Romanato C., DeBattisti L., Massarotto A., Milan L. (2009). Norme Tecniche, Elaborato A5, Piano Assetto del Territorio, Comune di Corbola;
- Schmertmann J.H. (1977) “Interpreting the dynamics of the Standard Penetration Test” University of Florida, Gainesville, FLA.



### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Corbola è collocato in provincia di Rovigo, nel territorio del Delta Veneto, a circa 35 km dalla foce del fiume Po (Figura 3.1, Figura 3.2).

L'area degli interventi si colloca all'interno degli elementi n. 169130, 169140 della Carta Tecnica Regionale (Figura 3.3).

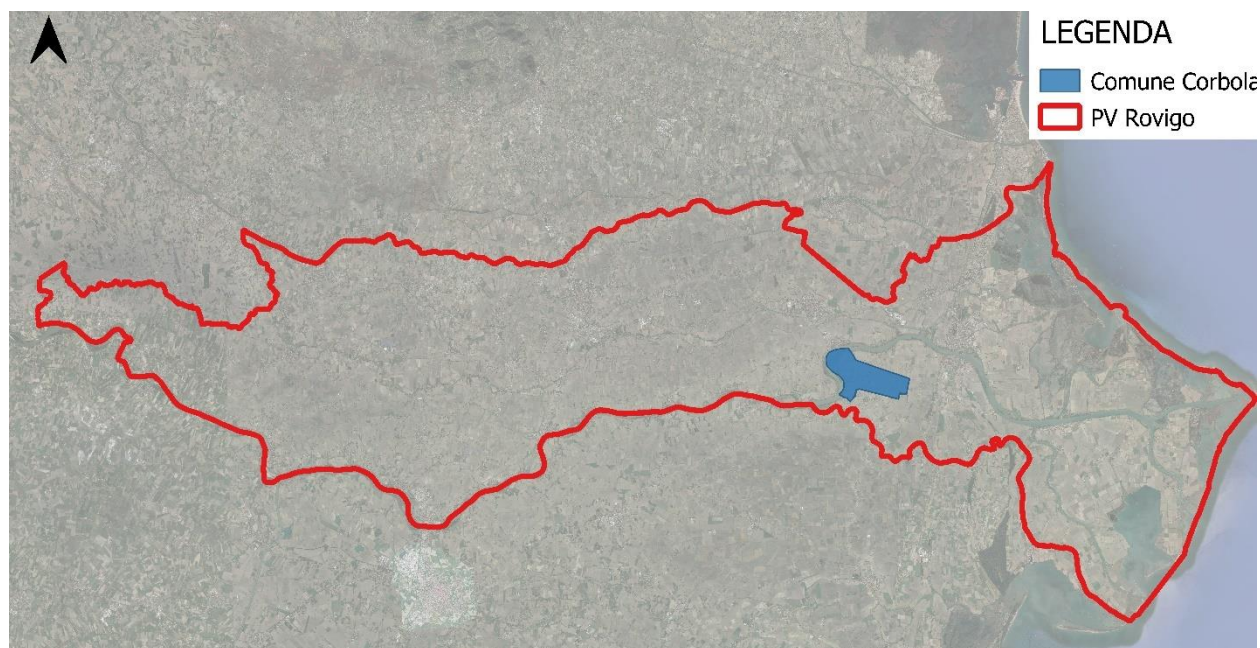
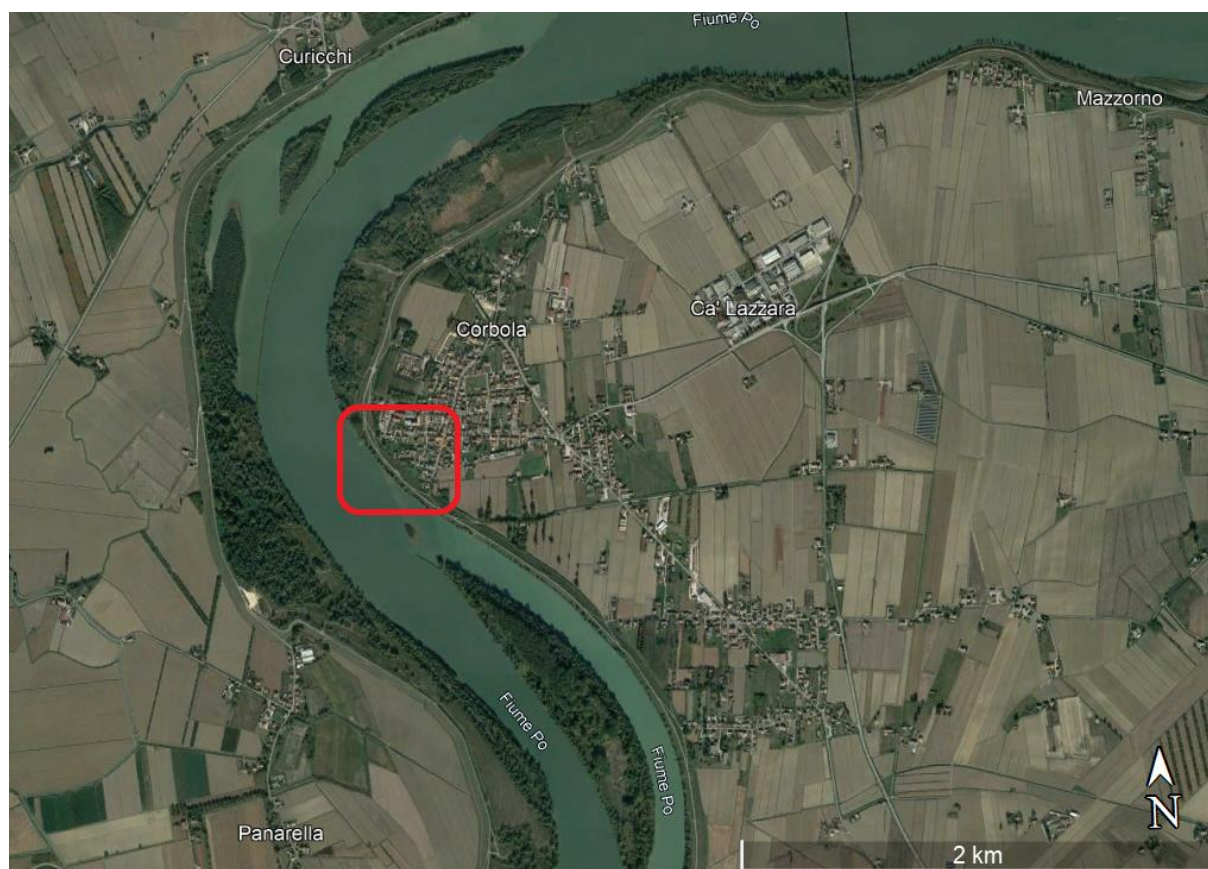


Figura 3.1 Limiti della provincia di Rovigo e comune di Corbola su immagine satellitare (Google Earth, 2023)





*Figura 3.2 Inquadramento dell'area oggetto dell'intervento. In rosso l'ubicazione approssimativa dell'intervento*

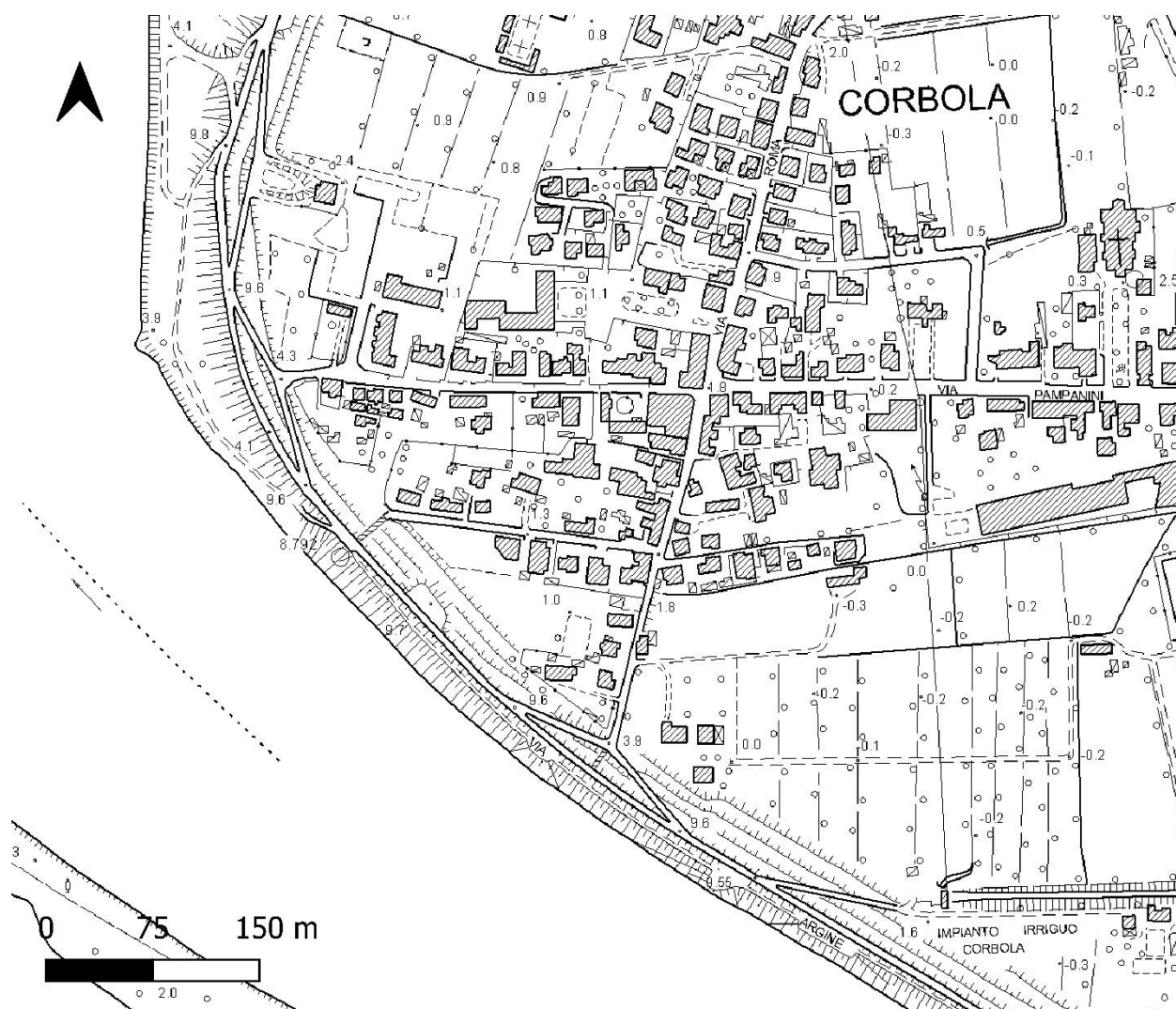


Figura 3.3 Inquadramento su Carta Tecnica Regionale: elementi n. 169130, 169140

Nella seguente Figura vengono rappresentate le sezioni trasversali disponibili, rilevate topograficamente nel 2022, e le progressive di progetto. Inoltre, nella stessa area di interesse è stata effettuata una batimetria per valutare la quota dell'alveo del fiume.

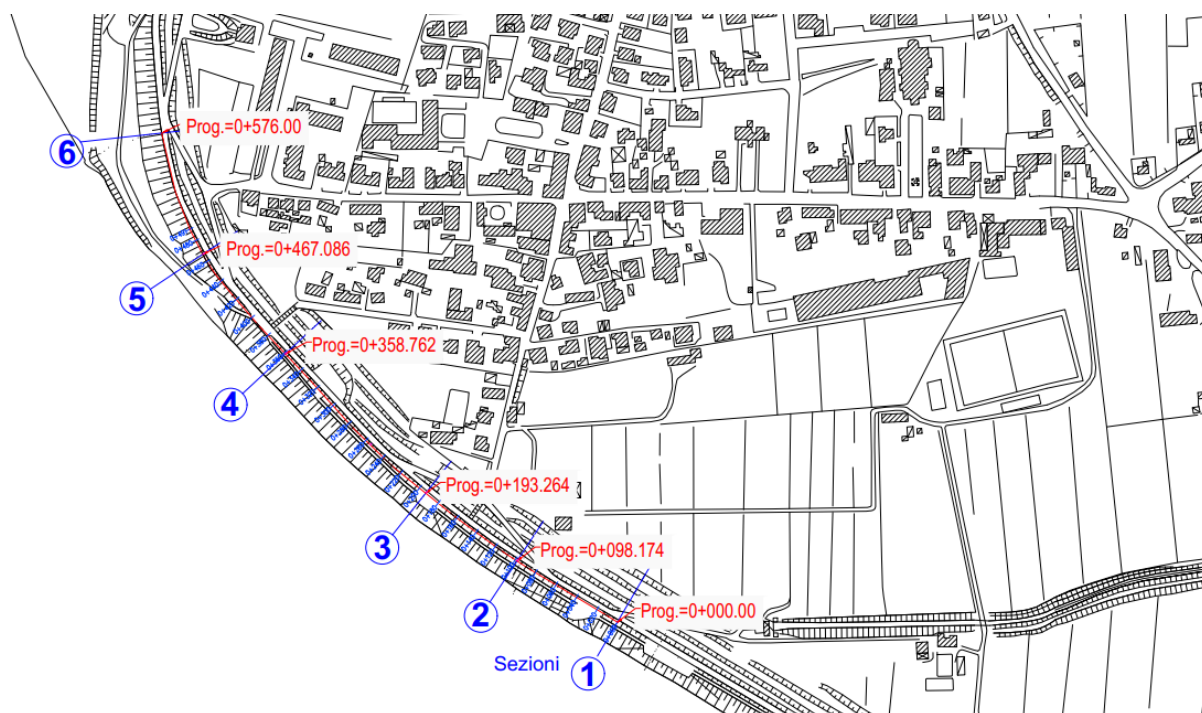


Figura 3.4 Progressive chilometriche dell'area di intervento ed ubicazione sezioni trasversali disponibili

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Comune di Corbola si colloca nella parte settentrionale dell'area di piana costiera in cui affiorano esclusivamente sedimenti terrigeni olocenici accumulati dal Sistema deltizio del Po. Il sistema deltizio del Po è confinato a Nord da quello dell'Adige, a Sud dai sistemi fluviali appenninici e a Est si incontra la fascia costiera caratterizzata dalla presenza di cordoni sabbiosi litoranei. La parte più orientale, ricca di sedimenti costieri fini, è formata dai depositi dell'attuale apparato deltizio del Po, cresciuto durante gli ultimi quattro secoli.

La Pianura Padana nel periodo pre-Quaternario ha costituito inizialmente l'avampaese delle strutture alpine ed appenniniche e poi l'avanfossa prima del Subalpino (nell'Oligocene) e poi anche dell'Appennino (nel Messiniano).

Tuttavia, i primi 40 m di sottosuolo della pianura orientale registrano le fluttuazioni eustatiche e climatiche del periodo tardo quaternario.

Durante l'ultima glaciazione (Wurmiana) fino a circa 18.000 anni fa il livello eustatico era più basso dell'attuale di circa 120 m e, in corrispondenza della Pianura Padana, si instaurarono grossi sistemi fluviali con portate di piena molto elevate in grado di trasportare ingenti quantità di sedimento grossolano. In corrispondenza della parte orientale della Pianura Padana si formò un grande corpo continuo di sabbie di pianura alluvionale fredda.

Seguì una fase di riscaldamento climatico e deglaciazione dell'arco alpino accompagnata ad un innalzamento eustatico durante i quali si alternarono fasi veloci di trasgressione e fasi di relativa stabilità della linea di costa.

Circa 11.000 anni fa un'altra pulsazione trasgressiva portò allo sviluppo di depositi deltizi deposti in ambienti sottomarini e, a seguito di un ulteriore innalzamento del livello eustatico, si innescò un'attività di sedimentazione di piana costiera con lo sviluppo di ampie paludi e laghi costieri dulcicoli che evolvevano rapidamente a condizioni salmastre.

La massima trasgressione si sviluppò probabilmente tra 6000-5500 anni fa quando l'aumento del livello marino relativo e il tasso di sedimentazione si compensavano reciprocamente.

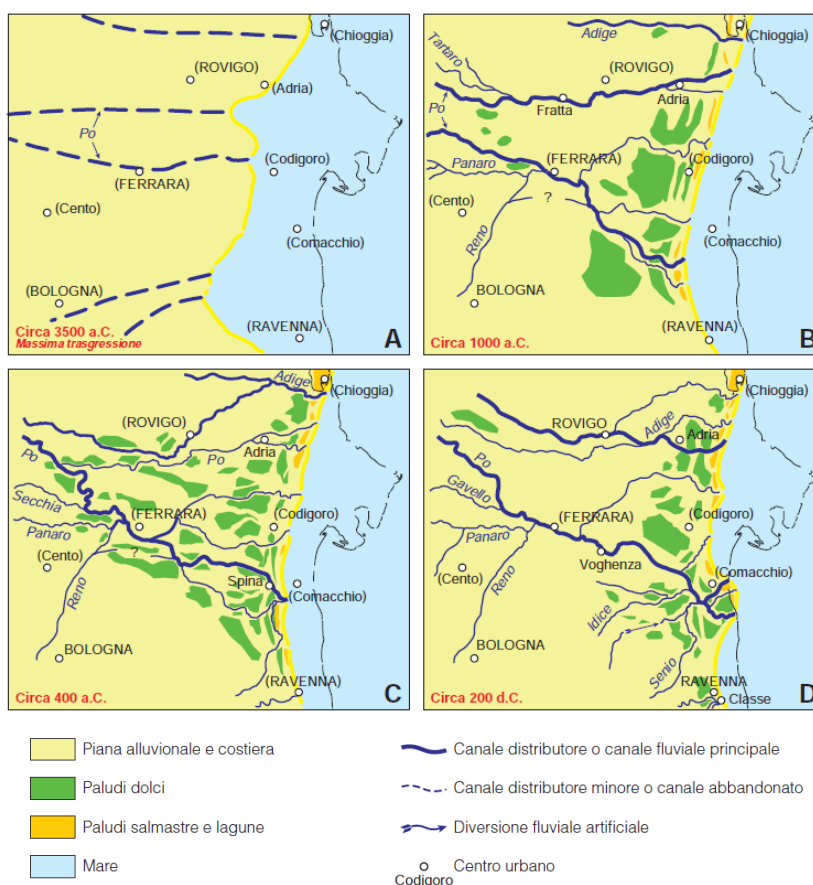
I depositi trasgressivi sono mai affioranti, a differenza, invece, della successione regressiva che si impostò nell'epoca successiva, durante la quale ci fu un'evoluzione da condizioni marine a condizioni di ambiente continentale.

A seguito della massima trasgressione, la componente eustatica era ormai nettamente subordinata alla subsidenza locale. In questa fase rimanevano attivi i sistemi di delta-estuario,



nei quali si depositavano rapidamente grandi volumi di sabbie senza però lo sviluppo di veri e propri cordoni costieri (Figura 4.1, A). Con il tempo ci fu una progradazione delle bocche deltizie e una chiusura delle baie costiere senza che avvenisse una sostanziale progradazione della linea costiera.

Soltanto tra il XII e il X sec a.C. quando il clima era freddo e ventoso si creò un sistema continuo di spiagge e cordoni litorali ad alta energia (Figura 4.1, B) in cui i sedimenti sabbiosi erano distribuiti lungo la fascia costiera grazie al contesto meteomarinico particolarmente attivo, con forti venti, sia di bora che di scirocco, e da un accentuato moto ondoso, tali da impedire la protrusione di lobi deltizi.



*Figura 4.1 Ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dei canali distributori e dei lobi deltizi del Po e di fiumi veneti ed appenninici, a partire dalla massima trasgressione fino all'età romana imperiale (Cibin U. et al., 2009).*

Durante il VII-VI secolo a.C. un clima più mite e la diminuzione dell'attività eolica favorirono la crescita di varie generazioni di lobi deltizi cuspidati sempre asimmetrica in direzione settentrionale a causa dei venti di Scirocco.

Fra VI secolo a.C. ed il V secolo d.C., il reticolo fluviale rimase relativamente stabile, pur subendo continue modifiche di dettaglio e l'evoluzione sedimentaria iniziò ad essere governata anche dai primi interventi antropici (Figura 4.1, C-D).

Tra il V e il VII sec d.C. la pianura alluvionale "romana" fu spesso sepolta da vari metri di sedimento, la deposizione fluviale produceva una rapida aggradazione degli alvei e si diffondeva la presenza di stagni dolci. Il canale principale del Po migrò in una posizione più settentrionale, divergendo nei due canali distributori (Volano e Primaro) nei pressi del sito ove sorgerà presto Ferrara (Figura 4.2 A). Il canale distributore principale era quello del Volano alimentando la rapida progradazione di un lobo deltizio, con tassi di sedimentazione elevati (8 km in 500 anni fino all'attuale linea di costa).

Fra il XII e XIII secolo il Po migrò ancora più a Nord (Figura 4.2 B), aprendosi il corso attuale, mentre un altro ramo catturò un precedente canale distributore, formando l'attuale ramo del Po di Goro. Nella seconda metà del XVI sec furono effettuate delle bonifiche per gravità, prosciugando le paludi dolci e costruendo centinaia di km di canali e che convergevano in quattro collettori principali, che a loro volta scolavano a mare. Tra il 1600 e 1700 gli interventi antropici modificarono in modo ancor più radicale la dinamica sedimentaria, inducendo la rapidissima crescita del delta (Figura 4.2 D).

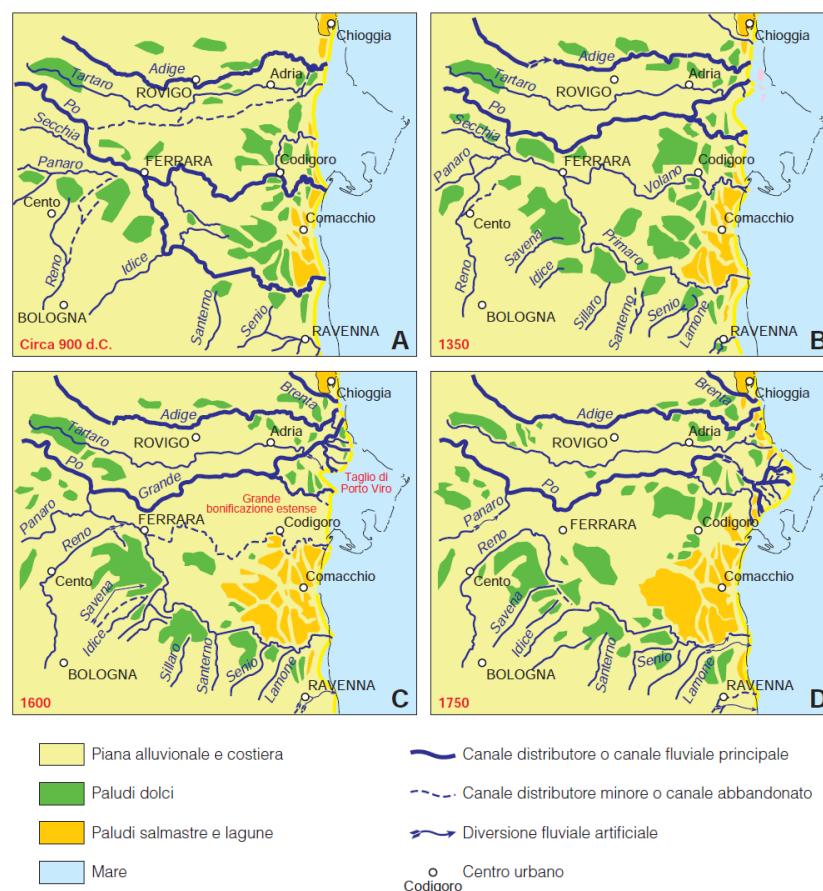


Figura 4.2 Ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dei canali distributori e dei lobi deltizi del Po e di fiumi veneti ed appenninici, degli ultimi 1200 anni (Cibin U. et al., 2009).

Durante gli anni successivi gli interventi antropici ebbero sempre un maggior impatto sul reticolo idrografico sia con le bonifiche sia anche con la costruzione di alte arginature costantemente innalzate. Dal '900 si iniziarono a costruire impianti idrovori lungo tutto il litorale veneto ed emiliano-romagnolo che ancora oggi mantengono asciutte tutte le aree costiere e impediscono una rapida trasgressione marina.

L'attività antropica come le bonifiche, l'emungimento eccessivo dei pozzi idrici e l'attività estrattiva del gas hanno creato un costipamento accelerato e accentuato il problema della subsidenza in questi territori.

Attualmente il problema della subsidenza è ben noto ed è legato sia ad attività antropiche, sia a cause naturali. Per quanto riguarda le cause naturali della subsidenza queste sono: la deformazione tettonica; perciò, il lento e continuo costipamento dei terreni quaternari con ha una velocità media di 2-3 m al secolo, e l'innalzamento eustatico del mare, che negli ultimi decenni sembra essere di circa 1.3 mm/anno (Cibin et al., 2009).



#### 4.1 ASSETTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO LOCALE

Il territorio comunale segue la storia geologica della Pianura Padana, ed è segnato, perciò, dalle variazioni evolutive sia della linea di costa sia soprattutto del reticolo idrografico. Le successioni sono costituite da depositi alluvionali a differente granulometria, proprietà indice e fisico-chimiche. I sedimenti che derivano dalle varie fasi deposizionali sono legati sia ad azioni di bassa energia medio-alta (sabbie  $\pm$  limose), che di bassa energia (terreni fini), con presenza di torbe interstrate nelle depressioni in cui maggiore è stato il ristagno idrico (Figura 4.3).

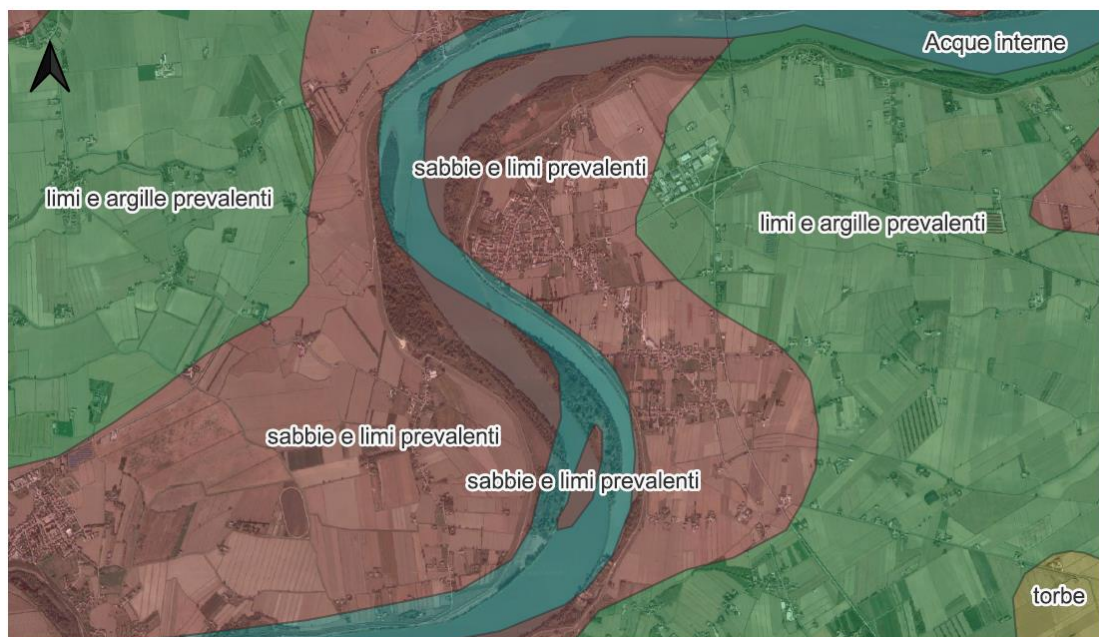


Figura 4.3 Carta litostratigrafica del Veneto a scala 1:100.000 (Regione del Veneto)

La morfologia del territorio comunale è caratterizzata dalla presenza degli argini del Po di Venezia, che si elevano significativamente rispetto al piano campagna, con quote alla sommità variabili tra 8 e 10 m s.l.m. Il resto del territorio comunale risulta abbastanza piatto con quote che discendono procedendo verso Est.

Nella seguente Figura 4.4, si riporta una sezione geologica trasversale del fiume Po tratta dalla sezione AA' della Carta geologica n. 187 *Codigoro* (Cibin et al., 2009) rappresentativa dell'area nei pressi dell'argine di Corbola, presso cui saranno effettuati gli interventi. Osservando la sezione Cibin et al. (2009), in corrispondenza dell'area in studio, è possibile trovare depositi di piana deltizia (sabbie di riempimento di canale, sabbie e limi di argine e rotta di canale distributore, argille e limi intercalate a torbe di piana interdistributrice dulcicola) che hanno inciso e si sovrappongono a depositi di fronte deltizia e piana di sabbia

(sabbie di duna eolica, di cordone litorale e spiaggia, argille e limi di palude e laguna, argille e limi di prodelta).

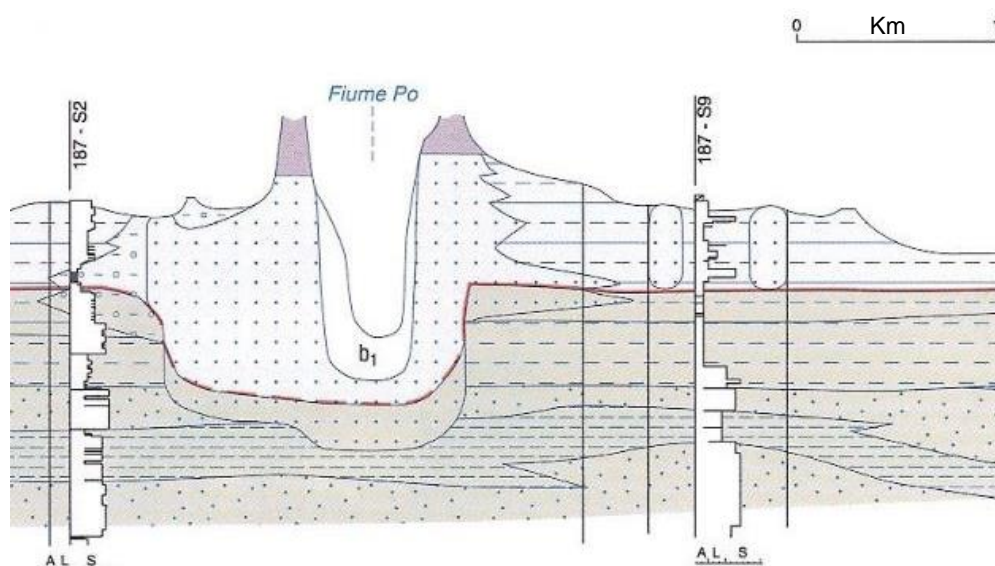


Figura 4.4 Estratto della sezione geologica AA' al fiume Po (Cibin U. et al., 2009). La sezione si trova sei km a sud dell'area in studio.

### LEGENDA

AES<sub>8a</sub>

AES<sub>8</sub>

#### Depositi di piana deltizia

Sabbie di riempimento di canale distributore

Sabbie e limi di argine e rotta di canale distributore

Argille, limi e torbe di piana interdistributrice dulcicola

Argine artificiale

Indagine geognostica della Banca Dati RER

Sondaggio Progetto CARG

#### Depositi di fronte deltizia e piana di sabbia

Sabbie di duna eolica

Sabbie di cordone litorale e spiaggia

Argille e limi bioclastici di palude salmastra e laguna

Argille e limi di prodelta

A: argilla, L: limo, S: sabbia

4.590±60 Età <sup>14</sup>C in anni B.p. (non cal.)

Reperto archeologico **R**: romano, **B**: bronzo

XVII sec. d.C. Età di lobo deltizio e cordone litorale

Limite di unità stratigrafica (certo, incerto)

Linee minori di correlazione stratigrafica all'interno delle singole unità (certa, incerta)

Di seguito si riportano delle descrizioni sintetiche tratte dalle Note illustrative del Foglio Codigoro (Cibin et al., 2009) delle unità geologiche rappresentate nella sezione geologica AA' al fiume Po di Cibin et al. (2009).

*AES<sub>8a</sub>: Unità di Modena (da circa 1500 anni all'Attuale)*

Si tratta della porzione più recente del AES<sub>8</sub>- Subsistema di Ravenna (che registra l'evoluzione prevalentemente progradante della linea di costa, attraverso gli ultimi 4000 anni). Il tetto corrisponde con l'attuale superficie topografica mentre la base può essere data o da un'antica linea di riva netta erosiva o da un contatto netto di sedimenti di piana alluvionale e deltizia di occupazione romana. Questo contatto corrisponde alla riorganizzazione idrografica, all'accelerazione dei processi sedimentari associati alla fine dell'Impero Romano. Il suo spessore varia tra 0 e 25 m.

*AES<sub>8b</sub>: Subsistema di Bazzano (tra circa 230.000 e 130.000 anni fa)*

Il subsistema è limitato a base e tetto da contatti trasgressivi su nette superfici di discordanza, spesso subaeree. Nella fascia costiera il AES<sub>8a</sub> i fanghi fluvio-palustri passano lateralmente e verticalmente ad argille organiche lagunari e sabbie di cordone litorale. L'unità mostra caratteri prevalentemente marini nell'area di Codigoro lo sviluppo d'argille di prodelta e di transizione alla piattaforma. Per la posizione stratigrafica, l'unità è riferibile al Pleistocene medio.



## 5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il territorio di Corbola è collocato nel delta del bacino del Fiume Po, in particolare sulla destra idrografica del Po appena dopo della sua suddivisione tra il ramo principale del Fiume Po e il ramo denominato Po di Goro, come mostra la seguente Figura.

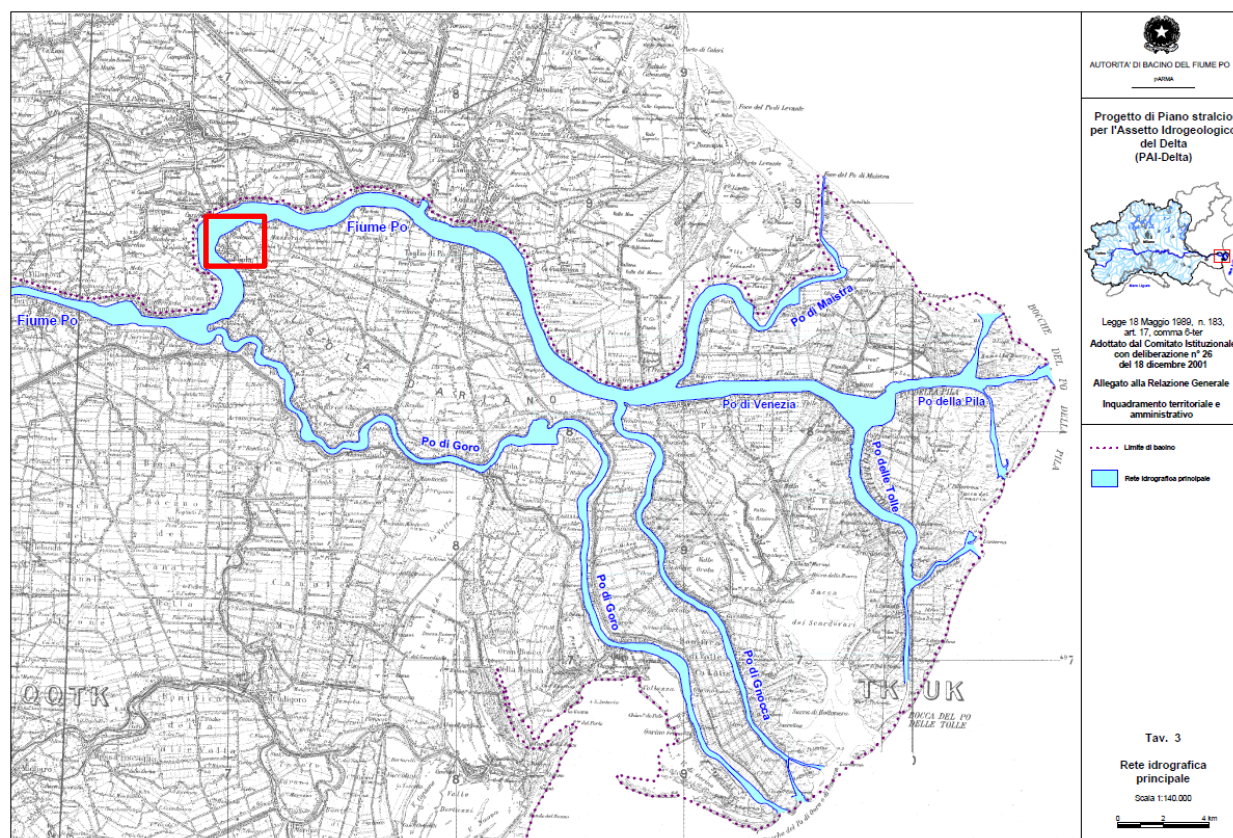


Figura 5.1 Carta della rete idrografica principale del delta del Fiume Po (Autorità di Bacino del Fiume Po, 2007)

Il territorio di Corbola presenta in genere livelli di falda variabili, influenzati dalla presenza del fiume Po. La direzione di filtrazione si attesta generalmente da Sud-Ovest verso Nord-Est, con un gradiente idraulico molto ridotto (Ravagnani F., 2009).

Per quanto riguarda la permeabilità, considerate le caratteristiche del terreno, e sulla base dei dati disponibili si possono assumere valori compresi tra  $10^{-4}$  e  $10^{-7}$  m/s, con i valori inferiori nella parte ad Est del territorio comunale composta da suoli a granulometria fine, e quelli maggiori nelle vicinanze dell'alveo del fiume Po dove sono presenti i suoli a prevalenza sabbiosa (Ravagnani F., 2009).

La seguente Figura riporta l'indicazione della rete idrografica principale relativa al comune di Corbola e indicazione dei sottobacini idraulici in cui è suddiviso il comune. L'area oggetto degli interventi ricade nell'area dell'asta del Po di Venezia tra Po di Goro e Po di Gnocca.

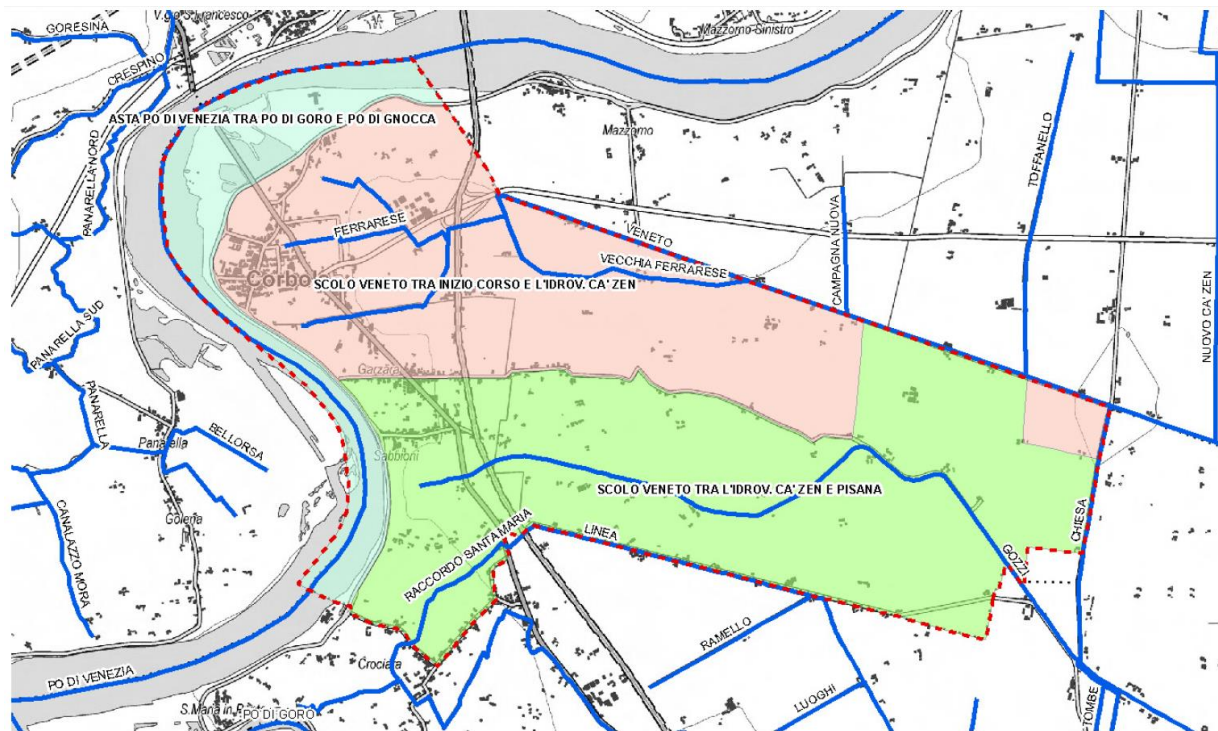


Figura 5.2 Carta della rete idrografica del comune di Corbola e dei sottobacini tratta dalla R. idraulica idrologica del PAT Comune di Corbola (Ravagnani F., 2009).

Come riporta la Relazione idraulica e idrologica del PAT del Comune di Corbola (2009) le arginature del fiume Po fortemente pensili (Figura 5.3) e soggette, durante gli eventi di piena significativa, a fenomeni di filtrazione e sifonamento che si manifestano attraverso i fontanazzi.

## Legenda

7,18 - 10,43
5,38 - 7,18
3,98 - 5,38
2,73 - 3,98
1,69 - 2,73
1,03 - 1,69
0,57 - 1,03
0,19 - 0,57
-0,1 - 0,19
-0,35 - -0,1
-0,63 - -0,35
-0,94 - -0,63
-1,28 - -0,94
-1,68 - -1,28
-2,4 - -1,68

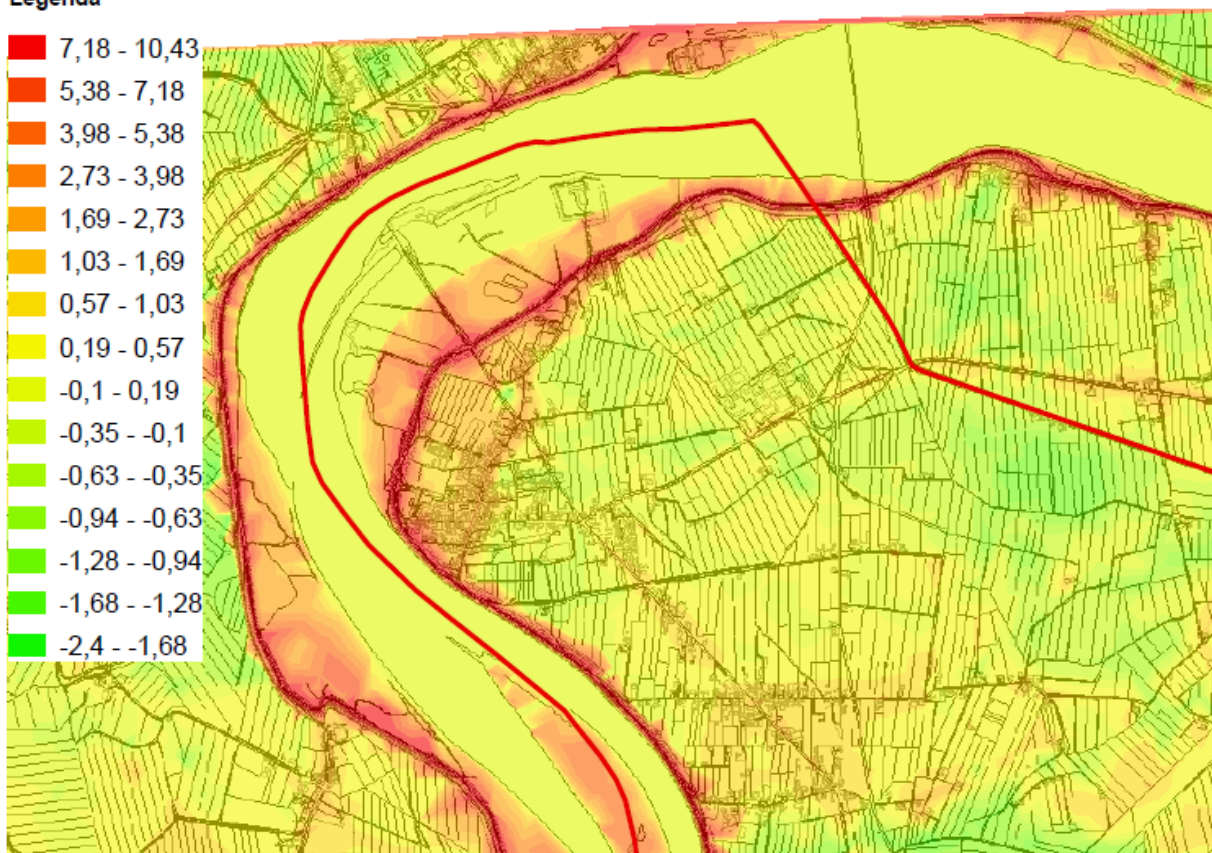
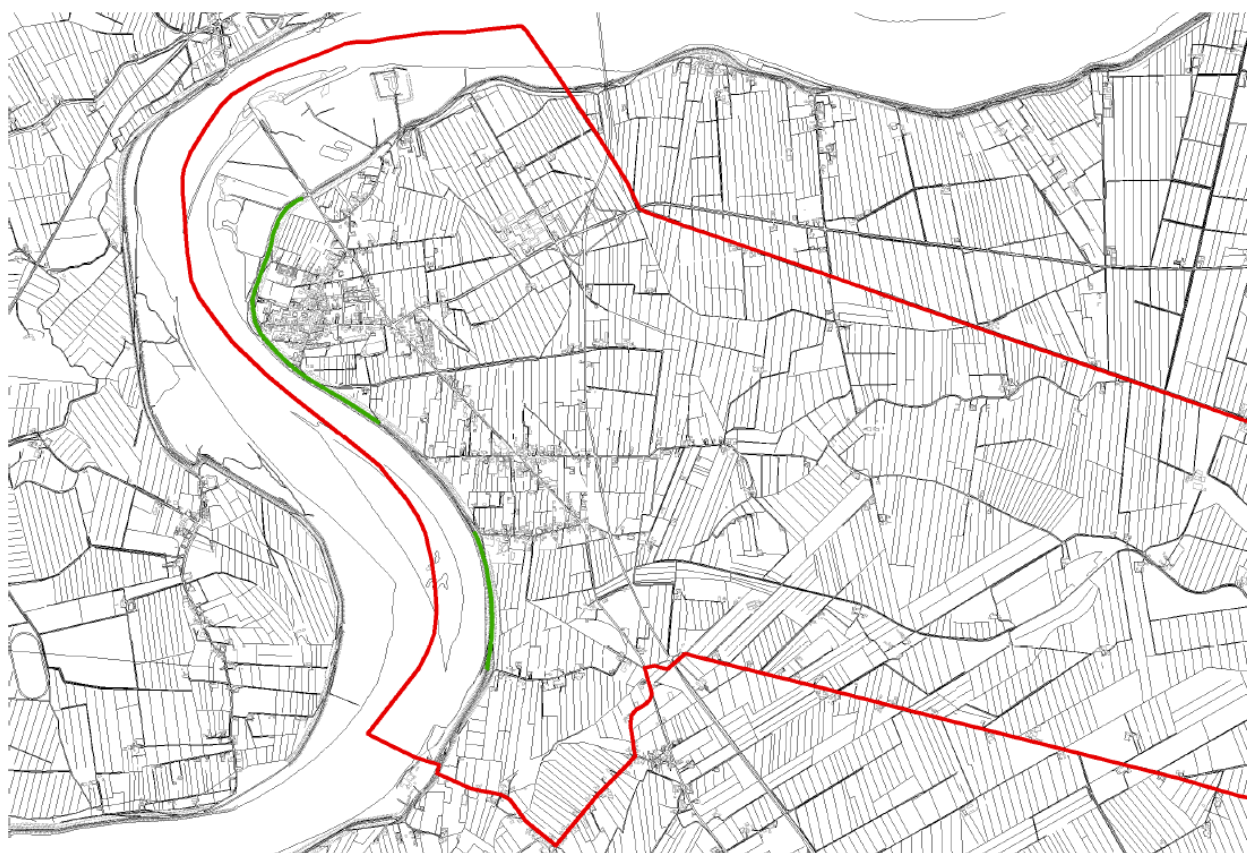


Figura 5.3 Estratto della Carta altimetrica tratta dal PAT del Comune di Corbola.

Il PAT riporta che AIPO ha già realizzato un sistema di drenaggio alla base dell'argine, che consente di intercettare l'acqua che filtra sotto l'argine stesso e di scaricarla negli scoli di bonifica prima che produca la bagnatura del suolo agricolo. Tale opera ha reso di fatto invisibile il fenomeno di filtrazione; tuttavia, non è riuscita ad intercettare ed impedire la comparsa dei fontanazzi.

Le aree di maggiore criticità sono quelle mostrate nella seguente Figura; l'area oggetto degli interventi ricade all'interno di una di queste aree già ritenute critiche dalla *Rel. Idraulica e idrologica* del PAT nel 2009 (Ravagnani F., 2009).





*Figura 5.4 Individuazione dei tratti arginali ritenuti critici a seguito dello studio idraulico e idrologico del PAT del Comune di Corbola (Ravagnani F., 2009).*



## **6 COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

Al fine di valutare la compatibilità geologica e idrogeologica sono stati consultati i seguenti strumenti:

- Portale Idrogeo riguardo alla pericolosità e gli indicatori di rischio idraulico, dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale;
- Carta delle Fragilità e Norme Tecniche del Piano Assetto Territorio del Comune di Corbola;
- PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po;
- Tavola idrogeologica e del rischio sismico e Norme tecniche del PTRC della Regione Veneto.

### **6.1 PIANO ASSETTO TERRITORIO (PAT), COMUNE DI CORBOLA**

Per quanto riguarda la compatibilità geologica e idrogeologica a livello comunale è possibile consultare la Carta delle Fragilità che mette in luce le possibili aree soggette a dissesto idrogeologico. La seguente Figura riporta un estratto della Carta delle Fragilità del Comune di Corbola (Romanato et al., 2009).

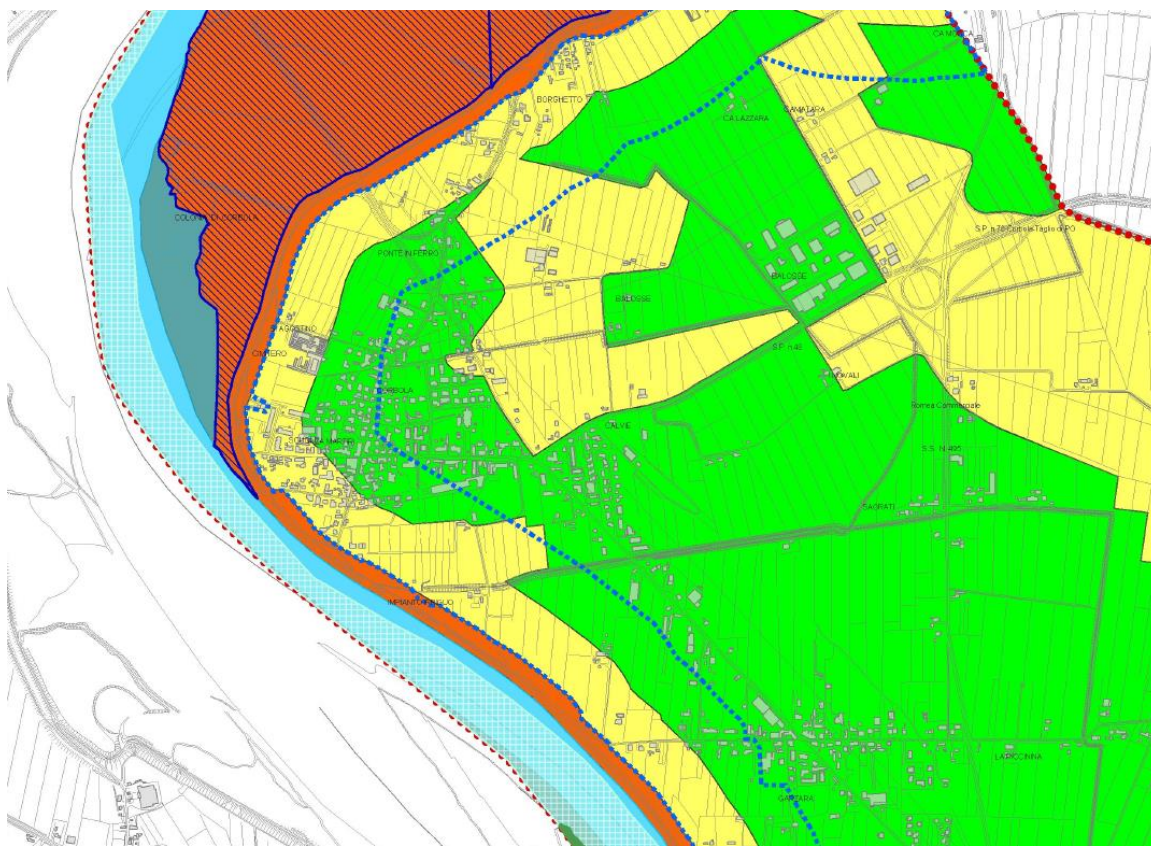


Figura 6.1 Estratto fuori scala della Carta delle Fragilità del Comune di Corbola (Romanato et al., 2009)

Legenda:

	Confine comunale		Corsi d'acqua
	Aree esondabili o a ristagno idrico		Fasce di rispetto fluviale
<b>Tutele:</b>			
	Golene	<b>Compatibilità Geologica:</b>	
	Aree boschive e destinate a rinboschimento		aree idonee
	Aree umide		aree idonee a condizione
			aree non idonee

\*Artt. 25, 26, 28 delle NTA del PAT del Comune di Corbola

L'area oggetto degli interventi ricade all'interno della zona non idonea, e l'Art. 25 delle NTA recita le seguenti prescrizioni:

- b) **TERRENO IDONEO A CONDIZIONE** (fondo giallo): le caratteristiche litologiche, geomorfologiche od idrogeologiche di queste aree sono penalizzanti ai fini urbanistici e richiedono specifici studi ed indagini geologiche/idrogeologiche approfondite per ogni tipo d'intervento urbanistico che necessiti di concessione e/o autorizzazione edilizia. L'edificabilità di tali aree è possibile solo previo controllo geologico specifico finalizzato al tipo d'intervento da eseguire come prescritto al paragrafo H3 del D.M. 11 marzo 1988, dal D.M. 14.01.2008 e dal D.M. N°152/2006 se ricadenti in tale ambito.
- c) **TERRENO NON IDONEO** ( fondo rosso ) : le caratteristiche litologiche, geomorfologiche od idrogeologiche di queste aree sono fortemente penalizzanti e propense al dissesto. Le aree di questa classe sono caratterizzate da fenomeni morfogenetici gravi e da processi attivi che precludono ogni attività urbanistica. In tali aree è vietata ogni attività di trasformazione urbanistica, fatte salve le opere inerenti alla difesa ed al consolidamento del suolo o del sottosuolo. Non si esclude però la possibilità di interventi particolari di superiore interesse pubblico come ad esempio la realizzazione di servizi (acquedotti, elettrodotti, fognature, strade, etc.) per i quali saranno rigorosamente necessari degli studi preliminari includenti una relazione geologico-geotecnica che ne accerti la fattibilità e le modalità d'intervento.

Inoltre, l'area in oggetto ricade anche all'interno della Carta delle Invarianti nella zona denominata "invarianti di natura geologica - areali", che viene regolamentata dall'Art. 23 delle NT del Comune di Corbola, riportate in seguito:

**Art. 23 Invarianti di natura geologica: geomorfologica**

Rif legislativo: Art. 1, commi 2 e 3, L. 394 del 06.12.1991 "Legge quadro sulle aree protette"; art. 139 del D. Lgs. 49/1999

Rif.: Tav. 2 – Carta delle Invarianti.

- 23.1 Trattasi di zone con particolari caratteristiche di valore geomorfologico, che caratterizzano il territorio per le loro particolari evidenze di unicità.

**DIRETTIVE**

- 23.2 Il P.I. provvederà ad aggiornare e completare l'individuazione, la tutela e la valorizzazione delle invarianti geomorfologiche.

**PRESCRIZIONI E VINCOLI**

- 23.3 Sono vietati tutti gli interventi che possano portare alla distruzione o alterazione negativa del bene. È comunque consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema in cui si collocano, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso delle acque e non limitino in modo significativo la capacità di invaso e che non concorrano a incrementare il carico insediativo.

## 6.2 IDROGEO, ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale mette a disposizione la piattaforma Idrogeo che consente la consultazione e la condivisione di dati e mappe che riguardano la pericolosità per frane e alluvioni e i relativi indicatori di rischio. Di seguito di riporta un estratto della mappa riguardo alla pericolosità e il rischio idraulico che mostra come l'argine in questione ricada al limite tra una pericolosità idraulica elevata e bassa.

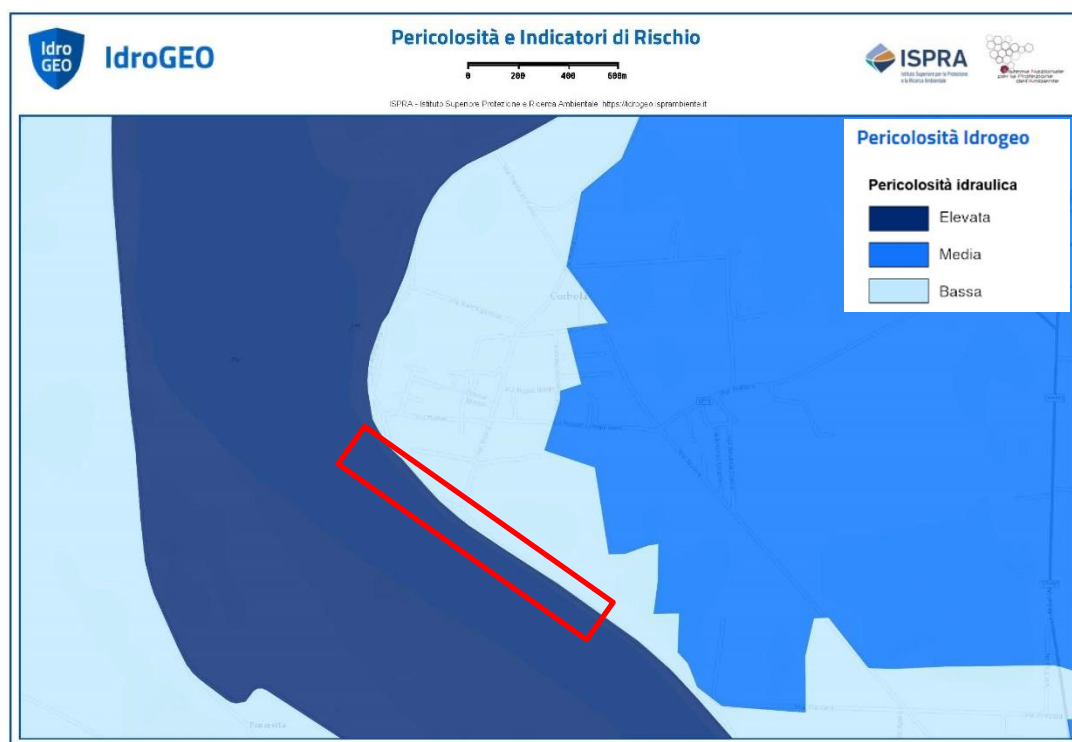


Figura 6.2 Estratto della mappa riguardo alla pericolosità e il rischio idraulico tratta dal Portale Idrogeo (ISPRA).

### 6.3 PAI DELTA, AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO

Il territorio di Corbola rientra nei territori governato dall'Autorità di bacino del Fiume Po. Il PAI di riferimento è il PAI Delta le cui norme tecniche sono state modificate con la variante alle NA del PAI e PAI Delta con Decreto n. 115 del 19 giugno 2015. Le appena citate NA sostanzialmente uniscono le NA del PAI e del PGRA; per il PAI Delta si fa riferimento alla Parte seconda *Introduzione della Parte terza delle NA del "Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del fiume Po"* PAI Delta che nell'Art.22 sostiene che: "Le Regioni, ..., emanano, ove necessario, disposizioni concernenti l'attuazione del PGRA nel settore urbanistico, integrative rispetto a quelle già assunte ai sensi dell'art 4bis delle presenti Norme". Di fatto, perciò, è affidato alle Regioni il compito di definire eventuali vincoli per l'evoluzione urbanistica, in questo caso alla Regione del Veneto.

Di seguito si riporta un estratto della cartografia del PAI Delta che inserisce l'area in studio all'interno della fascia dell'alveo in piena A-B con riferimento alle NA.

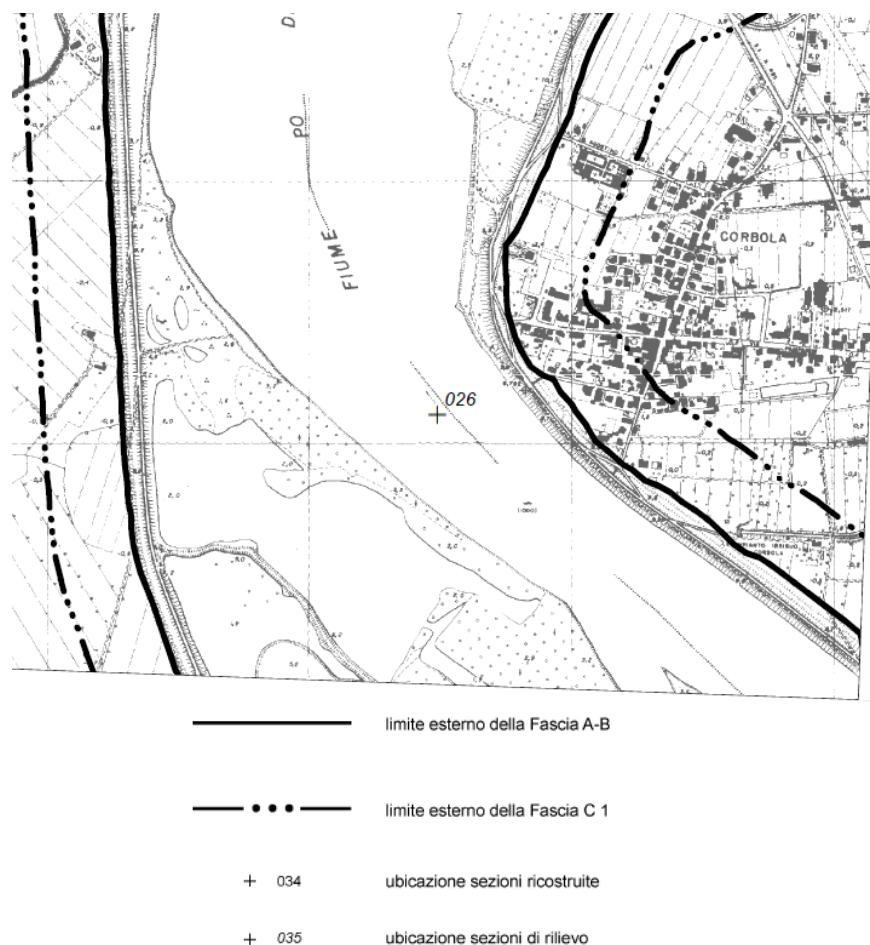


Figura 6.3 Estratto fuori scala della Tavola n. 169130 di delimitazione delle fasce fluviali (Autorità di bacino, PAI Delta, 2007)



L'art.5 al punto 3, Parte 1, delle NA del PAI Delta (2003) recitano:

3. Nella Fascia A-B il Piano persegue l'obiettivo di garantire, in condizioni di sicurezza, il deflusso, l'invaso e la laminazione della piena di riferimento, il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo, e quindi favorire, ovunque possibile, l'evoluzione naturale del fiume in rapporto alle esigenze di stabilità delle difese e delle fondazioni delle opere d'arte, nonché a quelle di mantenimento in quota dei livelli idrici di magra. Nella Fascia A-B il Piano sostiene inoltre gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica.

#### 6.4 PIANO TERRITORIALE REGIONALE DI COORDINAMENTO, REGIONE VENETO

La Regione del Veneto si occupa in parte delle aree soggette a dissesto idrogeologico e della sicurezza idraulica nel vigente Piano territoriale Regionale di Coordinamento (2020) e, in particolare negli Artt. 20 e 21 dell'Allegato E, *Norme Tecniche al Capo V, Sistema idrogeologico e del rischio sismico*. L'argine in oggetto si colloca anche nel PTRC Veneto all'interno dell'"area di pericolosità idraulica" (Art. 20, Capo V, Allegato E NT, PTRC Veneto; Tav.01c, PTRC Veneto).

Di seguito si riporta un estratto del Art. 21, Capo V, Allegato E NT, PTRC Veneto:

##### **"Art. 21 Sicurezza idraulica"**

1. *La perimetrazione delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica e geologica, a scala di bacino idrografico, e la definizione delle Norme di Attuazione relative ai possibili interventi sul patrimonio edilizio e in materia di infrastrutture ed opere pubbliche realizzabili, sono stabilite dai Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) delle Autorità Distrettuali di Bacino Idrografico o dagli altri strumenti di pianificazione di settore.*
4. *I nuovi interventi, opere e attività devono: a) mantenere o migliorare le condizioni esistenti di funzionalità idraulica, agevolare o non impedire il deflusso delle piene, non ostacolare il normale deflusso delle acque, ridurre per quanto possibile l'impermeabilizzazione dei suoli; ...; mantenere i volumi invasabili delle aree interessate e favorire il ripristino delle aree naturali di laminazione ed esondazione, con riferimento anche alla possibilità di individuare la cave dismesse come siti di laminazione.*
6. *Al fine di ridurre le condizioni di pericolosità idraulica: a) è vietato eseguire scavi e altre lavorazioni o impiantare colture che possano compromettere la stabilità delle strutture arginali e delle opere idrauliche in genere; b) è vietato ostruire le fasce di transito al piede degli argini o gli accessi alle opere idrauliche, in conformità alle vigenti disposizioni in materia; ..."*

## 7 INDAGINI A DISPOSIZIONE

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litologico e geologico i terreni presenti nel sottosuolo dell'intervento, nel 2022 sono state condotte le seguenti indagini lungo l'argine nel comune di Corbola:

- n. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico (SCPTU);
- n. 8 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU);
- n. 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo a secco (S);
- n. 6 stendimenti geoelettrici (ERT).

Tali indagini vengono descritte in maniera approfondita nella *“Relazione tecnica delle indagini eseguite”* redatta da *Sevizi Geologici Srl*.

L'area oggetto del presente intervento è minore e comprende le seguenti indagini della campagna geognostica del 2022:

- n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo a secco (S1÷S5), nei quali sono state eseguite n. 4 prove SPT totali, n. 15 prove di permeabilità a carico variabile (Lefranc e Nasberg) e nei quali sono stati prelevati campioni di terreno per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- n. 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU1, CPTU2, CPTU, CPTU5) con l'esecuzione di n. 2 prove di dissipazione totali;
- n. 1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU3) con l'esecuzione di una prova di dissipazione;
- n. 4 stendimenti geoelettrici (ERT2, ERT3, ERT4, ERT5).

Le indagini sono state eseguite dalla sommità arginale o al massimo 1 m al di sotto di essa, per praticità di esecuzione.

Nella seguente Figura viene riportata l'ubicazione delle indagini relative alla campagna geognostica del 2022 e viene indicata l'area interessata dall'intervento.



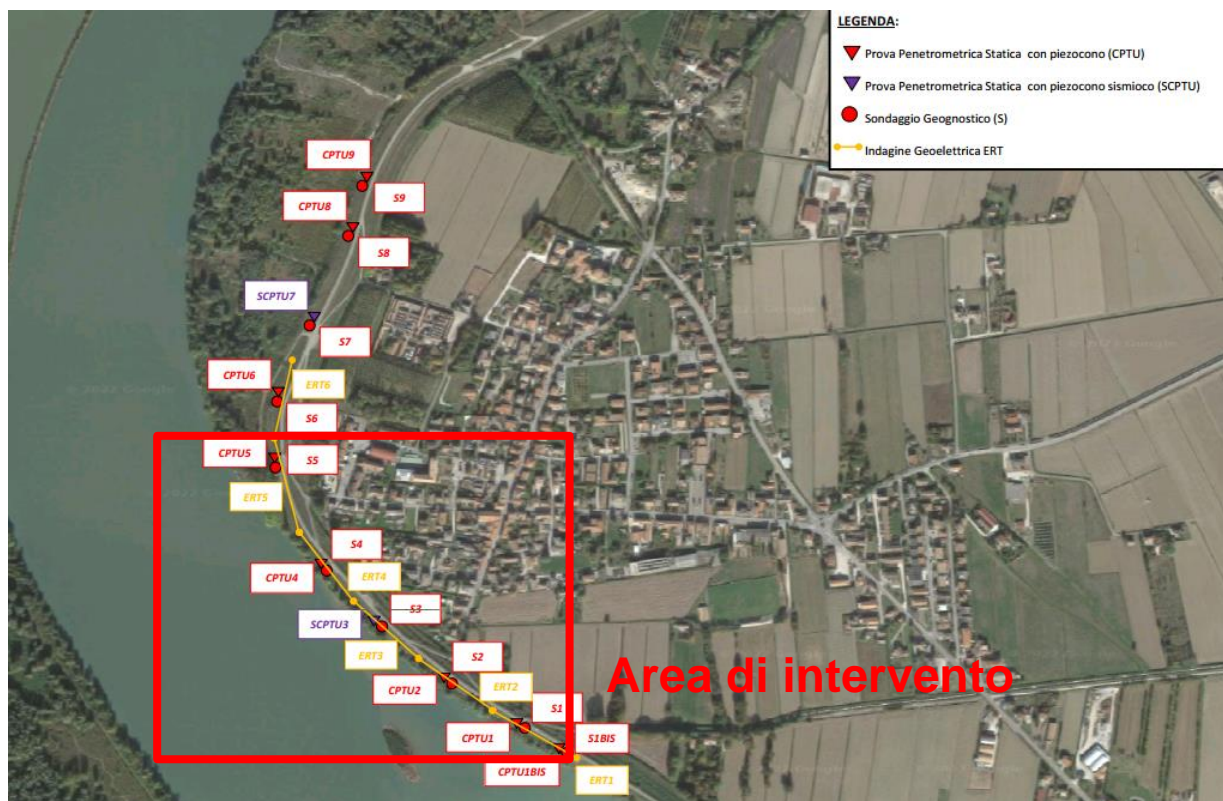


Figura 7.1 Ubicazione delle indagini presenti nell'area dell'intervento in oggetto (Sevizi Geologici Srl)

## 8 RISULTATI DELLE INDAGINI

Nel presente paragrafo vengono esposti i risultati delle indagini geognostiche dirette e indirette eseguite in sito e delle prove di laboratorio relative all'area interessata dall'intervento in oggetto. Le indagini hanno consentito di poter stimare le principali caratteristiche fisico meccaniche dei terreni, al fine di ottenere un modello geologico geotecnico del sottosuolo, in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 (NTC 2018).

### 8.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo a secco andamento verticale denominati S1÷S5 che hanno raggiunto le profondità di 30 m da p.c. eseguiti sulla sommità arginale. I sondaggi sono stati eseguiti con una perforatrice idraulica a rotazione cingolata Comacchio MC 450 P n.° matr. 807, utilizzando un carotiere semplice con Ø 101 mm e rivestimenti provvisori metallici con Ø 127 mm (Servizi Geologici srl, 2022). Le stratigrafie e le foto dei sondaggi sono contenute nell'*Allegato 6: Certificati Scheda Stratigrafica di Sondaggio della Relazione tecnica delle indagini eseguite* (Servizi Geologici srl, 2022).

### 8.2 PROVE PENETROMETRICHE DI TIPO STANDARD PENETRATION TEST (SPT)

La prova penetrometrica SPT consiste nell'infissione a percussione di un campionatore standard, del peso di 63.5 kg, da un'altezza di 0.76 m. Il campionatore può essere a punta aperta (tipo Raymond) oppure, per terreni grossolani e con presenza di ciottoli, a punta conica.

Tale prova consente di valutare la resistenza meccanica che il terreno offre alla penetrazione e di conseguenza è possibile determinare il grado di addensamento.

La resistenza è valutata in termini di avanzamento contando il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione del campionatore è pari a 30 cm ( $N_2$ ,  $N_3$ ) (dopo 15 cm di infissione preliminare,  $N_1$ ), è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione ( $N_{SPT} = N_2 + N_3$ ). La prova è interrotta quando si raggiunge un numero di colpi pari a 50 nell'avanzamento dei primi 15 cm o quando si raggiunge il numero di 100 nei restanti 30 cm.

La prova è compresa negli standard UNI EN ISO 22476-3:2012 *Geotechnical investigation and testing- Field testing – Part 3: Standard Penetration Test*, ASTM (D 1586-67 riapprovata nel 1974), mentre l'Associazione Geotecnica Italiana (AGI) ha incluso la prova SPT nelle Raccomandazioni per le Indagini Geotecniche (1977), così pure come l'Associazione Geotecnica Internazionale (ISSMFE) che ha emesso una specifica Procedura di riferimento.

Le Tabelle seguente mostrano i risultati ottenuti dalle prove SPT eseguite nei sondaggi S1÷S5.

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>
S1	6-6.45	1	2	3	5
S2	13.5-13.95	3	6	7	13
S4	18-18.45	8	10	13	23
S5	10.5-10.98	4	7	7	14

Tabella 8.1 Risultati delle prove penetrometriche dinamiche tipo SPT

### 8.3 VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITÀ CON PROVA DI PERMEABILITÀ IN FORO A CARICO VARIABILE

Per valutare la permeabilità dei terreni sia costituenti il corpo arginale che quelli naturali sono state eseguite all'interno dei fori di sondaggio delle prove di permeabilità di tipo sia Nasberg che Lefranc a carico variabile per immissione di acqua all'interno dei tubi di rivestimento provvisori. Le prove di tipo Nasberg sono state eseguite sui terreni insaturi, cioè non interessati dalla presenza di una falda freatica come quelli costituenti il corpo arginale. Le prove di permeabilità di tipo Lefranc, invece, si sono eseguite su quei terreni "sottofalda" come richiesto da normativa e procedura di prova.

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Nasberg.

Nome sondaggio	Nome prova	Tratto in prova (m da inizio sondaggio)	k (m/s)
S1	K1	2.00 – 2.50	$3.20 \times 10^{-7}$
S1	K2	11.50 – 12.00	$1.30 \times 10^{-6}$
S1	K3	19.00 – 19.50	$3.44 \times 10^{-6}$
S2	K1	2.50 – 3.00	$2.60 \times 10^{-7}$
S2	K2	16.50 – 17.00	$6.47 \times 10^{-7}$
S2	K3	19.00 – 19.50	$1.65 \times 10^{-6}$
S3	K1	2.50 – 3.00	$3.00 \times 10^{-6}$
S3	K2	21.00 – 21.50	$1.51 \times 10^{-6}$
S3	K3	29.50 – 30.00	$3.72 \times 10^{-6}$
S4	K1	3.00 – 3.50	$1.40 \times 10^{-7}$
S4	K2	13.50 – 14.00	$2.74 \times 10^{-6}$
S4	K3	18.00 – 18.50	$2.85 \times 10^{-5}$
S5	K1	5.00 – 5.50	$2.00 \times 10^{-7}$
S5	K2	13.00 – 13.50	$1.15 \times 10^{-5}$
S5	K3	19.00 – 19.50	$5.10 \times 10^{-6}$

Tabella 8.2 Risultati delle prove di permeabilità Lefranc e Nasberg

#### **8.4 PROVE DI LABORATORIO**

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati n.10 campioni rimaneggiati dai sondaggi S1÷S5 e n. 2 campioni indisturbati dai sondaggi S2 e S5.

Sono state eseguite prove di classificazione granulometrica su tutti i campioni, mentre sui campioni indisturbati sono stati determinati i limiti di Atterberg ( $W_L$ ,  $W_P$ ,  $I_P$ ), pocket penetrometer e vane test e n. 2 prove di taglio triassiale (CD). Di seguito sono riportati i risultati delle prove.

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Sondaggio	Campione	Ubicazione			Descrizione	Distribuzione granulometrica [UNI]				Proprietà fisiche					Prova di taglio triassiale CD		
		z <sub>in</sub>	z <sub>fin</sub>	z <sub>med</sub>		Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	w <sub>n</sub>	γ <sub>n</sub>	Pocket Penetrometer	Vane test	c'
		[m]	[m]	[m]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kN/m³]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
S1	R2	11.7	12	11.9	Limo con sabbia debolmente argilloso grigio	0	29	65	7						118-127	40	
	R3	18.7	19	18.9	Sabbia con limo grigio	0	54	46									
S2	I1	9.8	10.4	10.1	Limo con argilla grigio - presenza di rari punti scuri organici	0	2	72	27	54	28	26	30	19.1	186-245	67-71	13
	R2	16.7	17	16.9	Sabbia limosa grigia	0	79	19	1								
	R3	19.2	19.5	19.4	Limo con sabbia debolmente argilloso grigio	0	40	60									
S3	R2	21.2	21.5	21.4	Sabbia con limo grigia	0	70	30									
	R3	29.7	30	29.9	Sabbia con limo grigia	0	78	22									
S4	R2	13.7	14	13.9	Sabbia con limo grigia	0	77	23									
S5	R1	5.2	5.5	5.4	Limo sabbioso e argilloso grigio	0.0	14.5	85.5									
	I1	8	8.6	8.3	Limo debolmente argilloso e sabbioso grigio	0.0	7.6	85.7	6.7	30	23	7	24	19.0	147-167	34	8
	R2	13.2	13.5	13.4	Sabbia con limo grigia	0.1	68.0	31.9									
	R3	19.2	19.5	19.4	Sabbia con limo debolmente argilloso grigio	0	52.8	41.31	5.88								

Tabella 8.3 Risultati delle prove di laboratorio (Sevizi Geologici Srl, 2022)

### 8.5 PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PIEZOCONO E CON PIEZOCONO SISMICO (CPTU E SCPTU)

La prova CPTU consiste nell'infiggere nel terreno una punta strumentata elettricamente e dotata di un sensore per la misura della pressione dell'acqua nei pori del terreno (piezocono), ad una velocità costante di avanzamento pari a 2 cm/s, per mezzo di un dispositivo di spinta munito di un sistema automatico di acquisizione dati. Utilizzando il piezocono per prove CPTU è possibile acquisire ad ogni centimetro di profondità, durante il movimento continuo di spinta la resistenza di punta  $q_c$ , attrito laterale  $f_s$  e la pressione interstiziale  $u$ .

Tramite la punta del piezocono sismico, che contiene un ricevitore è possibile misurare le velocità delle onde di taglio  $V_s$ , tramite un sistema di energizzazione deve generare prevalentemente onde di taglio a larga ampiezza con poche componenti compressionali.

I risultati delle prove CPTU e SCPTU3 sono contenuti nell' *Allegati 2÷5 della Relazione tecnica delle indagini eseguite* (Servizi Geologici srl, 2022).

### 8.6 MISURE DEL LIVELLO DELLA FALDA

A seguito dell'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo e delle prove penetrometriche CPTU sono stati misurati i livelli della falda che sono riportati nella Tabella seguente. Tutte le indagini sono state eseguite sulla sommità arginale, perciò dal momento che il rilevato arginale è alto circa 7-9 m, rilevano che il livello della falda è alla stessa quota del livello idrometrico del fiume Po.

Nome indagine	Livello della falda (m da p.c.)
S1	8.18
S2	7.8
S3	8.8
S4	9.8
S5	7.6
CPTU1	>7.9
CPTU2	8.1
SCPTU3	8.1
CPTU4	8.2
CPTU5	8.1

*Tabella 8.4 Misure del livello della falda nei sondaggi e nelle prove CPTU eseguite (Servizi geologici Srl, 2022)*

### 8.7 INDAGINI GEOELETTRICHE

Sulla sommità arginale parallelamente alla sua direzione sono stati eseguiti degli stendimenti geoelettrici per determinare la resistività del terreno. In corrispondenza del tratto arginale in oggetto sono state eseguiti n. 4 stendimenti a 48 canali con passo interelettrodico di 3 m (ERT2+ERT5). I risultati delle indagini geoelettriche sono riportati nell'*Allegato 9 – Valori di resistività del terreno nella Relazione tecnica delle indagini eseguite* (Servizi geologici Srl, 2022).

In generale, la resistività ( $\Omega m$ ) del terreno ha dei valori più alti nei primi 1-3 m, mentre andando in profondità nell'ordine di 20-60  $\Omega m$ , tranne che nelle indagini ERT4 ed ERT5 che si possono notare in alcuni punti anche delle resistività pari a 100-120  $\Omega m$ . Tuttavia, in generale, risulta difficile una distinzione stratigrafica, poiché segnale elettrico risulta molto omogenizzante tanto da non riuscire a distinguere eventuali limiti stratigrafici ben definiti, tanto meno il limite tra i depositi antropici costituenti il corpo arginale e i terreni naturali poiché presentano delle caratteristiche pressoché identiche.

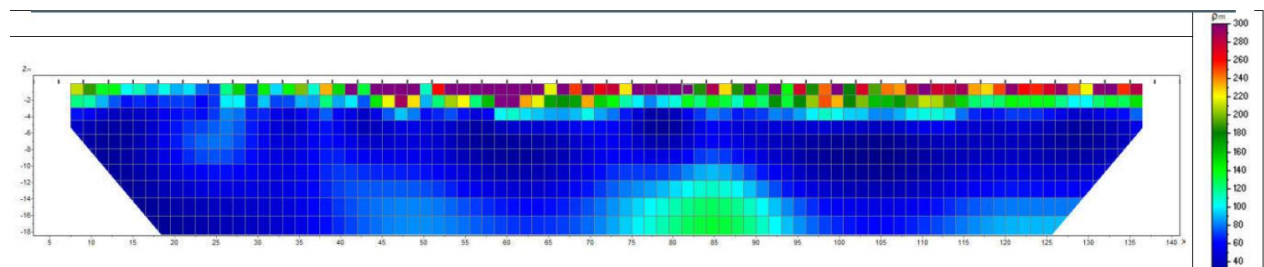


Figura 8.1 Risultati dello stendimento ERT4 e legenda della resistività (Servizi geologici Srl, 2022)



## 9 MODELLO GEOLOGICO

Dall'analisi delle indagini a disposizione è possibile riconoscere 3 unità geologiche principali; di seguito si elencano e si descrivono in seguito. Per l'andamento stratigrafico è possibile fare riferimento al profilo geologico presente nell'Allegato 1.

### Riporto

Si tratta del terreno che costituisce il rilevato arginale esistente, il suo spessore è variabile tra 7.4- 9.2 m. Tutti i sondaggi segnalano la presenza di uno spessore pari a 0.5 m di terreno vegetale di ricoprimento del rilevato arginale. I riporti antropici sono costituiti prevalentemente da depositi fini quali limi e argille aventi una colorazione generalmente bruno scuro. In corrispondenza dei sondaggi S1, S2 si osserva la presenza di limi argillosi con sabbia, mentre in corrispondenza dei sondaggi S3, S4, S5 il corpo arginale è costituito in prevalenza da sabbia fine limosa in particolare nella parte superficiale (3-4 m da p.c.).

Le CPTu disponibili hanno misurato una resistenza alla punta  $q_c$  in generale pari a 2-3 MPa ma sono stati misurate anche intervalli con  $q_c$  più elevati nell'ordine di 6-7 MPa, in corrispondenza dei livelli più sabbiosi.

### Depositi alluvionali

I terreni sui quali poggia il rilevato arginale sono costituiti da depositi alluvionali trasportati dal Fiume Po. In generale la granulometria è variabile tra le argille e le sabbie.

I depositi indagati dai sondaggi S1 e S2 sono in prevalenza costituiti da limo argilloso e argilla, talvolta intervallati da piccole lenti sabbiosi (*unità geologica del limo argilloso*). I depositi indagati dai sondaggi S4 e S5 sono sabbie limose (*unità geologica delle sabbie limose*). Il sondaggio S3 mostra invece un interdigitazione tra i depositi più fini del limo argilloso e quelli più grossolani delle sabbie limose.

Anche le prove penetrometriche mettono in luce la variabilità dei terreni più coesivi e più granulari, infatti, si osserva che i limi argillosi hanno delle resistenze alla punta più basse, nell'ordine di 2 MPa, mentre le sabbie limose 6-8 MPa. Ad esempio, osservando la SCPTU3 si nota che la  $q_c$  aumenta tra 10 e 22 m da p.c. proprio in corrispondenza del banco di sabbia osservato dal sondaggio S3 tra 10.8 e 22.5 m.

## 10 STUDI SISMICI DELL'AREA

L'area in studio è posta al contatto tra la zona di monoclinale veneta ed il sistema di pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino sepolto, con orientazione NO-SE.

La sismicità dell'area costiera padana, perciò, può essere associata perciò al fronte di spinta appenninico (Figura 10.1).

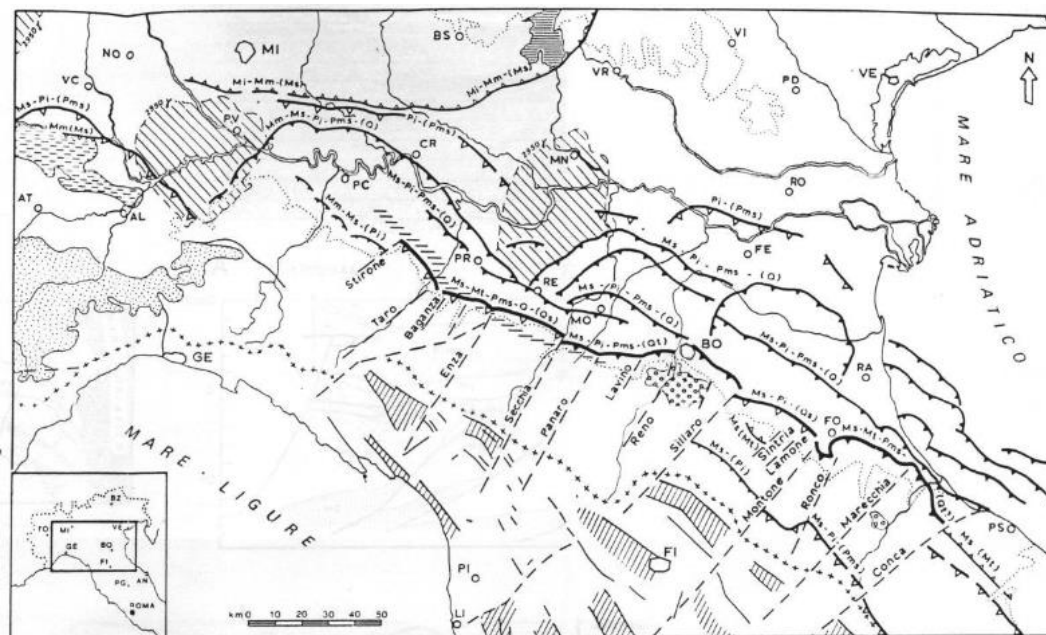


Figura 10.1 Carta strutturale dei fronti di spinta dell'Appennino Settentrionale (Castellarin et al. 1985)

È presente, inoltre, un altro elemento attivo e importante nella neotettonica della Pianura Padana ovvero la Faglia di Schio-Vicenza (SVFS), che normalmente è fatta terminare nella bassa padovana ma, si suppone che sia allungata sin quasi al delta padano (Figura 10.2). Infatti, si crede che abbia interessato anche lo sviluppo storico dell'Adige, che presso Pettorazza Grimana, è caratterizzato da una grande paleo-ansa messa ipoteticamente in collegamento con tale struttura profonda (Bondesan et al., 2002).

I cataloghi storici e strumentali (es. Rovida et al., 2021) mostrano una distribuzione sparsa di sismicità moderata lungo questa struttura, tuttavia, anche nonostante la mancanza di evidenze sismologiche, si ipotizza che la Linea Schio-Vicenza possa ospitare terremoti significativi (DISS Working Group, 2021).

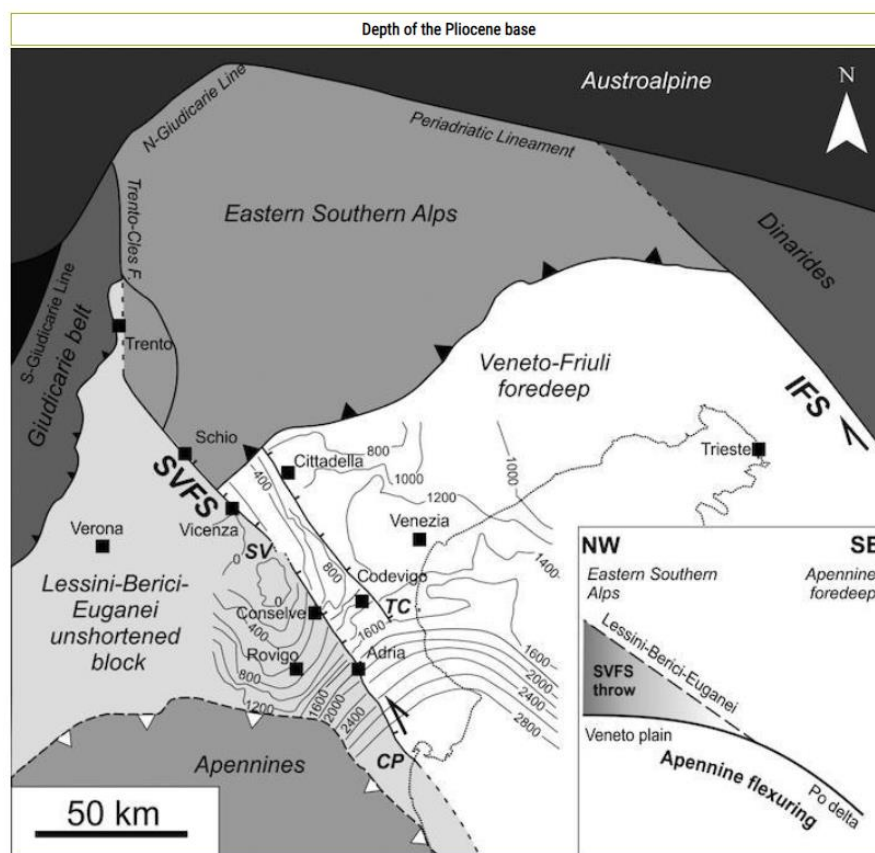


Figura 10.2 Mappa della profondità della base pliocenica lungo il sistema di faglia Schio-Vicenza (SVFS). Faglia Travettore-Codevigo (TC) e faglia di Conselve-Pomposa (CP) (Pola et al.. 2014).

#### Database Macrosismico Italiano DBMI1 v.4.0

Il Database Macrosismico Italiano è una raccolta di dati sulla sismicità italiana e fornisce un set di dati sull'intensità macrosismica relativa ai terremoti italiani, aggiornato alla finestra temporale 1000-2019 (DBMI1-CPTI15 v.4.0. INGV).

Nei pressi di Corbola il Database indica la presenza di 20 eventi conosciuti tra il 1887 e il 2020. con intensità prevalentemente di entità medio-elevata con magnitudo pari a 3÷4 ma, è segnalata anche la presenza di eventi che hanno registrato magnitudo elevate, nell'ordine di  $M_w=5\div6$  come è mostrato nella seguente Figura.

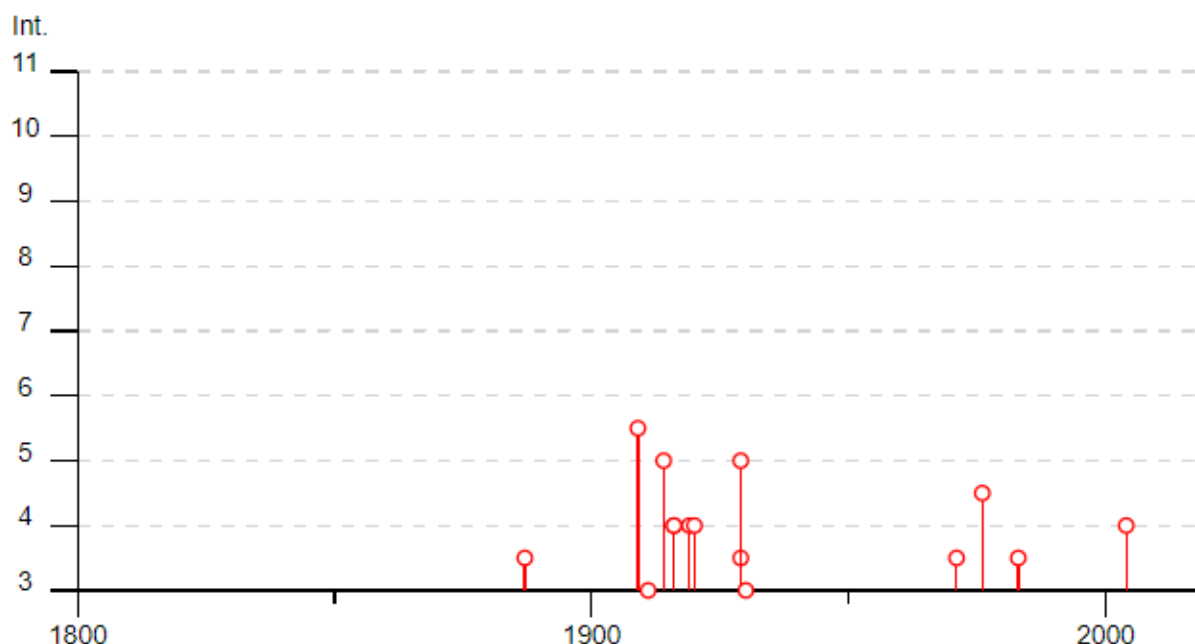


Figura 10.3 Eventi sismici presso il comune di Corbola (Rovida et al., 2022)

L'evento di maggiore intensità è quello avvenuto il 13 gennaio 1909 con epicentro tra Bologna, Ferrara e Ravenna. Secondo Meloni et al. (1987) la profondità epicentrale si aggirò attorno ai 50 km e fu preceduta da scosse con origine nella stessa area e alla stessa profondità. All'evento principale seguirono una serie di scosse epicentro più superficiale lungo tutta la struttura pedeappenninica.

Questo evento, insieme ad altri terremoti, ad esempio i terremoti del 27 ottobre 1914 e del 25 ottobre 1972 mostrano propagazioni che si estendono sia verso il Mar Adriatico sia verso il Trentino, il bellunese e il Friuli-Venezia Giulia, ciò suggerisce un controllo strutturale profondo, probabilmente connesso alla presenza di un sistema crostale litosferico generalmente inspessito.

#### *Zonazione sismogenetica ZS9*

Nell'ambito della definizione della pericolosità sismica, è stata creata la "Zonazione sismogenetica ZS9" (Meletti et al., 2004) all'interno di un progetto che ha raccolto il background della zonazione ZS4, integrandola con informazioni provenienti dal DISS 2.0 (Database of Individual Seismogenic Sources) e informazioni raccolte in seguito ai recenti terremoti.

L'obiettivo era quello di creare un modello che superasse il problema delle ridotte dimensioni delle zone-sorgente, che fornisse una stima di profondità "efficace", definita come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona-

sorgente e, infine, che fornisse per ogni zona sismica un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

L'area di Corbola non ricade all'interno di nessuna delle Zone Sismogenetiche (ZS), tuttavia si trova compresa tra le zone n. 906 e 912. La zona 906 fa parte dell'Arco Alpino mentre la 912 rappresenta parte della porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale con una sismicità che sembra evidenziare l'andamento del fronte compressivo sepolto più avanzato (a ridosso del Po).

#### *Database of Individual Seismogenic Sources. DISS*

Il DISS è un archivio georeferenziato contenente informazioni tettoniche, di faglia e paleosismologiche espressamente dedicato, ma non limitato a potenziali applicazioni nella valutazione della pericolosità sismica su scala regionale e nazionale.

L'area in studio fa parte di nessuna sorgente sismogenica composita ma quelle più vicine sono: ITCS175. Schio Vicenza, legata appunto al sistema di fagli Schio Vicenza e ITCS050 Poggio Rusco – Migliarino che rappresenta il fronte di spinta esterno appenninico dell'Arco Ferrarese. uno dei fronti di spinta più dannosi dell'Appennino.

#### *ITHACA – Catalogo delle faglie attive e capaci*

Il portale ITHACA (ITaly HAZards from CAPable faults) è il catalogo delle faglie capaci in Italia. ovvero quelle che è capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno. e/o in prossimità di essa.

Nei pressi dell'area in studio le faglie attive e capaci presenti sono le seguenti:

- faglia Schio Vicenza con codice 72002 (cinematica normale. strike 320°. dip direction NE e ultima attività nell'Olocene);
- faglia Berra – Ravenna con codice 93787 (cinematica inversa. strike 200°. dip direction ENE e ultima attività nel Medio Pleistocene).



## 11 RISPOSTA SISMICA LOCALE

L'azione sismica di riferimento per le analisi è stata definita sulle basi delle indicazioni delle *“Norme tecniche per le costruzioni”* Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

L'azione sismica viene valutata a partire dalla cosiddetta “pericolosità sismica di base” riferita ad un sito con suolo rigido (categoria A) e superficie topografica orizzontale. In assenza di studi sismotettonici e di pericolosità sismica, si fa riferimento a quanto definito nelle NTC. le quali indicano che le opere in progetto possono essere classificate come segue:

### Vita nominale

La vita nominale di un'opera è intesa come numero di anni nel quale deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata ed è definita dalle NTC in funzione del tipo di costruzione (*tabella 2.4.I*).

Nel caso del presente intervento si considera:

$$V_N = 100 \text{ anni}$$

### Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso (par. 2.4.2. NTC2018) a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso  $C_u$ .

All'opera in oggetto viene assegnata una Classe d'uso IV, alla quale è associato un coefficiente d'uso  $C_u$  pari a 2.

Nel caso in esame si ha una vita nominale dell'opera di 100 anni che con coefficiente d'uso di 2 fornisce un periodo di riferimento pari a 200 anni.

I valori dei parametri  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima al sito),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per i periodi di ritorno associati ai quattro stati limite sono riportati nella tabella seguente (forniti attraverso l'applicativo 'Spettri' elaborato dal M.LL.PP).

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	120	0,042	2,558	0,307
SLD	201	0,049	2,622	0,327
SLV	1898	0,086	2,852	0,399
SLC	2475	0,092	2,862	0,409

Tabella 11.1: Valori della sismicità per il comune di Corbola

L'accelerazione di riferimento  $a_g$  così ottenuta deve essere variata per tener conto sia delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali che della morfologia del sito; l'accelerazione massima orizzontale di riferimento si ottiene con la seguente espressione:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t$$

dove  $S_s$  è un coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_t$  di amplificazione topografica.

La stima delle onde di taglio  $V_s$  eseguita tramite la prova SCPTU3 permette di calcolare una velocità  $V_{s,30}$  pari a 204 m/s e quindi i terreni di fondazione appartengono alla categoria di sottosuolo C: *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

Dato che l'area in oggetto risulta pianeggiante, si assegna la categoria topografica T1 *“Superficie pianeggiante. pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ”*.

Nel caso in esame, con  $S_s = 1.5$  (terreno tipo C) e  $S_t = 1.0$  (categoria topografica T1), con riferimento allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si ha:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.086g \times 1.5 \times 1.0 = 0.13g$$

## 12 CONCLUSIONI

Il Comune di Corbola si colloca nella parte settentrionale dell'area di piana costiera in cui affiorano esclusivamente sedimenti terrigeni olocenici accumulati dal Sistema deltizio del Po.

La morfologia del territorio comunale è caratterizzata dalla presenza degli argini del Po di Venezia, che si elevano significativamente rispetto al piano campagna, con quote alla sommità variabili tra 8 e 10 m s.l.m. Il resto del territorio comunale risulta abbastanza piatto con quote che discendono procedendo verso Est. In corrispondenza dell'area in studio, è possibile trovare depositi di piana deltizia che hanno inciso e si sovrappongono a depositi di fronte deltizia e piana di sabbia.

Sulla base delle indagini eseguite si è potuto constatare che il corpo del rilevato, alto circa 7-9 m, è costituito da limi e sabbie fini e poggia sopra depositi alluvionali che, verso Sud sono in prevalenza fini (limi argillosi sabbiosi), mentre andando verso Nord si incontrano maggiormente sabbie limose tranne che per un livello con uno spessore di circa 1.5 m di terreni coesivi appena sotto il corpo del rilevato.

Dal punto di vista sismico, l'area in studio è posta al contatto tra la zona di monoclinale veneta ed il sistema di pieghe e sovrascorrimenti dell'Appennino sepolto, con orientazione NO-SE, perciò la sismicità dell'area costiera padana, può essere associata perciò al fronte di spinta appenninico. Per di più, la sismicità del settore padano veneto può essere associata anche alla Faglia di Schio-Vicenza (SVFS).

L'area in studio può essere associata alla categoria topografica T1 *"superficie pianeggiante. pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ "* e, grazie all'esecuzione della prova SCPTU 3, è stato possibile attribuire la categoria di sottosuolo tipo C: *"depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

Dal punto di vista della compatibilità geologica e idrogeologica gli interventi ricadono all'interno di:

- aree non idonee, secondo il PAT del comune di Corbola (Romanato et al., 2009);
- aree ad elevata pericolosità idraulica e aree a bassa pericolosità idraulica, secondo il Portale Idrogeo di ISPRA;

- aree tipo A-B secondo il PAI Delta (2003) dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po.
- aree a pericolosità idraulica nel PTRC Regione Veneto (2020).

Il progetto prevede la realizzazione di un diaframma, a partire da circa 1 m al di sotto della sommità arginale e di lunghezza variabile, dipendente dalle caratteristiche del terreno di fondazione e la sistemazione della scarpata superiore a lato fiume dell'argine in modo tale da garantire sulla parte superiore una banca di larghezza pari a 5 m e la pendenza della scarpata 2H:3V. Perciò, dato che l'obiettivo dell'intervento è quello di migliorare la tenuta idraulica del tratto dell'argine sulla sponda destra del Fiume Po, si ritiene compatibile dal punto di vista geologico e idrogeologico. Per le verifiche di sicurezza condotte secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM del 17 gennaio 2018 si rimanda alla Relazione geotecnica.

Dott. Geol. Elena Nisato



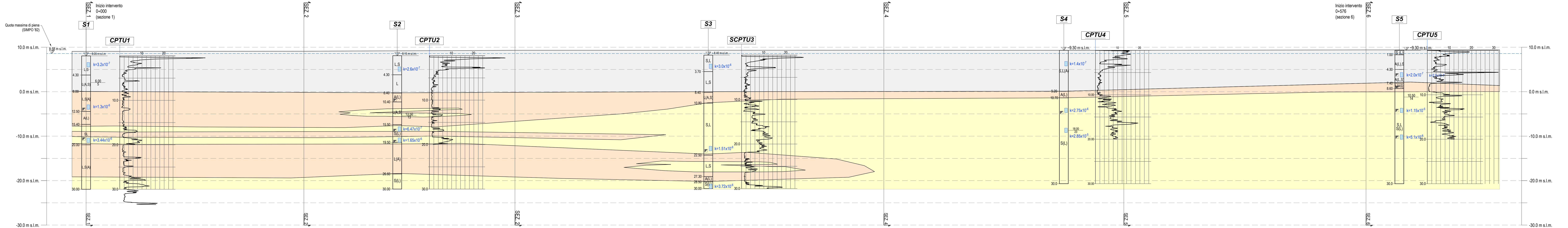
Ing. Giuseppe Colleselli



## **ALLEGATO: PROFILO GEOLOGICO**



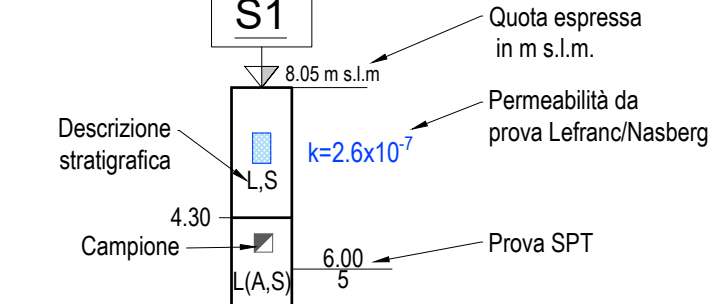
PROFILO GEOLOGICO



Legenda delle unità geologiche

- Riporto: rilevato arginale
- Limo argilloso (sabbioso)
- Sabbia limosa

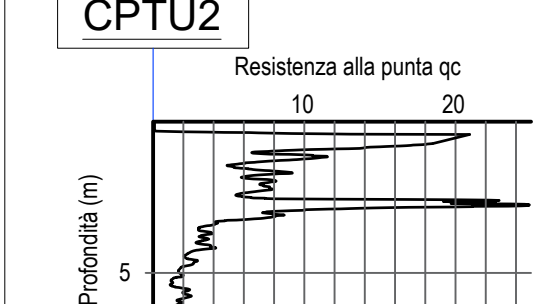
Legenda dei sondaggi



Descrizione stratigrafica:  
G= ghiaia; S= sabbia; L= limo; A= argilla  
X[Y] : Y = 5÷10% di X  
X(Y) : Y = 10÷25% di X  
X,Y : Y = 25÷50% di X  
X,Y : Y = 50% circa di X  
X/Y : alternanza di X e Y

es: sabbia debolmente limosa = S[L]  
es: sabbia limosa = S(L)  
es: sabbia con ghiaia = S,G  
es: sabbia e ghiaia = SG  
es: alternanza di sabbia e limo L/S

Legenda delle CPTU



NOTA: le prove CPTU sono state eseguite a lato dei sondaggi.