



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



REGIONE DEL VENETO



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

Agenzia Interregionale per il Fiume Po



ARGINE SINISTRO FIUME PO DI VENEZIA ABITATO DI MAZZORNO SINISTRO
LAVORI DI SISTEMAZIONE ARGINALE - 1° STRALCIO
CUP B68H22000340006
PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO:

02

RELAZIONE GEOLOGICA ED ALLEGATI (RO-E-1439)

Perizia n° 1602

In data 18/04/2023

Coordinatore Progettisti

Dott. Geol. Pierpaolo Erbacci

Collaboratore progettista

Geom. Samuele Bergamaschi

Collaboratore progettista

Geom. Riccardo Bauce

Collaboratore progettista

Dott. Alberto Gobbi

Collaboratore progettista

Geom. Paolo Pellegrino

Collaboratore progettista

Dott. Ing. Antonio Picardi

Collaboratore progettista

Geom. Paolo Ronconi

Collaboratore progettista

Dott. Arch. Andrea Spinardi

Responsabile Unico del Procedimento

Dott. Ing. Ettore Alberani

REV.

DESCRIZIONE

DATA

Arginatura del Fiume Po in
sx idraulica in comune di
Adria in Provincia di Rovigo

Progetto Definitivo

RELAZIONE GEOLOGICA

Data	18/04/2023	
Commessa	23-S014	
Codice	R2-1	
Rev.	Redatto	Approvato
1	EN	GC

Sistema
di gestione
della qualità
certificato



Sommario

1	PREMESSE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	Normativa di riferimento	6
2.2	Elaborati di progetto	6
2.3	Bibliografia	7
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	9
4	INQUADRAMENTO GENERALE	11
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
5.1	Assetto geologico-geomorfologico locale	17
6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	21
7	COMPATIBILITÀ GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA	23
7.1	Idrogeo, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.....	23
7.2	Piano Assetto del Territorio (PAT) e Piano degli Interventi (PRC) secondo la L.R. 11/04 del Comune di Adria.....	24
7.3	Autorità di bacino Distrettuale del Fiume Po	28
7.4	Piano territoriale Regionale di Coordinamento, Regione Veneto	30
8	CAMPAGNE DI INDAGINI E RISULTATI.....	31
8.1	Campagna di indagini Aipo Parma maggio 2018 dell'Università di Parma	33

8.2	Campagna di indagini AIPo Parma settembre 2018 di IND.A.G.O s.n.c. Indagini e Opere Ambientali e Geologiche	36
8.3	Campagna di indagini AIPo Parma novembre 2018 di <i>GeoExploration s.r.l.</i>	37
8.4	Campagna di indagini AIPo Parma 2020 di Geolavori s.r.l.	38
8.5	Campagna di indagini Aipo Parma 2021 di Socotec Italia s.r.l.	45
8.6	Campagna di indagini AIPo marzo 2023	48
9	MODELLO GEOLOGICO	50
10	STUDI SISMICI DELL'AREA	55
11	RISPOSTA SISMICA LOCALE	59
12	CONCLUSIONI.....	61
	ALLEGATO	64

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 sinistra del Fiume Po nel comune di Adria.

L'Agenzia AIPo è subentrata al Magistrato per il Po, già organo decentrato del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, in attuazione della Legge 59/97 e del successivo D.Lgs. 112/98. AIPo è organo strumentale per la gestione interregionale della difesa del territorio dalle alluvioni dal 01/01/2003 per le regioni del Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna e Veneto.

La Regione del Veneto ha stabilito la sua partecipazione all'istituzione di AIPo con la L.R. n. 4 del 1° marzo 2002, la quale esercita le proprie funzioni nell'ambito della Direzione Territoriale Idrografica Veneto con sede di riferimento regionale presso l'Ufficio Operativo di Rovigo.

L'AIPo svolge le funzioni di programmazione operativa, progettazione ed attuazione degli interventi finalizzati alla sicurezza idraulica del territorio sulle arginature (Testo Unico n. 523/1904) tra i quali gli Argini del fiume Po e dei Rami Deltizi ricadenti nel territorio della Provincia di Rovigo.

AIPo intende progettare ed eseguire un intervento di messa in sicurezza anche sul tratto di arginatura, oggetto della presente relazione, presso la località di Mazzorno Sinistro, nel comune di Adria. La necessità è motivata dalla formazione a campagna di alcuni fontanazzi in occasione delle piene del fiume Po che ha provocato disagi alla popolazione locale e danni anche ad alcuni edifici e infrastrutture.

Il progetto prevede la realizzazione di un diaframma in conglomerato cementizio plastico di tenuta idraulica per un tratto di circa 1200 m e una sistemazione dell'argine lato fiume.

Il presente documento ha lo scopo di 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;
- fattibilità geologica, idrogeologica e sismica del progetto.

Oltre ad uno studio dei dati bibliografici disponibili, è stato possibile consultare i risultati di altre campagne di indagini nell'area in oggetto, i quali sono stati forniti da AIPO Rovigo.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee guida 2005 AGI - Associazione Geotecnica Italiana
- 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"»
- 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
- Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio. Associazione Geotecnica Italiana. AGI (1994)
- 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
- UNI 11531-1:2014 Costruzione e manutenzione delle opere civili delle infrastrutture - Criteri per l'impiego dei materiali - Parte 1: Terre e miscele di aggregati non legati

2.2 ELABORATI DI PROGETTO

- AIPO (2023). Risultati di laboratorio e stratigrafie relativi a n.3 pozzetti esplorativi eseguiti in area golenale.
- Caporicci M.P., Francese R., dell'Università di Parma (maggio 2018). Rilievo geofisico dello stato di consistenza di rilevati arginali in località Mazzorno Sinistro (RO).
- Erbacci P., Spinardi A., Ronconi P., Bauce R., Pellegrino P., Gobbi A., Bergamasci S. (2022). Progetto generale di fattibilità tecnica ed economica, I stralcio. Lavori di sistemazione arginale: costruzione di un diaframma plastico in sinistra del Po di Venezia a protezione dell'abitato di Mazzorno sinistro in Comune di Adria (RO) per Agenzia Interregionale per il fiume Po (AiPo).
- Geoexploration s.r.l. (2018). Ubicazione tomografie geoelettrica- Appendice 1b e Tomografie geoelettriche LE3-LE4 - Appendice 3;
- Geolavori s.r.l. Indagini Geognostiche prove geotecniche in sito (aprile 2020). Indagini geologiche e geotecniche finalizzate alle verifiche di filtrazione in località Mazzorno Sinistro nel comune di Adria (RO). CIG: 8183027F7D.

- IND.A.G.O s.n.c. Indagini e Opere Ambientali e Geologiche (settembre 2018). Rapporto tecnico, Misure tomografiche elettriche in località Mazzorno Sinistro.
- Socotec Italia S.r.l. (2021). Campagna di indagini geognostiche: penetrometrie, rilievo, stratigrafie.

2.3 BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po (2008). Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Delta (PAI Delta), legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter., approvato con D.P.C.M. 13 novembre 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale 31 marzo 2009, n. 75.
- Baratto F. (2014). Relazione geologica rev01 (cod. 480-1-14), del Piano di Assetto del Territorio del comune di Adria, Provincia di Rovigo, approvato con Decreto del Presidente della Provincia di Rovigo n.34 del 26/04/2018 e pubblicato sul B.U.R. con n.27 del 27/07/2018 la sua variante più recente è stata adottata con Delibera di Consiglio Comunale n.1 del 28/12/2019;
- 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;
- Cibir 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 Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e Note illustrative, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia;
- 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>;
- Tombolan P., Di Paolo R., Bertin L. Moresco I. (2018). Norme tecniche e Carta delle Fragilità (elaborato 3b) del Piano di Assetto del Territorio del comune di Adria, Provincia di Rovigo, approvato con Decreto del Presidente della Provincia di Rovigo n.34 del 26/04/2018 e pubblicato sul B.U.R. con n.27 del 27/07/2018 e la sua variante più recente è stata adottata con Delibera di Consiglio Comunale n.1 del 28/12/2019;
- Voltan D. (2022). Valutazione di compatibilità idraulica, Relazione idraulica del Piano degli interventi approvato con delibera del Consiglio Comunale il 30/01/2023. Comune di Adria (RO);

- Voltan D. (2023). Tav. 1.8 a scala 1:50.000, Zonizzazione, Vincoli, Fragilità dell'interno territorio comunale del Piano degli interventi approvato con delibera del Consiglio Comunale il 30/01/2023. Comune di Adria (RO).

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Adria (ISTAT:029001) è collocato in una posizione centrale della Provincia di Rovigo, nel territorio del Delta Veneto, a circa 30 km dalla foce del fiume Po (Figura 3.1 e Figura 3.2). L'area degli interventi si colloca a Sud-Est del territorio comunale su un argine collocato sulla sponda sinistra del fiume Po nella località di Mazzorno Sinistro.

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

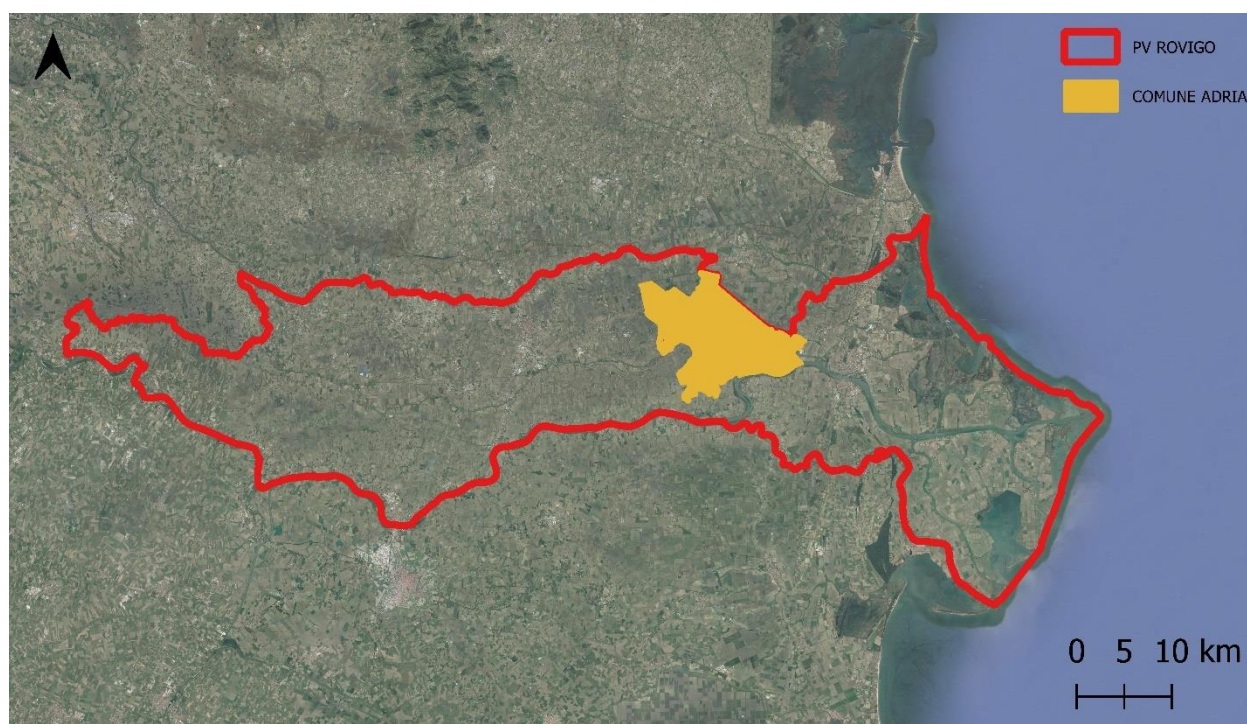


Figura 3.1 Limiti della provincia di Rovigo e comune di Adria su immagine satellitare (Google Earth, 2023)

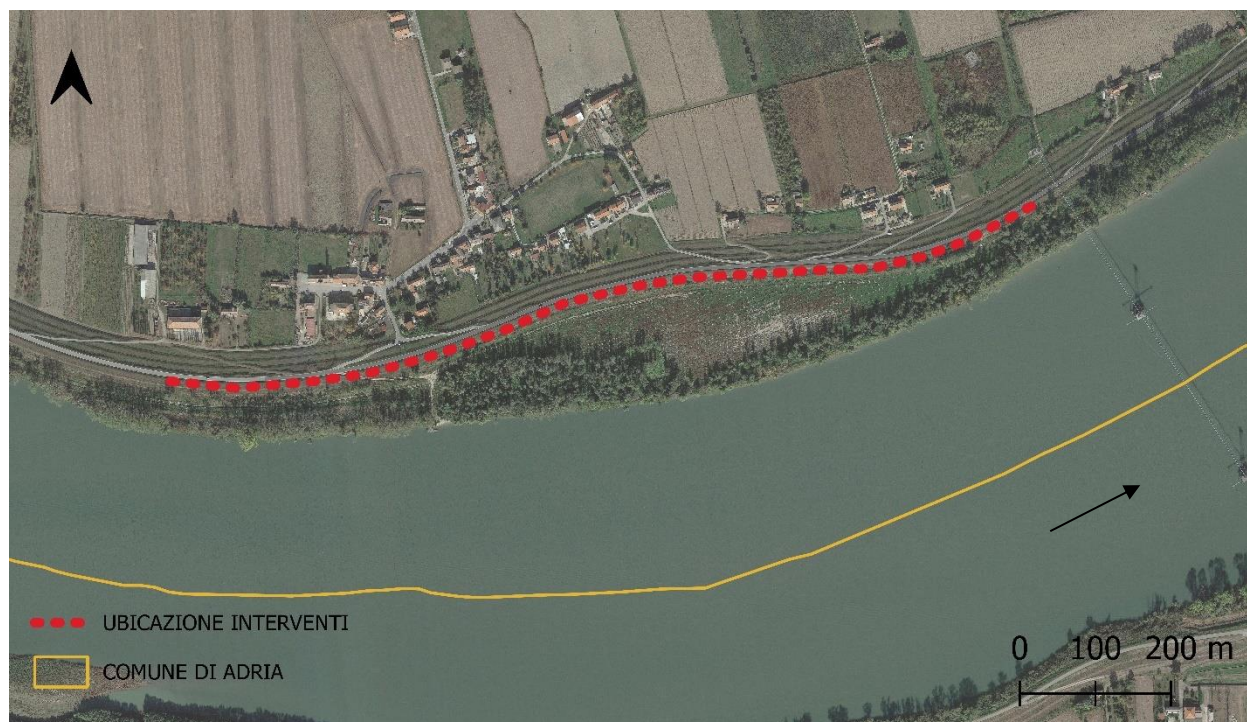


Figura 3.2 Inquadramento degli interventi su immagine satellitare (Google Earth, 2023)

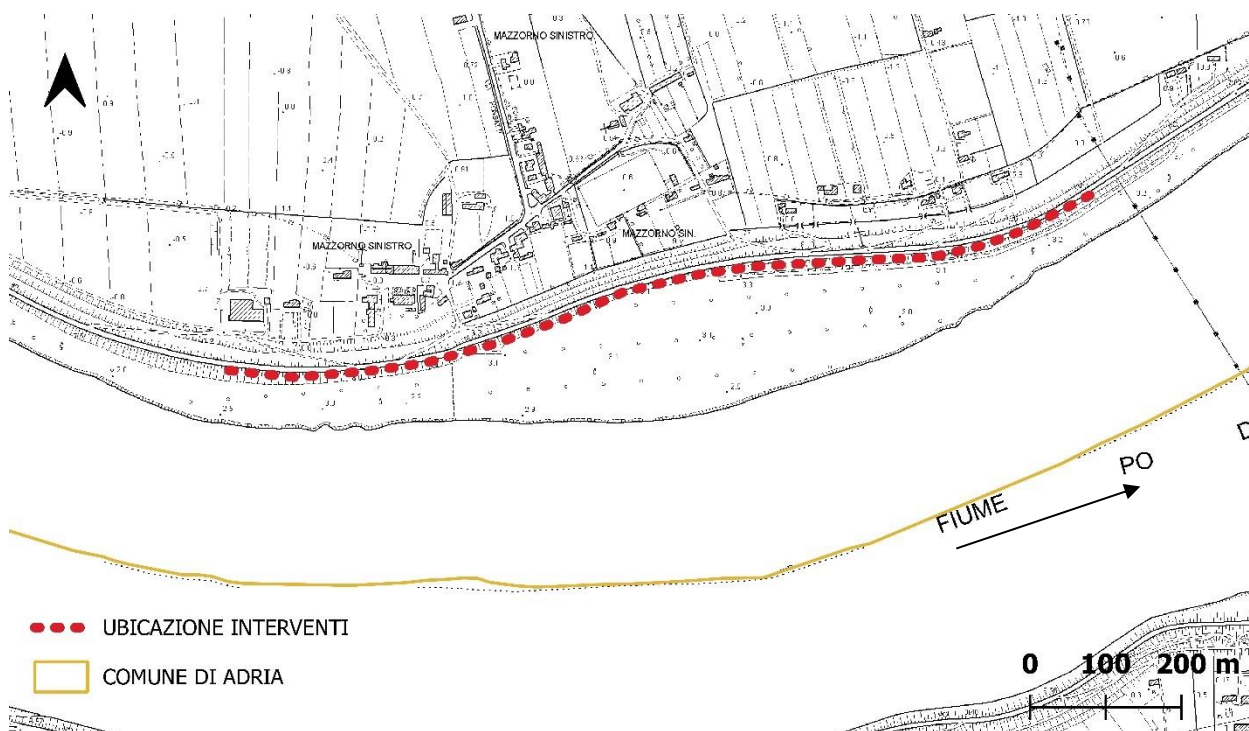


Figura 3.3 Inquadramento degli interventi su CTR, elemento n. 169140

4 INQUADRAMENTO GENERALE

Il fiume Po per di più della metà del suo percorso si sviluppa entro un imponente complesso arginale la cui gestione ed il corretto mantenimento costituiscono un elemento di elevata complessità. Ad oggi, non sono ancora stati risolti tutti i problemi di messa in sicurezza di tale territorio nei confronti degli eventi di piena del Po.

Uno degli aspetti più critici nell'area veneta del Po è la presenza di fenomeni di filtrazione, in particolare durante gli eventi di piena, quando il fiume raggiunge un battente idraulico pari a 6-7 m circa al di sopra del piano campagna. Le variabili condizioni del livello del mare possono impedire o rallentare il recapito finale del Po che può permanere a lungo con livelli idrometrici elevati.

Al di sotto delle arginature del fiume Po i terreni di fondazione spesso sono permeabili di natura sabbiosa tali da consentire l'insorgere di fenomeni di filtrazione con il manifestarsi di "fontanazzi" sulle aree a lato campagna.

Il problema dei fontanazzi, che si sono attivati ad esempio in loc. Mazzorno Sinistro durante l'ultima piena dell'inverno del 2019, fino ad oggi è stato affrontato in emergenza solo con le tradizionali coronelle di sacchi di sabbia ma, il perdurare di queste condizioni, espone il territorio nel futuro ad un rischio elevato.

Il miglioramento della sicurezza idraulica avverrà tramite la realizzazione del diaframma di impermeabilizzazione dei terreni di fondazione si pone l'obiettivo di ridurre in maniera significativa i moti di filtrazioni al di sotto delle arginature e garantire l'integrità arginale.

Nei pressi dell'abitato di Mazzorno Sinistro, come è stato analizzato da Erbacci et al. (2022), si sono manifestati moti di filtrazioni e fontanazzi per una fascia di 100 m di larghezza che provocano problematiche alle abitazioni, alla viabilità locale, alla rete fognaria e anche alle reti di distribuzione dell'acqua potabile e metano che, per l'elevata quota della falda freatica, necessitano di ripetuti interventi di manutenzione e ripristino (Figura 4.1).



Figura 4.1 Ubicazione delle principali criticità in loc. Mazzorno Sinistro. Immagine tratta da Erbacci et al. (2022)

La zona più critica, con riferimento alla Figura precedente è quella compresa tra stanti biometrici 514-516, che è stata già oggetto di alcuni interventi per il contrasto alle filtrazioni già negli anni '80.

Le piene più gravose sono state registrate negli anni 1994, 2000, 2002, 2009, 2014 e l'ultima nel novembre del 2019 quando è stato riattivato un fontanazzo particolarmente critico che ha provocato dei cedimenti che hanno provocato danni ad alcuni edifici (autorimessa Orlandi). I fenomeni di filtrazione e la presenza dei fontanazzi si osservano in corrispondenza del centro abitato di Mazzorno Sinistro come mostrano le seguenti Figure.



Figura 4.2 Evento di piena 2019: fontanazzi e fenomeni filtrazione presso Mazzorno Sin., autorimessa Orlandi (Erbacci et al. 2022)



*Figura 4.3 Evento di piena 2019: fenomeni filtrazione e fontanazzi presso il centro di Mazzorno
Sin. e loc. Casa Borella (Erbacci et al., 2022)*

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Comune di Adria 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 5.1, 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 5.1, B) in cui i sedimenti sabbiosi erano distribuiti lungo la fascia costiera grazie al contesto meteomarinario 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.

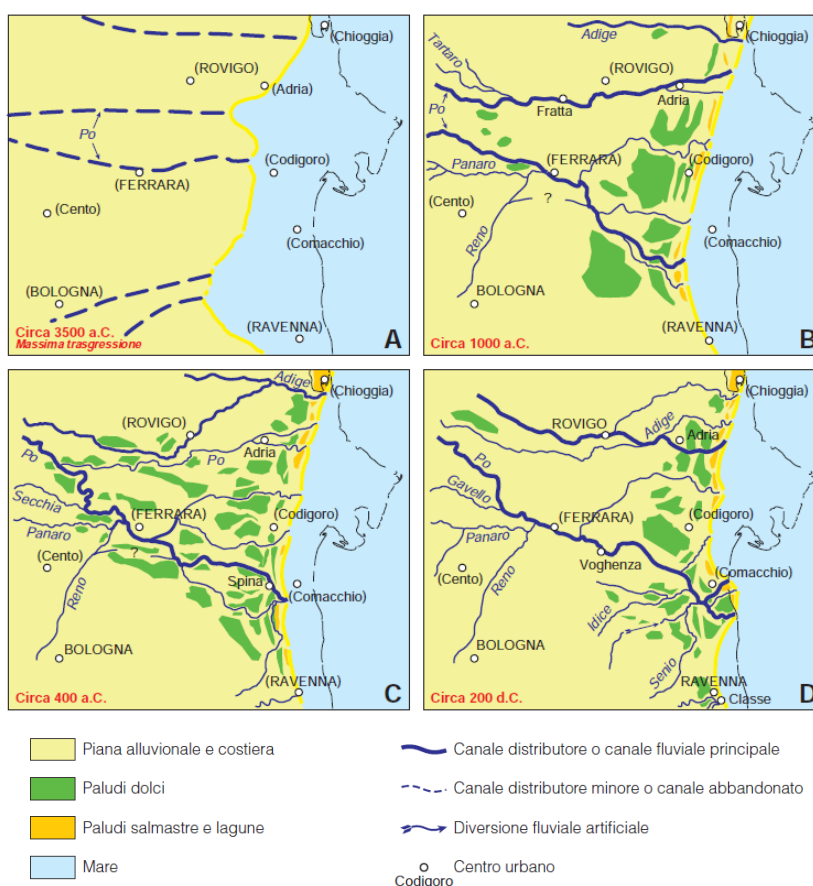


Figura 5.1 Ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dei canali distributori e dei lobi deltizi del Po e di fiumi veneti ed appenninici, a partire dalla massima trasgressione fino all'età romana imperiale (Cibin U. et al., 2009).

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 5.1, 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 5.2 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 5.2 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 attuale (Figura 5.2 D).

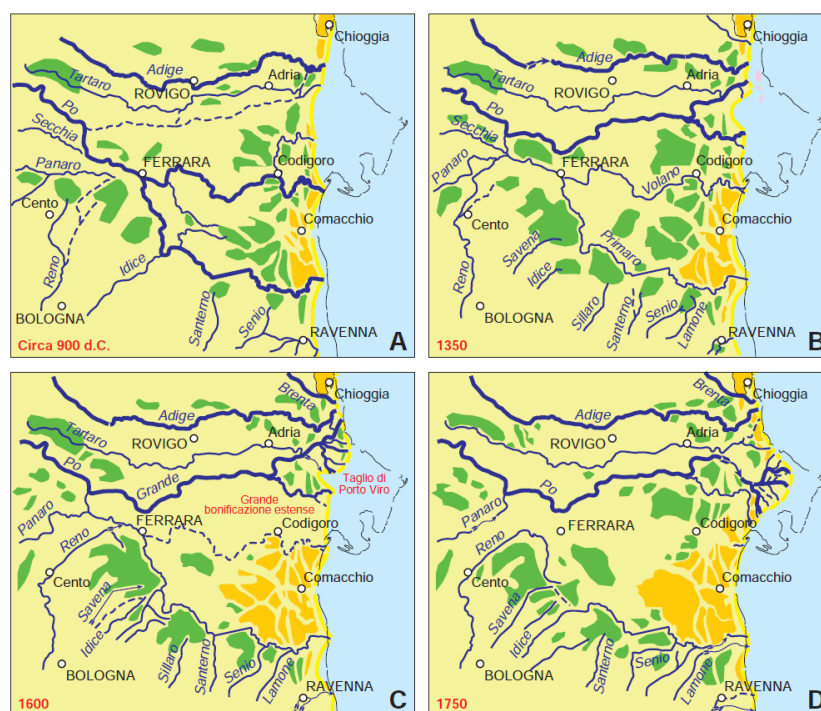


Figura 5.2 Ricostruzione dell'evoluzione paleogeografica dei canali distributori e dei lobi deltizi del Po e di fiumi veneti ed appenninici, degli ultimi 1200 anni (Cibin U. et al., 2009).

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).

5.1 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 5.3).

In genere i terreni con grana sabbiosa sono quelli legati alle strutture morfologicamente più elevate (ventagli d'erosione o dossi), mentre i terreni a grana limosa sabbiosa corrispondono ad aree più distali e infradossi.

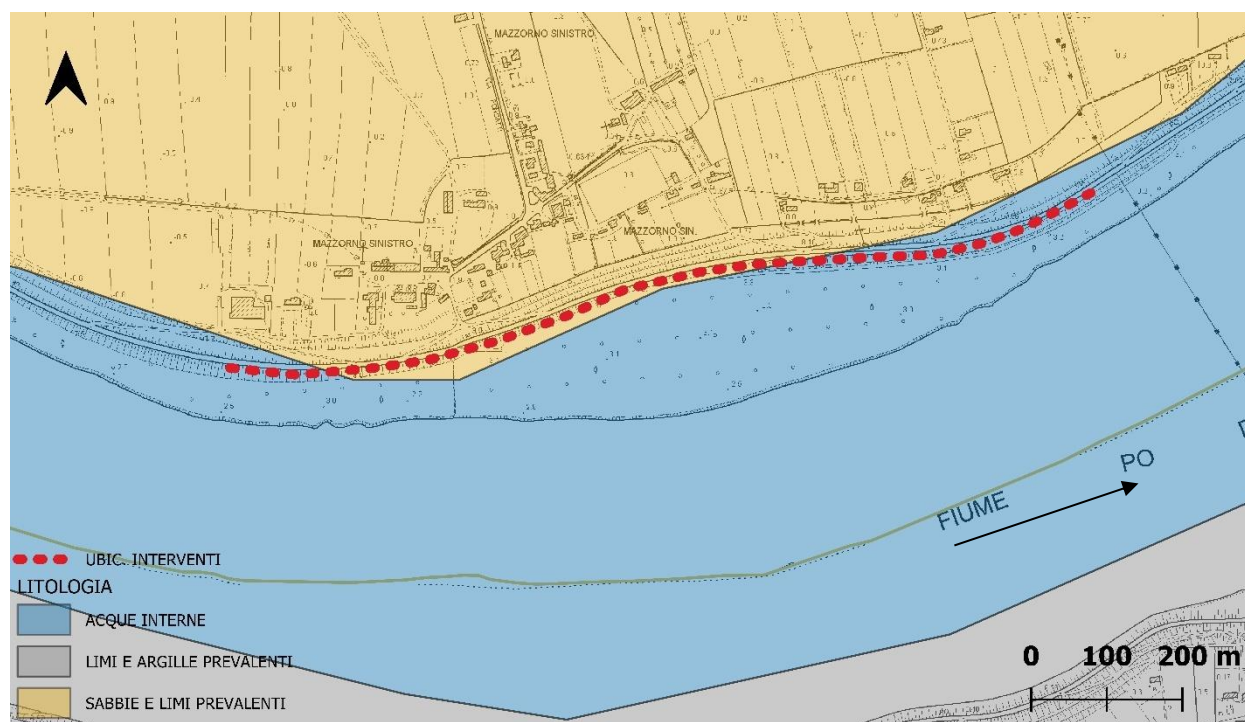


Figura 5.3 Estratto della carta litostratigrafica del Veneto a scala 1:100.000 (Regione del Veneto)

La morfologia del territorio comunale pianeggiante interrotto solo da morfologie di origine antropica legate soprattutto alla viabilità, alla regimazione idraulica e alla 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 presenta una quota altimetrica media di 4 m s.l.m. con oscillazioni tra -2.8 e 1.0 e un debole gradiente altimetrico da W ad E.

Nella Figura 5.4 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 presso cui saranno effettuati gli interventi a Mazzorno Sinistro. 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).

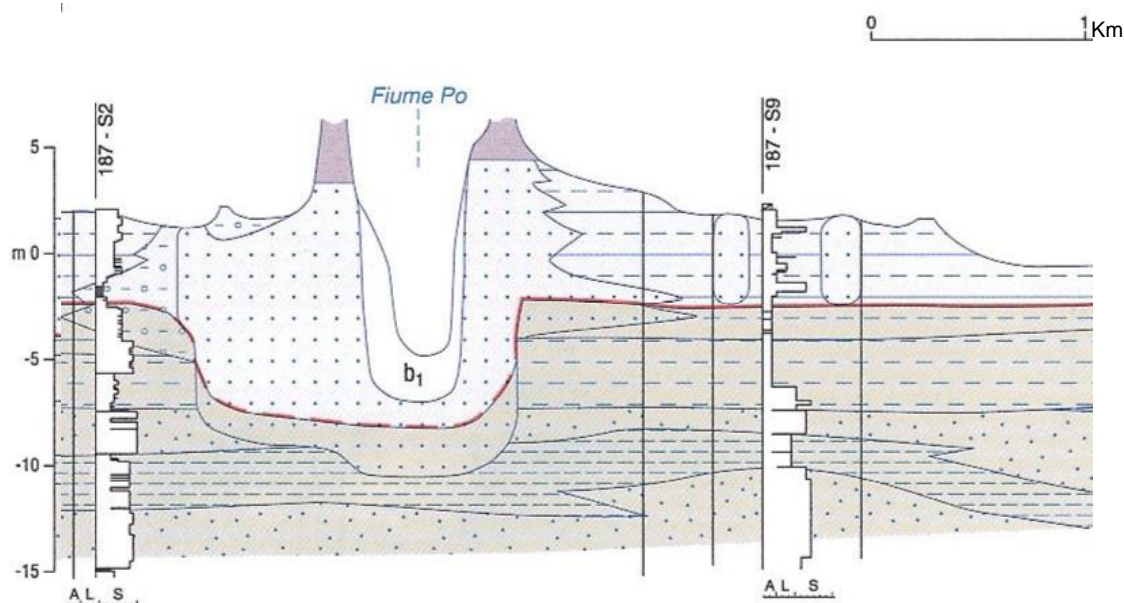
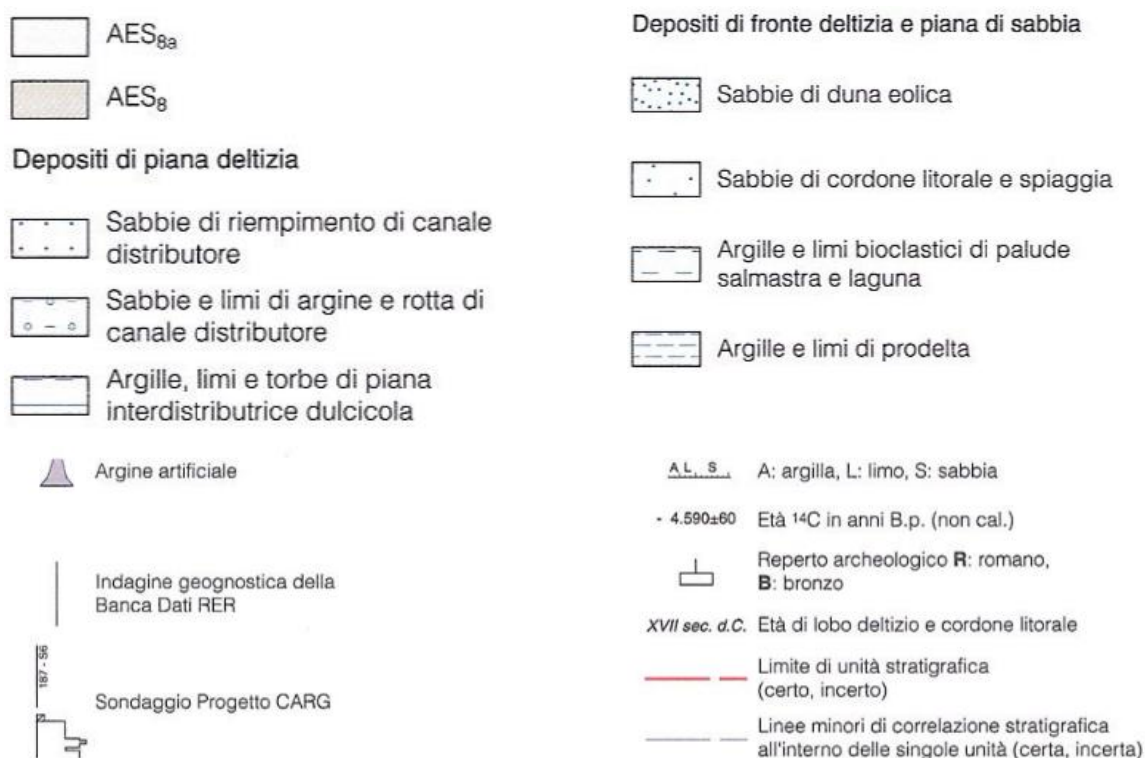
RELAZIONE GEOLOGICA


Figura 5.4 Estratto della sezione geologica AA' al fiume Po (Cibin U. et al., 2009). La sezione si trova due km a sud dell'area in studio



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).

AES₈: Subsistema di Ravenna (tra circa 10.000 anni fa B.P. all'Attuale)

Il subsistema è formato da argille, limi e sabbie di ambiente deltizio. La base, non affiorante, è marcata dalla sovrapposizione *onlap* dei depositi trasgressivi di pianura alluvionale e costiera su una superficie di discordanza incisa su sabbie fluviali, deposte durante l'ultima fase singlaciale di stazionamento basso del livello del mare. Il tetto di AES₈ coincide con l'attuale superficie topografica. AES₈ comprende un'unità di rango gerarchico inferiore (AES_{8a}). La parte affiorante di AES₈ registra l'evoluzione prevalentemente progradante della linea di costa, attraverso gli ultimi 4000 anni.

AES_{8a}: Unità di Modena (da circa 1.500 anni all'Attuale)

Si tratta della porzione più recente del AES₈- 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 in genere tra 0 e 25 m.

6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il territorio di Adria è collocato in bassa pianura delimitato a Nord dall'Adige e a Sud dal Fiume Po di Venezia. L'area in studio è collocata nel delta del bacino del fiume Po, in particolare sulla destra idrografica del fiume, appena qualche chilometro dopo della sua suddivisione tra il ramo principale del fiume Po e il ramo denominato Po di Goro, come mostra la seguente Figura.

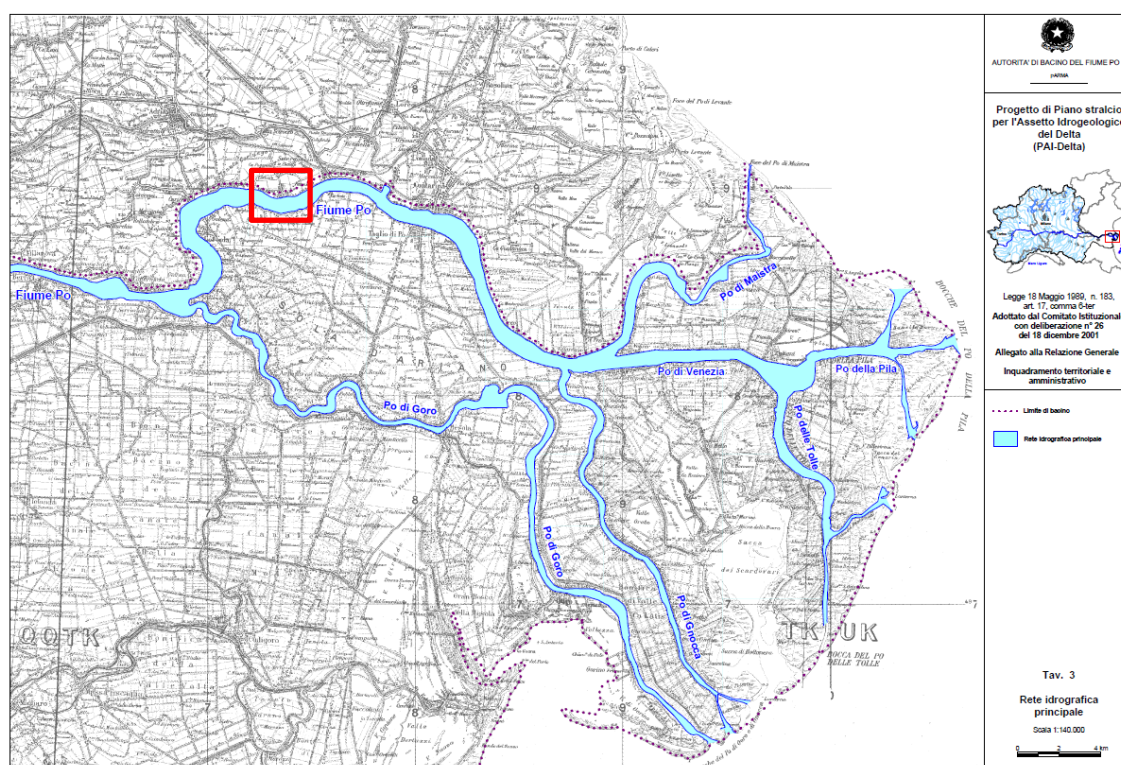


Figura 6.1 Carta della rete idrografica principale del delta del Fiume Po e limite di bacino (Autorità di Bacino del Fiume Po, 2007)

Ai fini idraulici, l'intero comprensorio del Comune di Adria è asservito ad una fitta rete di canali e scoli e a impianti di sollevamento delle acque meteoriche gestiti dal Consorzio di Bonifica Adige-Po con sede a Rovigo (Voltan D., 2023).

Il sistema acquifero può essere suddiviso in due parti principali: la falda regionale e la falda superficiale freatica (Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po, 2008).

La falda regionale è in pressione sotto una copertura argillosa-limoso. La direzione principale del flusso va da Ovest verso Est con una pendenza molto limitata (circa 0.02%) causa di un lento deflusso orizzontale.

La falda superficiale è in genere libera (falda freatica) e poco profonda ($0.5 \div 3$ m) con gradiente idraulico molto basso e generale deflusso da Ovest verso Est verso il mare Adriatico (Autorità di Bacino fiume Po, 2008; Baratto F., 2014). La falda è in diretta comunicazione con la superficie e trae alimentazione sia dal deflusso sotterraneo che proviene dalle zone a monte che dall'infiltrazione diretta delle acque superficiali attraverso la soprastante superficie topografica (precipitazioni, dispersione di subalveo, immissione artificiale d'acqua nel sottosuolo con l'irrigazione) (Baratto F., 2014).

7 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;
- Strumenti urbanistici del Comune di Adria, Piano Assetto del Territorio (PAT);
- Piano Assetto Idrogeologico (PAI) e Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po;
- Tavola idrogeologica e del rischio sismico e Norme tecniche del Piano Territoriale Regionale di Coordinamento (PTRC) della Regione Veneto.

7.1 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 7.1: Estratto della mappa riguardo alla pericolosità e il rischio idraulico tratta dal Portale Idrogeo (ISPRA).

7.2 PIANO ASSETTO DEL TERRITORIO (PAT) E PIANO DEGLI INTERVENTI (PRC) SECONDO LA L.R. 11/04 DEL COMUNE DI ADRIA

Per quanto riguarda la compatibilità geologica e idrogeologica a livello comunale è possibile consultare la Carta delle Fragilità del PAT a scala 1:10.000 del comune di Adria (Tombolan et al., 2008).

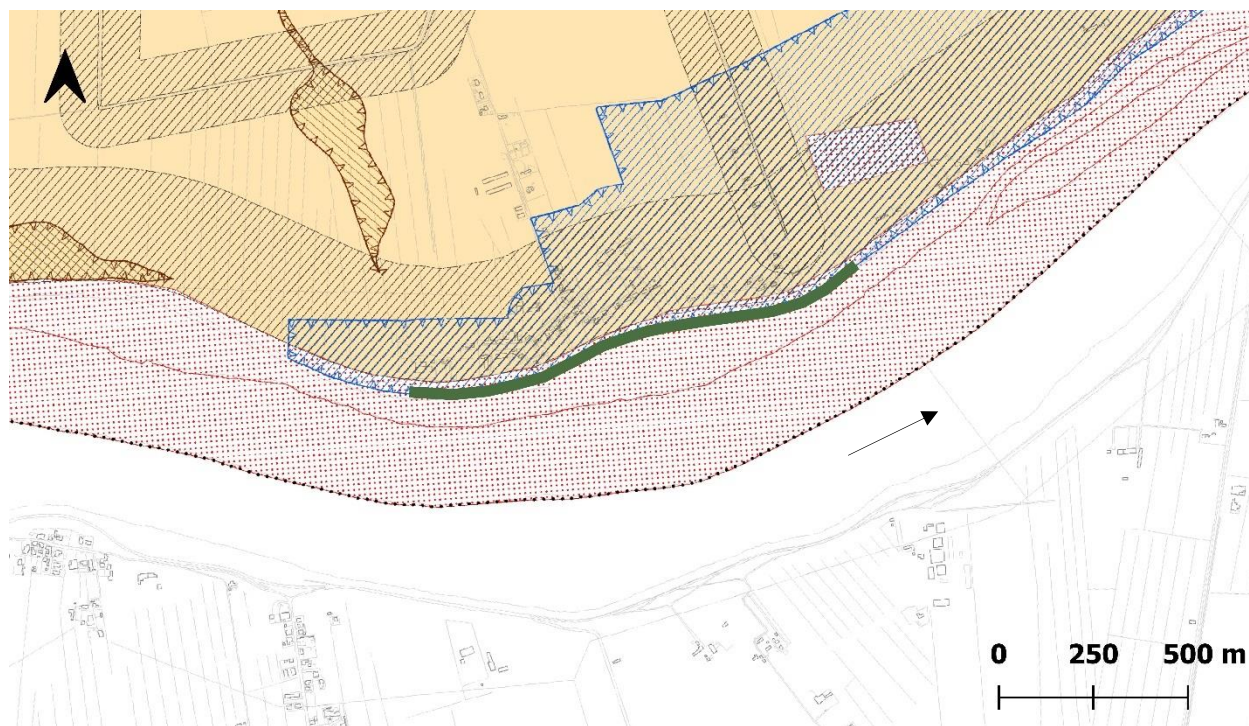


Figura 7.2 Estratto fuori scala della Carta delle Fragilità del PAT a scala 1:10.000 del comune di Adria (Tombolan et al., 2008). In verde è segnato l'argine sul quale verranno effettuati gli interventi.

Estratto della Legenda della Carta delle Fragilità del PAT di Adria (Tombolan et al., 2008)

	COMPATIBILITÀ GEOLOGICA: Aree idonee a condizione "C", terreni incoerenti, con buone proprietà geotecniche, su dossi fluviali e falda poco profonda → Art.21 delle NT
	COMPATIBILITÀ GEOLOGICA: Aree non idonee → Art.21 delle NT
	TUTELA AI SENSI DELL'ART. 41 DELLA L.R. 11/2004 Zone di tutela e fascia di rispetto dei corsi d'acqua – lettera g art. 41 LR 11/2004 → Art.22 delle NT
	AREA A DISSESTO IDROGEOLOGICO Area esondabile (informazioni fornite dal Consorzio di Bonifica del Fiume Po), criticità per inondazioni periodiche → Art.23 delle NT

Di seguito si riporta un estratto dell'Art. 21 riguardo alla compatibilità geologica e l'Art 23 relativo alle aree soggette a dissesto idrogeologico, tratti dalle Norme Tecniche (NT) del PAT di Adria (Tombolan P., et al. 2018).

"Art. 21 Compatibilità geologica

Contenuto: c. aree non idonee costituite da: aree localizzate lungo gli alvei dei fiumi Po, Canalbianco, Naviglio Adigetto e degli scoli consorziali principali sino all'unghia esterna degli argini; ...

Prescrizioni: Nelle aree non idonee è preclusa l'edificabilità, salvo gli interventi: atti al miglioramento del sistema naturalistico ambientale e della sicurezza idrogeologica (percorsi naturalistici, bacini di laminazione, etc.); di sistemazione e mitigazione del dissesto geologico e idrogeologico. "

"Art. 23 Aree soggette a dissesto idrogeologico

Contenuto: il P.A.T. individua le seguenti aree soggette a dissesto idrogeologico con l'obiettivo di promuovere il riassetto idrogeologico e la salvaguardia delle risorse idriche evitando il manifestarsi di condizioni che possano potenzialmente porsi quali fattori di inquinamento della falda sotterranea.

Prescrizioni: ... Tali prescrizioni specifiche risulteranno decadute al completamento di specifici interventi progettuali, in conseguenza della riduzione del particolare stato di rischio idraulico, senza che ciò costituisca variazione al P.A.T. ..."

Tuttavia, il Comune di Adria ha redatto il Piano degli Interventi nel 2023, che recepisce e precisa la suddivisione dell'intero territorio comunale in Ambiti Territoriali Omogenei (A.T.O.) operata dal P.A.T., è stata redatta perciò la Tavola 1.8 *Zonizzazione, vincoli, fragilità* a scala 1:5.000 del Piano degli Interventi del Comune di Adria (Voltan D., 2023), di cui la seguente Figura ne mostra un estratto.

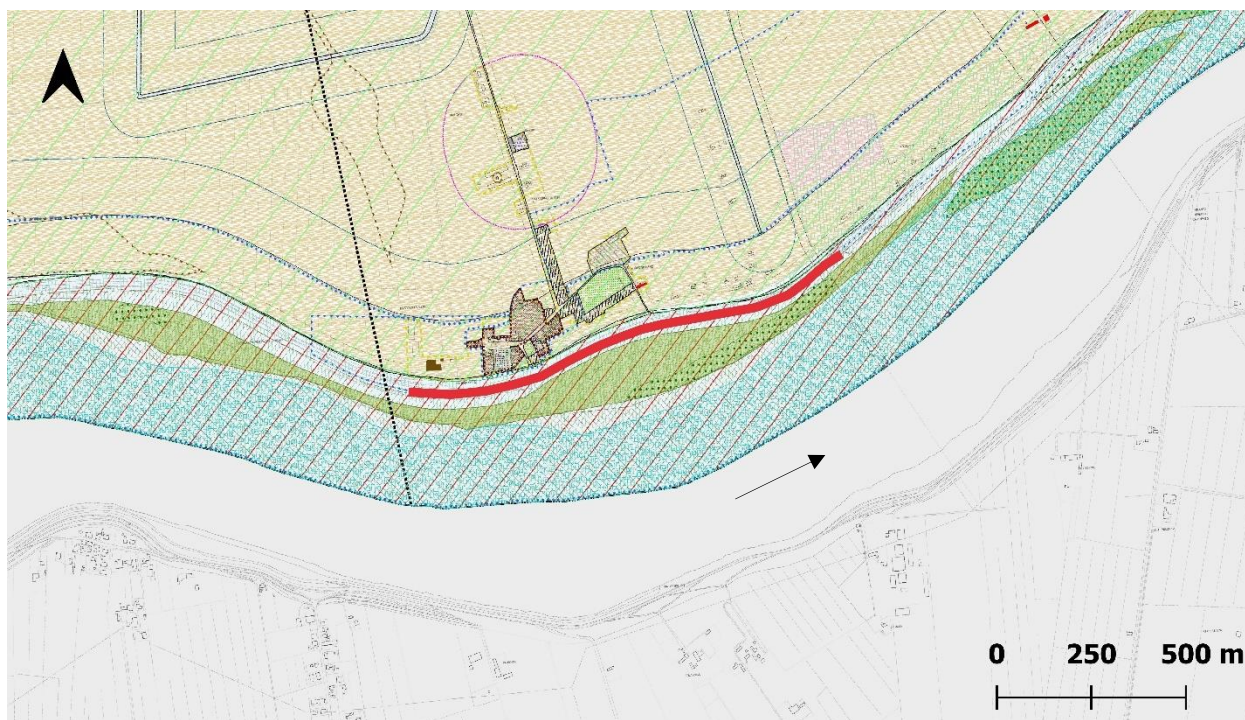


Figura 7.3 Estratto fuori scala della Tav.1.8 Zonizzazione, Vincoli, Fragilità del PI del Comune di Adria (Voltan D., 2023). In rosso l'ubicazione degli interventi.

Dal punto di vista dei vincoli geologici idrogeologici, la Tavola nella Figura precedente, in corrispondenza dell'area degli interventi previsti sull'argine, prevede i seguenti vincoli e salvaguardia idrogeologica:

Area a pericolosità idraulica e idrogeologica elevata in riferimento al PAI Fiume Po (Fascia fluviale A-B) – P3 (Pericolo elevato). *Vincolo*

ART. 31 - Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del Fiume Po

1. Il P.I. recepisce il PAI del Delta del Fiume Po e nello specifico:

- a) le "fasce dell'alveo di piena A-B" (P3);
- b) le "fasce di rispetto idraulico C1" (P1).



Criticità per inondazioni periodiche. *Salvaguardia idrogeologica*

ART. 46 - Aree esondabili e/o a ristagno idrico

1. Il Piano riporta la perimetrazione delle aree soggette a esondazione e ristagno idrico tali da condizionare l'utilizzazione urbanistica del territorio considerato.



4. Tutti gli interventi consentiti non devono pregiudicare la definitiva sistemazione né la realizzazione degli altri interventi previsti dalla pianificazione di bacino. Salva eccezione ammessa in presenza di interventi di compensazione che garantiscano l'assetto idraulico preesistente o comunque per interventi di mitigazione del rischio, di tutela della pubblica incolumità o previsti dal piano di bacino non è generalmente consentito:

- a) eseguire scavi o abbassamenti del piano di campagna in grado di compromettere la stabilità delle fondazioni degli argini ovvero di scarpate soggette a fenomeni franosi;

 RELAZIONE GEOLOGICA

-
- b) realizzare intubazioni o tombinature dei corsi d'acqua superficiali;
 c) occupare stabilmente con mezzi, manufatti anche precari e beni diversi le fasce di transito al piede degli argini;
 d) impiantare colture in grado di favorire l'indebolimento degli argini.
-

...

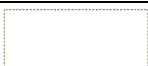
Altri vincoli e fasce di rispetto, riguardanti anche l'area golenale appena di fronte all'argine oggetto degli interventi che si possono osservare sulla Tavola 1.8, non però di competenza geologica sono:



Vincolo paesaggistico D.Lgs. n.42/2004, art. 142 lett. f - Beni Paesaggistici - Parchi e Riserve nazionali o regionali - Parco Regionale del Delta del Po. *Vincolo* → si rimanda all'Art. 25 delle NTO del PI del Comune di Adria



Rete Natura 2000: Siti di interesse comunitario ai sensi del D.G.R. n° 2673/2004. *Vincolo* → si rimanda Art. 29 delle NTO del PI del Comune di Adria



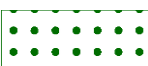
Viabilità / Fasce di rispetto – D.Lgs. n.285/1992 e D.P.R. 495/1992. *Fascia di rispetto ed elementi generatori di vincolo.* → si rimanda Art 37 delle NTO del PI del Comune di Adria

Golene - Piano d'Area del Parco del Delta del Po. *Vincolo* → Art. 28.2



ART. 28.2 - Sistema paesistico-ambientale

1. *Golene: queste zone, da precisare nelle tavole del P.I., devono essere conservate e tutelate. Sono vietate tutte le attività estrattive, fatte salve quelle per il mantenimento della regolare regimazione delle acque e quelle necessarie per il reperimento di materiali destinati a opere di difesa idraulica. ...Per le aree boscate vanno limitati il più possibile i tagli boschivi, fatti salvi quelli necessari per evitare il deterioramento del popolamento o per un'effettiva necessità di sicurezza idraulica.*



Vincolo paesaggistico D.Lgs. n.42/2004, art. 142 lett. g - Beni Paesaggistici - Territori coperti da foreste e boschi | Vincolo di destinazione forestale L.R. 52/1978. *Vincolo* → si rimanda agli Art. 25 Vincolo paesaggistico D.Lgs. n.42/2004, art. 142 lett. c, f, g, m- Beni Paesaggistici e Art. 26 Vincolo di destinazione forestale L.R. 52/78

7.3 AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO

Il territorio di Adria 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 negli Artt. 22 e 23 di fatto, affida alle Regioni il compito di aggiornare gli indirizzi alla pianificazione urbanistica e la verifica di coerenza e per l'adeguamento degli strumenti di pianificazione e programmazione del PAI Delta coordinato con il PGRA.

Il PAI Delta approvato con DPCM 13 novembre 2018 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale il 31 marzo 2009, n. 75) all'interno dell'elaborato Relazione generale al Cap. 10 *Linee generali di assetto idraulico e quadro degli interventi* aveva individuato l'insieme delle misure individuate dal Piano per il conseguimento sul territorio degli obiettivi di sicurezza, a seguito di studi, simulazioni su una serie di scenari di funzionamento ipotizzato e valutazioni sui costi.

Le ipotesi di sistemazione del Piano sono quelle basate *"sull'adeguamento del sistema difensivo senza ipotesi di regolazione del deflusso lungo il ramo del Po di Goro e senza incrementi alla capacità di portata del Po di Maistra"* (scenario 1 tipo 1).

Gli interventi strutturali proposti riguardo al "Po di Venezia – tratto da Papozze (incline Po di Goro) alla foce in Adriatico" relativi allo scenario 1, proprio nel tratto in sinistra Po in loc. Mazzorno Sinistro riguardano *"il ripristino della tenuta idraulica dei rilevati arginali mediante interventi di diaframmatatura e di rivestimento del petto arginale"*. Questa tipologia di interventi è stata proposta anche in destra in corrispondenza degli abitati di Corbola e Taglio di Po e in corrispondenza di Cavanella Po. Ad oggi l'intervento di diaframmatatura in località Cavanella Po è stato realizzato di recente (anno 2021-2022) per un primo stralcio di 500 m (Erbacci et al., 2022), mentre quello di Corbola è in fase di progettazione.

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.

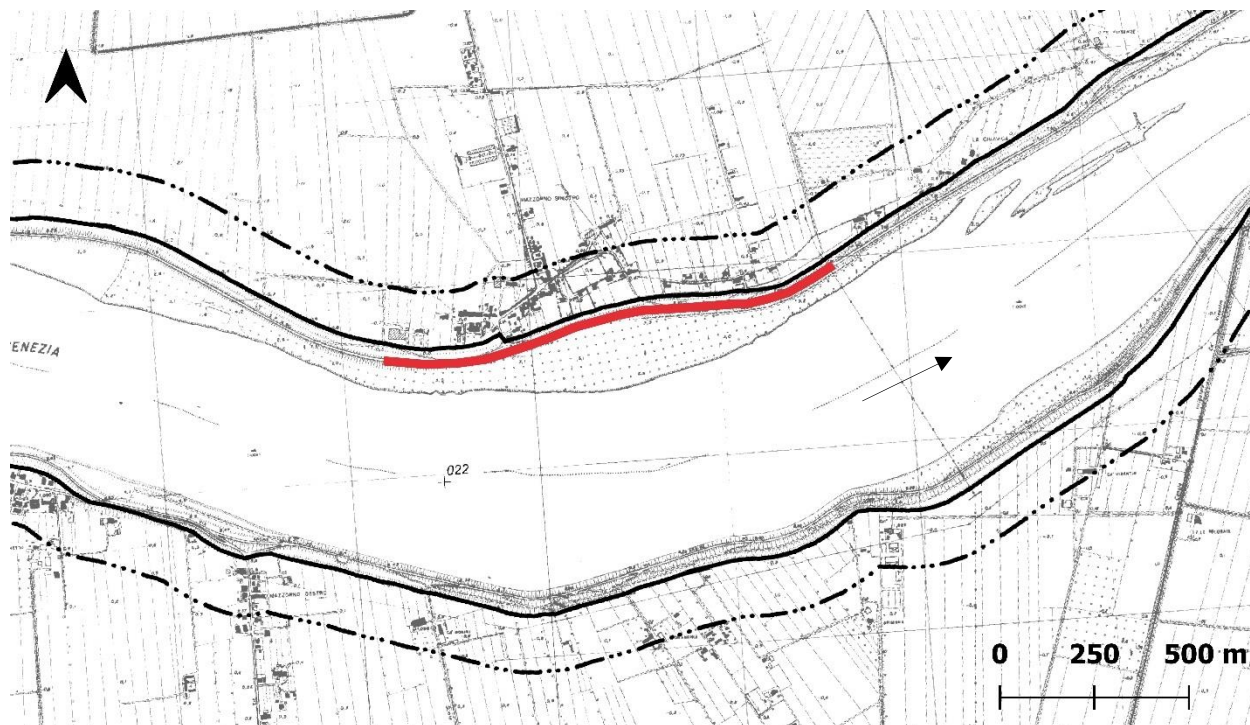


Figura 7.4 Estratto fuori scala della Tavola n.169140 di delimitazione delle fasce fluviali (Autorità di bacino, PAI Delta, 2008). In rosso l'ubicazione degli interventi.

Legenda

	limite esterno della Fascia A-B		034	ubicazione sezioni ricostruite
	limite esterno della Fascia C 1		035	ubicazione sezioni di rilievo

L'art.5 al punto 3, Parte 1, delle NA del PAI Delta (2008) 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.

7.4 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; ..."*

8 CAMPAGNE DI INDAGINI E RISULTATI

A seguito degli eventi di piena che si sono verificati negli ultimi anni, in particolare quella del 2019, AIPo ha avviato tutta una serie di campagne di indagini geognostiche volte a definire il quadro geologico, idrogeologico e geotecnico dell'area di Mazzorno Sinistro.

Nel seguente paragrafo vengono elencate le indagini eseguite in prossimità dell'argine sul quale verranno eseguiti gli interventi previsti in progetto. Tutte le indagini di seguito elencate e sono state fornite da AIPo così come alcune sezioni trasversali altimetriche, tratte da un rilievo.

Le campagne di indagini che sono state eseguite sono le seguenti:

- campagna del maggio 2018 dell'Università di Parma;
- campagna di indagini settembre 2018 di *IND.A.GO. s.n.c. Indagini e Opere Ambientali e Geologiche*;
- campagna di indagini novembre 2018 di *Geoexploration s.r.l.*;
- campagna di indagini 2020 di *Geolavori s.r.l. - Indagini Geognostiche prove geotecniche in sito*;
- campagna di indagini 2021 di *Socotec Italia S.r.l.*

Per la planimetria completa delle indagini si rimanda all'Allegato *Planimetria indagini*, e per i risultati, certificati e le stratigrafie complete si rimanda ai relativi Report delle indagini (Caporicci M.P. et al., 2018; IND.A.GO. s.n.c., 2018; Geoexploration s.r.l., 2018; Geolavori s.r.l., 2020; Socotec Italia S.r.l., 2021).

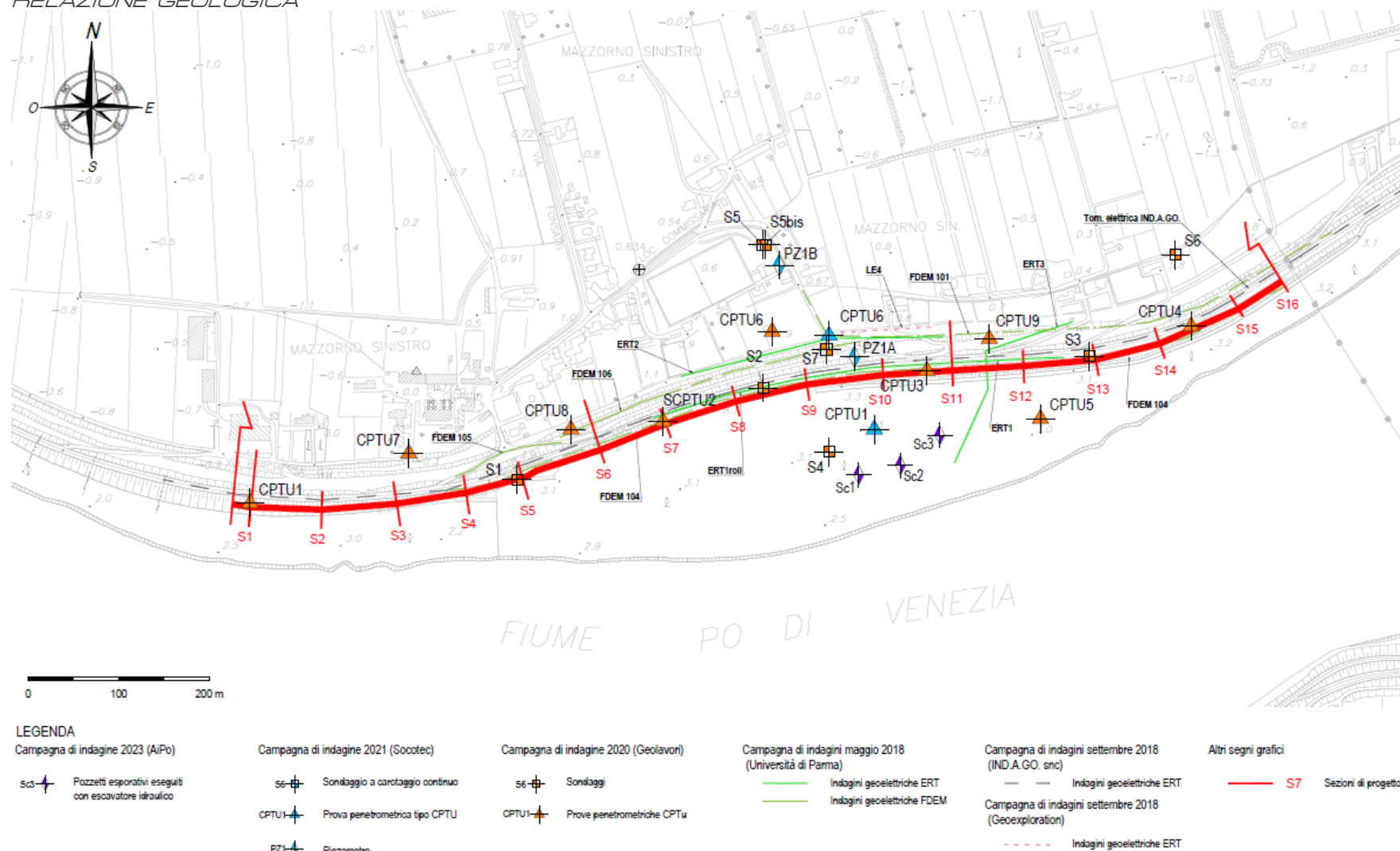
RELAZIONE GEOLOGICA


Figura 8.1 Ubicazione delle indagini presenti nell'area dell'intervento in oggetto su base CTR (Planimetria delle indagini, in Allegato); la nomenclatura delle sezioni trasversali riprende quella del progetto di fattibilità tecnico economica

8.1 CAMPAGNA DI INDAGINI AIPO PARMA MAGGIO 2018 DELL'UNIVERSITÀ DI PARMA

Nell'ambito del progetto CARIPLO, nel mese di marzo 2018, sono state eseguite delle indagini geofisiche con tecniche elettriche ed elettromagnetiche nel tratto di argine in oggetto da Caporicci et al. (2018) dell'Università di Parma, in particolare:

- n. 4 stendimenti di tomografia di resistività (ERT) dei quali tre disposti longitudinalmente rispetto all'argine, lungo la base e il coronamento, e uno disposto trasversalmente. L'interdistanza elettrodoica è stata scelta di 5 m tale da raggiungere una profondità di indagine di circa 15-20 m;

ERT1: è stata eseguita lungo la sommità dell'argine. L'indagine mette in luce prevalentemente uno strato con resistività basse tra i 15-20 Ωm che costituisce il corpo dell'argine di materiale fine spinto sino ad una profondità di circa 8 m dalla quota sommitale dell'argine e infine, in profondità valori di 70-80 Ωm , caratteristici di terreni granulari fini (sabbie e sabbie limose).

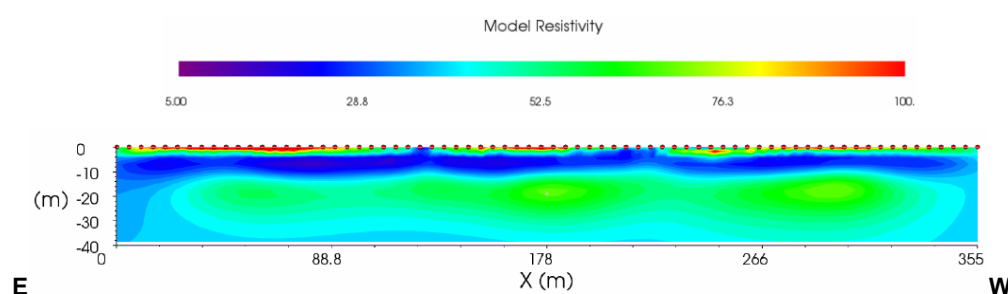
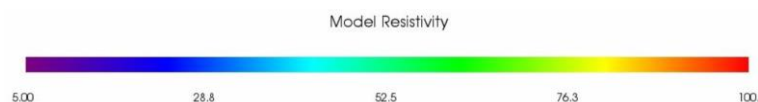


Figura 8.2 ERT 1, campagna di indagini Università di Parma, maggio 2018

ERT2: è stata realizzata longitudinalmente al rilevato arginale in corrispondenza della sua base. L'indagine mette in luce la presenza di valori di resistività prossimi ai 90 Ωm confermando la presenza di terreni granulari e permeabili alla base dell'argine.



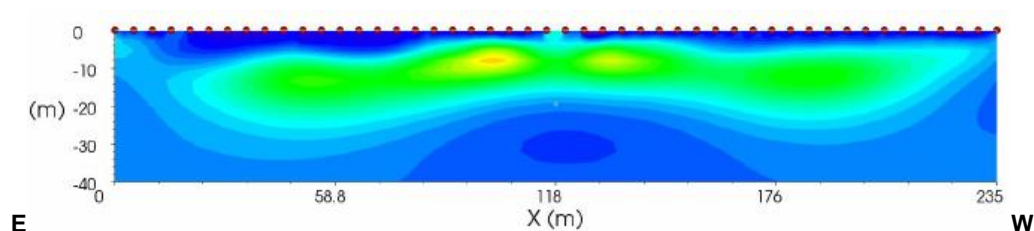


Figura 8.3 ERT 2, campagna di indagini Università di Parma, maggio 2018

ERT3: è stata realizzata trasversalmente all'argine. Si osserva che il corpo arginale ha resistività che variano attorno a 50-60 Ωm (valori tipici dei materiali prevalentemente coesivi), esso sovrasta un livello con resistività molto basse (10-15 Ωm) tipici di terreni argillosi, fino alla profondità di circa 8 m rispetto alla quota del culmine del rilevato. Al di sotto di 9 m di profondità, in corrispondenza dei già citati depositi sabbiosi, le resistività si alzano (70-80 Ωm).

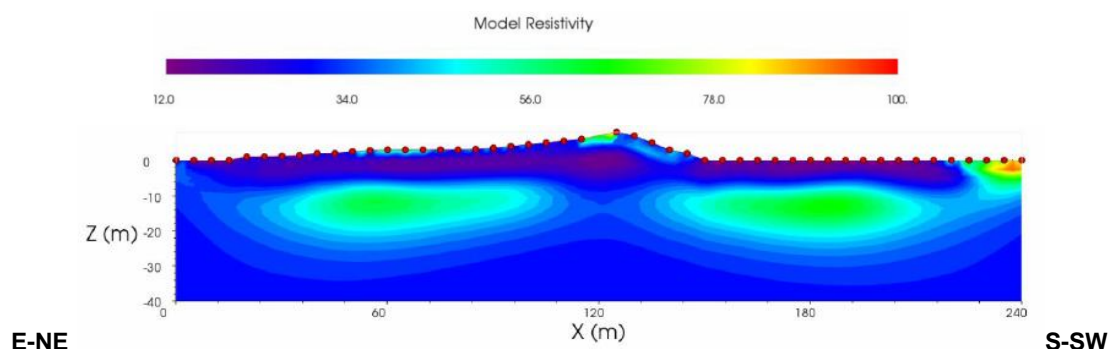
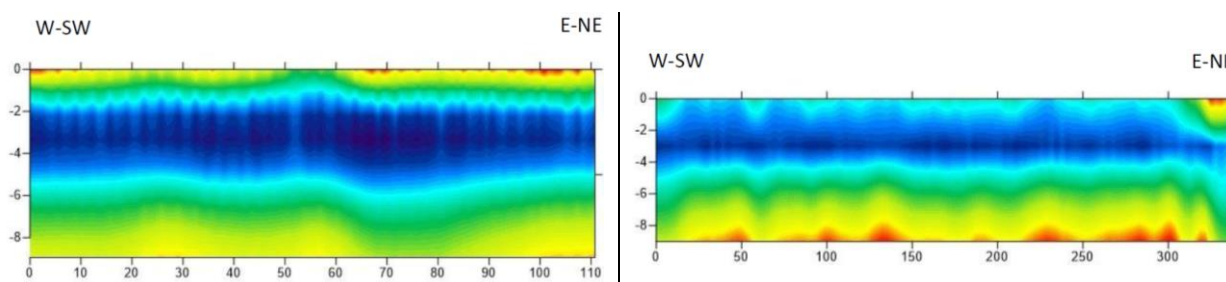


Figura 8.4 ERT 3, campagna di indagini Università di Parma, maggio 2018

- n. 4 linee ad induzione elettromagnetica (FDEM) lungo banche e sommità arginale. In generale si osservano dei valori di resistività bassi in corrispondenza del rilevato arginale costituito prevalentemente da terreni coesivi (10-15 Ωm). Andando in profondità i valori aumentano sino a 70-80 Ωm indicando la presenza di depositi granulari.



RELAZIONE GEOLOGICA

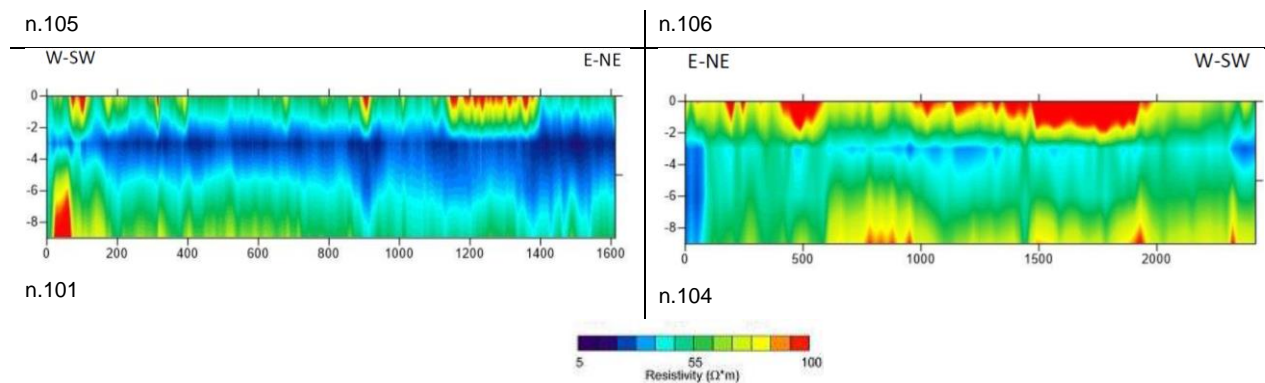


Figura 8.5 Profili FDEM: n. 105 e n. 106 eseguiti lungo la banca più bassa dell'argine (prima banca), n. 101 eseguito lungo la seconda banca dell'argine, n. 104 eseguito lungo la sommità dell'argine

8.2 CAMPAGNA DI INDAGINI AIPo PARMA SETTEMBRE 2018 DI IND.A.G.O S.N.C. INDAGINI E OPERE AMBIENTALI E GEOLOGICHE

Nel settembre 2018 è stata eseguita da *IND.A.G.O s.n.c. Indagini e Opere Ambientali e Geologiche*, su incarico di AIPo, uno stendimento geofisico, in corrispondenza della sommità arginale, con una lunghezza totale di 1365 m riuscendo ad indagare una profondità di circa 25 m da p.c. che ha misurato la resistività elettrica del terreno tramite la tecnica della tomografia elettrica.

Nella seguente Figura si riporta la sezione tomografica restituita.

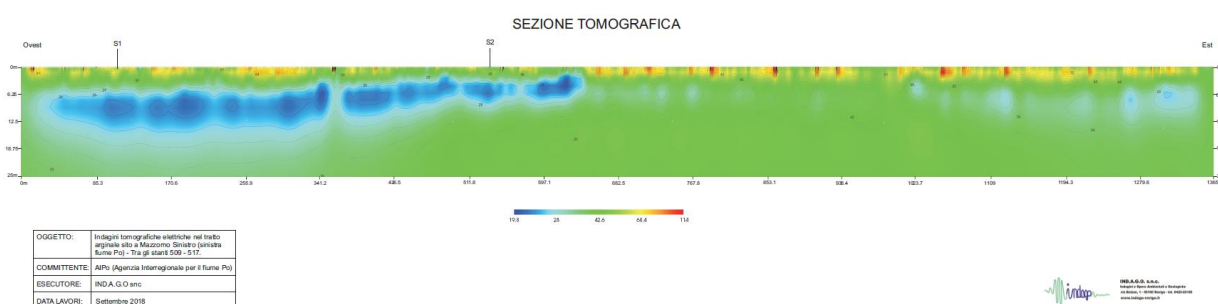


Figura 8.6 Sezione tomografica di lunghezza 1365 m, eseguita da IND.A.G.O s.n.c. per AIPo nel settembre 2018

Le resistività che mostra il terreno indagato variano in un range ampio, tra 19 e 115 Ωm . Le resistività più elevate si hanno nei primi m registrando così il corpo arginale. È possibile attribuire a questo corpo resistivo la corrispondenza di litologie di limi sabbioso-argillosi. Risulta ben evidente uno strato a bassa resistività, tra 19 e 25 Ωm , nella prima metà della sezione tomografica che si assottiglia andando da Ovest a Est (da circa la progressiva 30 m alla progressiva 640 m della sezione tomografica). Al di sotto della lente coesiva e del rilevato arginale i depositi sono prevalentemente sabbiosi e, dalla progressiva 1000 m, si osserva la presenza di una lieve diminuzione di resistività che suggerisce uno strato più coesivo.

8.3 CAMPAGNA DI INDAGINI AIPO PARMA NOVEMBRE 2018 DI GEOEXPLORATION S.R.L.

Nel novembre 2018 è stata eseguita da *GeoExploration srl*, su incarico di AIPo, una tomografia geoelettrica presso loc. delle Chiaviche di lunghezza pari a 120 m che ha indagato fino ad una profondità circa pari a 18 m da p.c.

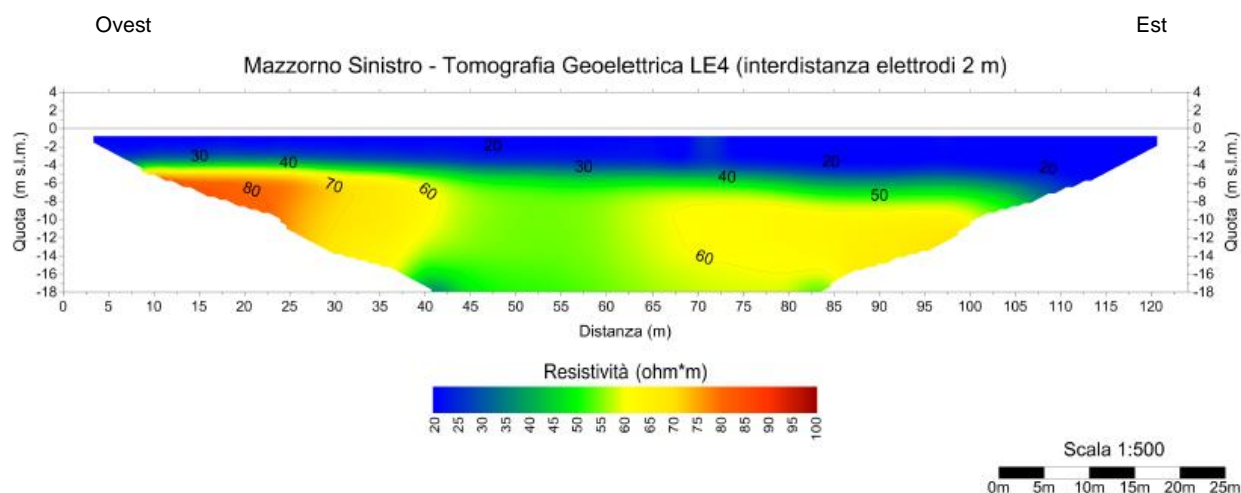


Figura 8.7 Tomografia geoelettrica LE4 di lunghezza di 120 m eseguita da *GeoExploration srl* per AIPo nel novembre 2018.

Le resistività che mostra il terreno indagato variano in un range ampio, tra 25 e 80 Ωm .

La tomografia LE4 registra uno strato con resistività più basse nei primi metri da p.c., uno strato che si spinge fino a profondità di circa -4 m da p.c. verso Ovest (pk 10) e -7 m verso Est (pk 100). Al di sotto dello strato con basse resistività attribuibile a granulometrie fini si notano terreni di natura incoerente.

8.4 CAMPAGNA DI INDAGINI AIPO PARMA 2020 DI GEOLAVORI S.R.L.

Nell'aprile 2020 è stata condotta una campagna di indagini geologiche finalizzate alle verifiche di filtrazione in località Mazzorno Sinistro da parte di Geolavori. Si rimanda al Report completo delle indagini per le stratigrafie e tutte le informazioni complete (Geolavori s.r.l., 2020)

Sono stati eseguite le seguenti indagini:

- n° 7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo: sondaggi S1÷S3 spinti alla profondità di 40 m ed ubicati a partire dalla sommità arginale e strumentati con piezometro a tubo aperto; sondaggio S4 spinto sino alla profondità di 20 m ed eseguito sulla zona golenale; sondaggi S5÷S6 spinti sino alla profondità di 30 m, posizionati a lato campagna e strumentati con piezometro/i Casagrande; sondaggio S7, spinto alla profondità di 20 metri ed ubicato sulla sottobanca.

Tabella 8.1 Lista dei sondaggi eseguiti durante la campagna di indagine di Geolavori 2020, coordinate espresse in WGS84 e tipo piezometro

Nome sondaggio	Latitudine	Longitudine	Profondità (m)	Tipo piezometro	Profondità Pz
S1	45.020742	12.12434	40	Tubo aperto	15
S2	45.021556	12.127831	40	Tubo aperto	10
S3	45.021743	12.132413	40	Tubo aperto	15
S4	45.020896	12.12872	40	-	
S5	45.022956	12.217988	30	Casagrande	14.5
S6	45.022685	12.13671	30	Casagrande	12.3
S7	45.021911	12.128737	20	-	

- n. 30 prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguiti durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo;

Tabella 8.2 Risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguite durante l'esecuzione dei sondaggi durante la campagna geognostica eseguita da Geolavori nel 2020

Sondaggio	Intervallo di prova (m da p.c.)	k (m/s)	Litologia
S1	2.5 ÷ 3.0	1.30E-05	Limo sabbioso
S1	8.0 ÷ 9.0	8.10E-06	Limo sabbioso argilloso
S1	13.0 ÷ 13.5	9.20E-06	Sabbia deb. limosa
S1	16.5 ÷ 16.8	8.40E-05	Sabbia deb. limosa
S1	24.0 ÷ 24.5	4.00E-05	Sabbia deb. limosa
S1	33.0 ÷ 34.0	3.90E-08	Limo argilloso

 RELAZIONE GEOLOGICA

S2	6.0 ÷ 6.5	2.20E-05	Limo sabbioso
S2	9.0 ÷ 10.0	7.30E-07	Limo argilloso
S2	12.0 ÷ 12.5	1.30E-05	Sabbia limosa
S2	15.0 ÷ 15.5	3.50E-05	Sabbia limosa
S2	22.5 ÷ 23.0	4.20E-05	Sabbia deb. limosa
S2	30.0 ÷ 31.5	4.50E-06	Sabbia limosa e argilla limosa
S3	4.0 ÷ 4.5	7.10E-05	Limo sabbioso argilloso
S3	9.0 ÷ 9.5	9.80E-07	Argilla limosa
S3	16.0 ÷ 16.5	2.30E-05	Sabbia limosa
S3	20.5 ÷ 21.0	4.70E-05	Sabbia deb. limosa
S3	34.0 ÷ 34.5	9.90E-07	Argilla limosa
S4	4.0 ÷ 4.5	7.60E-06	Sabbia deb. limosa
S4	10.5 ÷ 11.0	2.50E-05	Sabbia deb. limosa
S4	16.5 ÷ 17.0	1.70E-05	Sabbia deb. limosa
S5	10.0 ÷ 10.3	9.20E-06	Sabbia limosa
S5	16.0 ÷ 16.5	4.30E-05	Sabbia deb. limosa
S5	17.5 ÷ 18.0	3.90E-05	Sabbia deb. limosa
S6	4.2 ÷ 4.7	8.70E-05	Sabbia deb. limosa
S6	11.5 ÷ 12.0	9.70E-06	Sabbia limosa
S6	16.0 ÷ 16.5	8.30E-05	Sabbia deb. limosa
S6	20.5 ÷ 21.5	2.60E-05	Sabbia deb. limosa
S7	2.50 ÷ 3.0	4.60E-05	Sabbia limosa
S7	7.50 ÷ 8.0	5.90E-05	Sabbia deb. limosa
S7	15.0 ÷ 15.5	7.60E-05	Sabbia deb. limosa

- prelievo di n. 38 campioni rimaneggiati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio, i cui risultati sono riportati nella seguente Tabella;

RELAZIONE GEOLOGICA
Tabella 8.3 Prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante i sondaggi eseguiti nel 2020 da Geolavori

Sondaggio	Campione	Z _{in}	Z _{fin}	Granulometria (%)					k (m/s)
				Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Limo + Argilla	
S1	1	2.5	3	0	20.9	63.6	15.5	79.1	
S1	2	8	8.5	0.1	7.8	82.3	9.8	92.1	
S1	3	13	13.5	0	88			11.6	
S1	4	16.5	17						
S1	5	24	24.5	0	94.3			5.7	
S1	6	33	33.5						
S2	1	6	6.5	0.1	14.7	78.2	7	85.2	
S2	2	9	10	0	5	77.1	17.9	95	
S2	3	12	12.5	0	85.1			14.9	
S2	4	15	15.5	0.1	92.8			7	
S2	5	22.5	23	12.7	77.4			9.9	
S2	6	30	30.8						
S2	7	30.8	31.2						
S2	8	34.7	35						
S3	1	4	4.5	0	10.2	73.6	16.1	89.7	
S3	2	9	9.5	0	1.2	61.4	37.3	98.7	8.80E-10
S3	3	16	16.5	0	52.6	41.5	5.9	47.4	
S3	4	20.5	21	0.1	93.4			6.5	
S3	5	34	34.5	0.1	3.9	74	22	96	
S4	1	2.3	2.8	0	14.9	59.9	25.2	85.1	1.83E-09
S4	2	4	4.5	0	88.2			11.8	
S4	3	10.5	11	0	98.5			1.5	
S4	4	16.5	17	0.2	97			2.8	
S5	1	4.9	5.5	0	58.8	37.9	3.4	41.3	
S5	2	6.4	6.9	0	7.1	51	41.9	92.9	9.10E-10
S5	3	10	10.3	0	84.5			15.5	
S5	4	16	16.5	0	76.2			23.8	
S5	5	17.6	18	0	84.7			15.3	
S5	6	26.5	27						
S6	1	1.5	1.95	0.2	7	76.8	15.9	92.7	3.96E-10
S6	2	4.2	4.7	0	88.2			11.8	
S6	3	11.5	12	0	87.3			12.7	
S6	4	16	16.5	0	97.3			2.7	
S6	5	20.5	21.5						
S6	6	27	28						
S7	1	2.5	3	0.1	64.9	28.1	6.9	35	
S7	2	7.5	8	0	86.6			13.4	
S7	3	15	15.5	0	99			1	

- n. 9 prove penetrometriche statiche con piezocono di tipo CPTU e piezocono sismico SCPTU: CPTU1, SCPTU2, CPTU3 e CPTU4 spinte alla profondità di 40 metri ed eseguite sulla sommità arginale; CPTU5 eseguita in area golenale, spinta sino a 30 m; CPTU6 e CPTU7 ubicate a piano campagna e spinte sino a 30 e 35 m; CPTU8 e CPTU9 posizionate sulla mezzabanca e spinte alla profondità di 20 m (Figura 8.9);

Tabella 8.4 Elenco delle prove penetrometriche eseguite da Geolavori nel 2020

Nome CPTU	Latitudine	Longitudine	Profondità (m)	Profondità falda
CPTU1-2020	45.020610°	12.120591°	40	8.2
SCPTU2-2020	45.021262°	12.126415°	40	8
CPTU3-2020	45.021662°	12.130132°	40	8.2
CPTU4-2020	45.022001°	12.133854°	40	7.4
CPTU5-2020	45.021144°	12.131695°	30	1.6
CPTU6-2020	45.022109°	12.127988°	30	1.6
CPTU7-2020	45.021040°	12.122838°	35	0.68
CPTU8-2020	45.021218°	12.125110°	20	1.6
CPTU9-2020	45.021955°	12.131022°	20	1.8

RELAZIONE GEOLOGICA

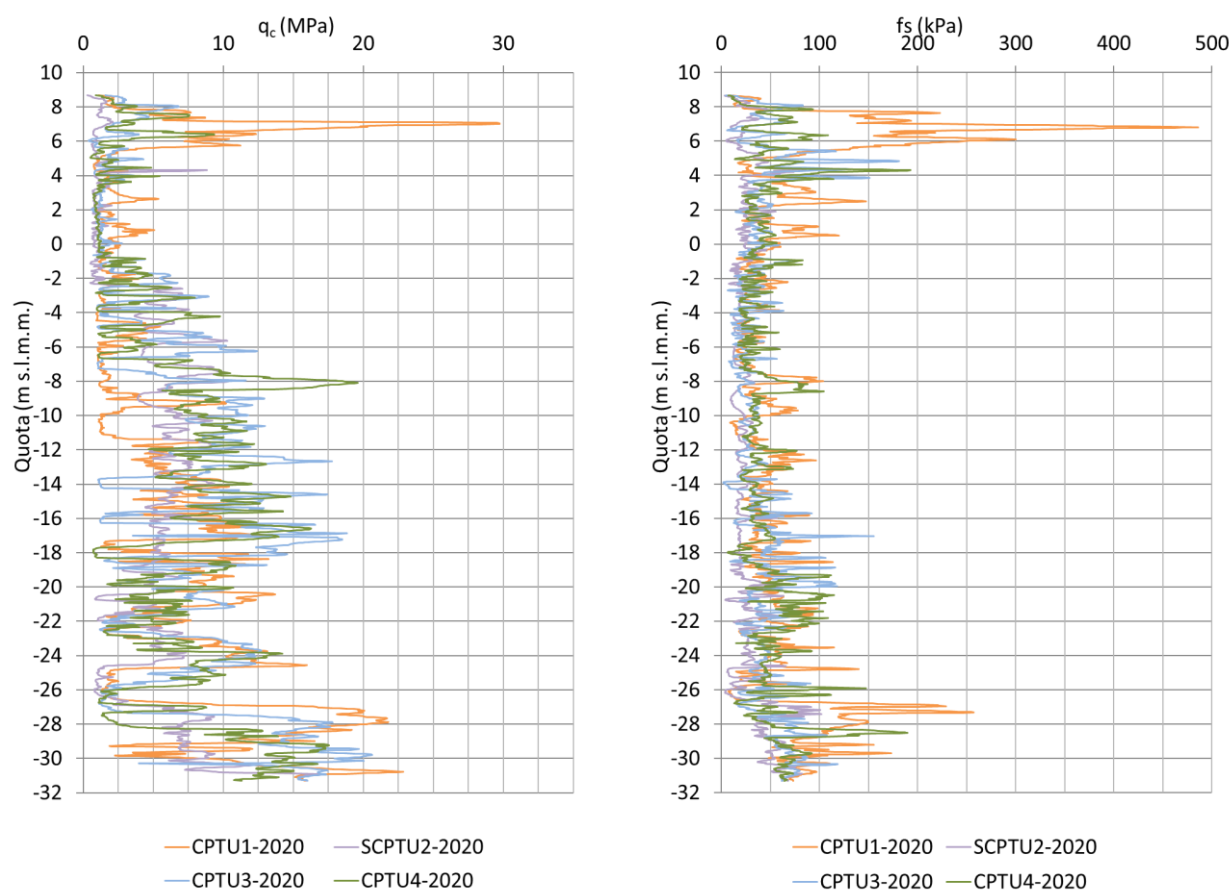


Figura 8.8 Risultati delle prove CPTU della campagna del 2020 eseguite a partire dalla sommità del rilevato arginale

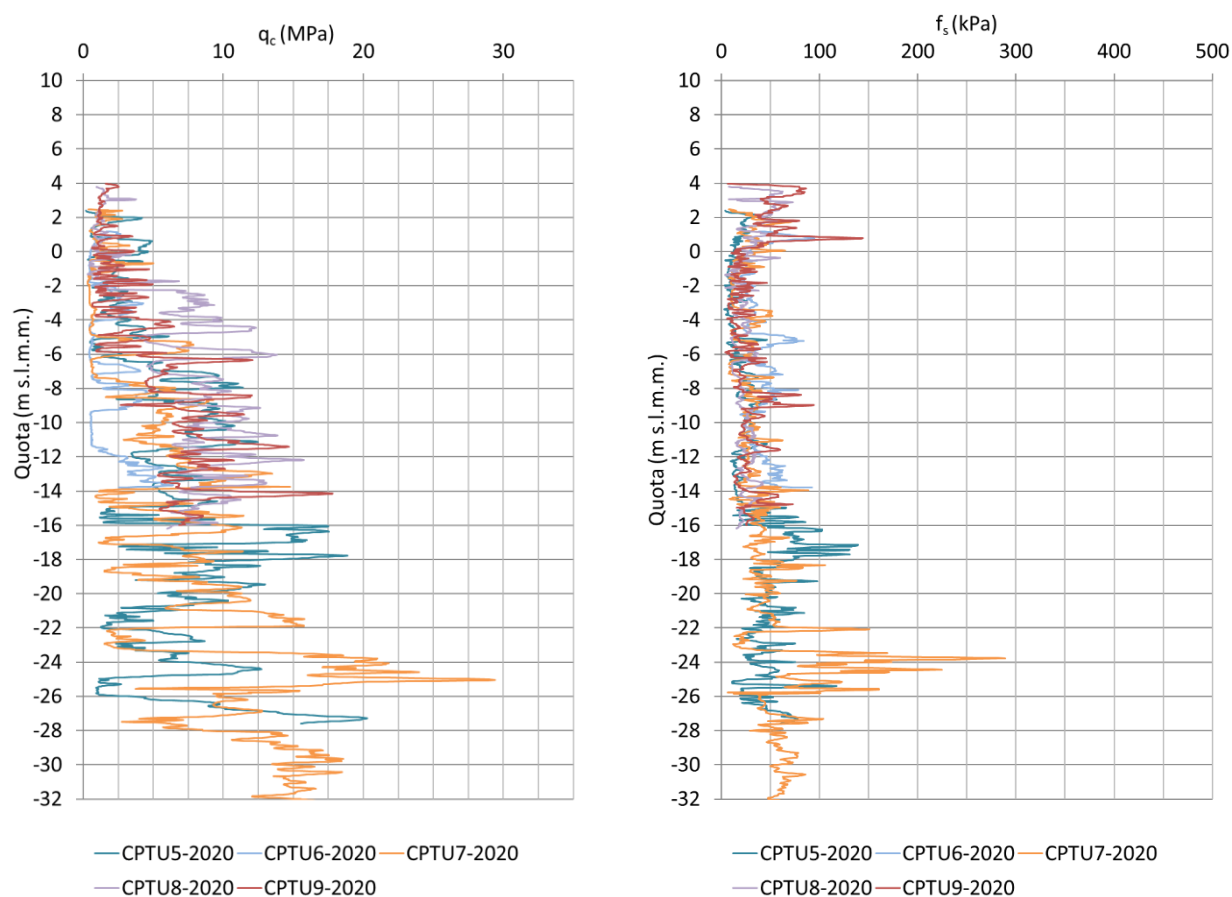
 RELAZIONE GEOLOGICA


Figura 8.9 Risultati delle prove CPTU della campagna del 2020 eseguite a quote inferiori rispetto alla sommità arginale

- n. 12 prove di dissipazione eseguite durante l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche con piezocono;

Tabella 8.5 Risultati delle prove di dissipazione eseguite durante l'esecuzione delle prove CPTU della campagna geognostica eseguita da Geolavori nel 2020

Nome CPTU	Profondità prova (m)	k_h (m/s)
CPTU1-2020	16.68	1.80E-09
CPTU1-2020	33.74	5.49E-09
SCPTU2-2020	33.42	5.95E-09
CPTU3-2020	15.94	3.93E-08
CPTU3-2020	35.26	3.49E-10
CPTU4-2020	35.16	1.85E-09
CPTU5-2020	7.78	5.46E-08
CPTU5-2020	17.52	2.84E-07
CPTU6-2020	11.54	3.31E-09

RELAZIONE GEOLOGICA

CPTU7-2020	2.36	2.35E-08
CPTU7-2020	4.42	1.51E-09
CPTU7-2020	6.24	5.38E-09

- analisi chimiche del terreno: n. 9 analisi ai sensi del DPR 120/17; n. 6 analisi finalizzate a valutare l'aggressività chimica alla miscela cementizia che formerà il futuro diaframma, tra cui 3 campioni prelevati su terreno e n. 3 campioni di acqua di falda.

8.5 CAMPAGNA DI INDAGINI AIPO PARMA 2021 DI SOCOTEC ITALIA S.R.L.

Nell'estate dal 2021 è stata condotta una campagna di indagini da Socotec Italia s.r.l., durante la quale sono stati eseguiti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo e n. 1 a distruzione di nucleo con installazione di n. 3 piezometri di tipo Casagrande a tubo unico con diametro di 2". Durante i fori di sondaggio sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche di tipo SPT, prove Lefranc e prelievo di campioni disturbati e indisturbati. Durante questa campagna sono state eseguite anche n. 6 prove penetrometriche tipo CPTU.

Tra queste indagini soltanto alcune sono collocate nelle vicinanze dell'argine dove saranno effettuati gli interventi. Di seguito un elenco delle indagini che sono state analizzate per il presente progetto:

- n. 2 prove penetrometriche dinamiche di tipo CPTU: la spinta CPTU1-2021 è stata spinta sino a profondità pari a 20 m e la CPTU6-2021 sino a 15 m (Tabella 8.6, Figura 8.10).

Tabella 8.6 Prove tipo CPTU eseguite da Socotec nel 2021: coordinate in WGS84 e quota

Indagine	Latitudine	Longitudine	Quota in m s.l.m.
CPTU1-2021	45° 01' 16.00" N	12° 07' 45.73" E	2.3
CPTU6-2021	45° 01' 19.36" N	12° 07' 43.61" E	1.7

 RELAZIONE GEOLOGICA

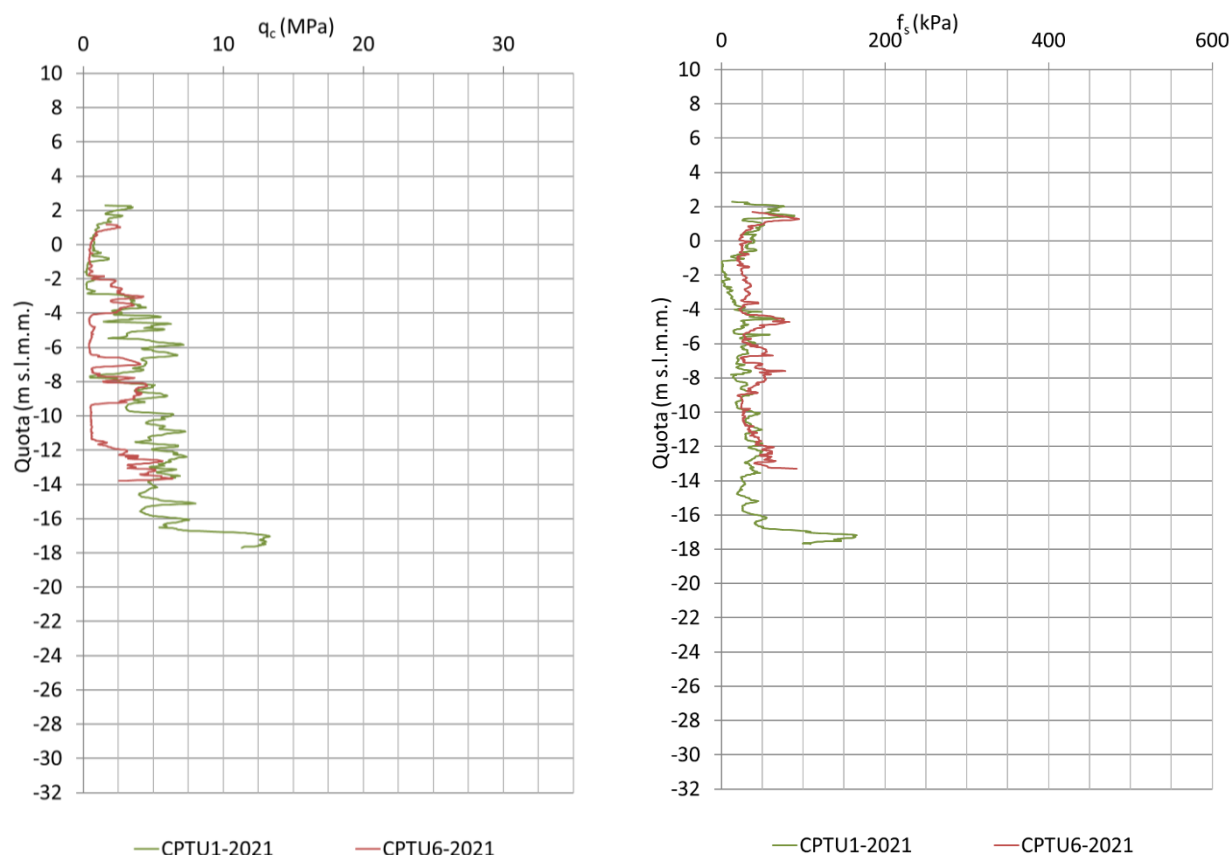


Figura 8.10 Risultati delle prove CPTU della campagna del 2021 eseguite a quote inferiori rispetto alla sommità arginale

- n. 1 sondaggi a carotaggio continuo spinto sino alla profondità di 20 m da p.c. con prelievo campioni rimaneggiati e indisturbati di tipo Shelby, esecuzione di n. 3 prove SPT (alla profondità di 9, 12, 15.2 m da p.c.) e n. 2 prove Lefranc (LEF.1 alla profondità di 10.5-11.2, LEF.2 tra 15.2-15.7 m da p.c.). All'interno del foro di sondaggio è stato installato un piezometro di tipo Casagrande PZ1A-2021 con tratto fessurato tra 11 e 14 m da p.c.

Tabella 8.7 Informazioni riguardo al sondaggio eseguito da Socotec nel 2021: coordinate in WGS84 e quota altimetrica delle indagini svolte nel 2021

Indagine	Latitudine	Longitudine	Quota in m s.l.m.	Misurazioni della falda m da p.c.
PZ1A	45° 01' 18.57" N	12° 07' 44.86" E	5.8	09/08/2021: 5.40 05/08/2021: 5.70 17/08/2021: 5.85

Nel settembre del 2021 è stato installato un impianto per il monitoraggio dei livelli di falda, tramite la posa di piezometri di tipo I1-B in tubi PVC con n. 5 data logger (5 stazioni) all'interno di fori di sondaggio esistenti e l'invio automatico dei dati sul web a cui sono collegati in totale sette sensori. Nei pressi dell'argine in oggetto, sono stati installati in particolare quattro stazioni, elencate di seguito.

- Stazione 1: installazione del sensore nel foro del sondaggio S2-2020 sulla sommità arginale, all'interno di un piezometro a tubo aperto. La parte finestrata da p.c. è da 6 a 10 m da boccaforo e le misure dei sensori indicano la quota dell'acqua tra 0.1 e 1.1 m da boccaforo corrispondente a circa 0 m s.l.m.m.;
- Stazione 3: installazione del sensore nel foro del sondaggio PZ1A-2021 sulla prima banca arginale, all'interno di un piezometro Casagrande. La parte finestrata da p.c. è da 11 e 14 m da boccaforo e le misure dei sensori indicano una quota dell'acqua tra 6 e 7 m da boccaforo corrispondente a circa 0 m s.l.m.m.;
- Stazione 4: questa stazione di misura si trova nelle vicinanze del campo sportivo ed è composta da un data logger collegato a 3 sensori. Due hanno il compito di misurare il livello all'interno di tubetti di tipo Casagrande standard con diametro di circa 12 mm e uno misura la pressione all'interno di un filtro Casagrande. I fori di sondaggio interessati sono il S5-2020 con parte finestrata da 4.7 a 5.5 m da boccaforo, S5bis-2020 con parte finestrata da 14 a 14.5 m boccaforo e Pz1B-2021 a 7 m boccaforo. Le misure del sensore nel Pz1B-2021 indicano la quota dell'acqua tra 6.2 e 7 m da boccaforo, quelle del sensore nel S5 tra 2.4 ÷ 4 da boccaforo con una variazione stagionale e quelle nel sensore nel S5Bis variano tra 11.5÷12 m da boccaforo, corrispondente per tutti e tre a circa 0 m s.l.m.m.;
- Stazione 5: installazione del sensore nel foro del sondaggio S6-2020 con parte finestrata tra 11.5 e 12.3 m da boccaforo (vicino a un luogo dove si sono verificati fontanazzi). Le misure dei sensori indicano la quota dell'acqua tra 9.8 e 11 m da boccaforo corrispondente a circa 0 m s.l.m.m..

Piezometro	Misura freatimetriche da bocca pozzo al momento dell'installazione (m da boccapozzo)
S5	1.85
S5bis	1.65
Pz1b	5.5
Pz1a	5.6
S2	8.4
S6	1.2

Tabella 8.8 Misura freatimetrica da bocca pozzo al momento dell'installazione per i piezometri installati da Socotec

8.6 CAMPAGNA DI INDAGINI AIPO MARZO 2023

AiPo ha eseguito nel marzo 2023 una campagna indagini comprensiva di 3 pozzetti esplorativi nell'area golenale, spinti sino a profondità di 3 m da p.c., al fine di valutare la possibilità di utilizzare tale materiale per il ringrosso arginale previsto nel progetto.



Figura 8.11 Area delle indagini eseguite nel 2023 (AiPo, 2023)

Durante tale campagna sono stati prelevati dei campioni rimaneggiati del terreno di fondazione sui quali sono state effettuate delle prove geotecniche di laboratorio tra le quali anche la loro classificazione secondo la normativa UNI 11531-1. Nella seguente Tabella si riportano i risultati ottenuti.

 RELAZIONE GEOLOGICA

Tabella 8.9 Risultati prove di laboratorio condotte nella campagna indagine 2023 (AIPo, 2023)

Sondaggio	Campione	Granulometria				Limiti di plasticità			Classificazione UNI 11531-1
		Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Limite liquido W_L	Limite plastico W_P	Indice di plasticità IP	
S1	C1	0	32	61	7	-	n.p.	-	A4
S1	C2	0	100	0	0	-	-	-	A2
S1	C3	0	21	62	17	-	n.p.	-	A4
S2	C3	0	45	47	8	-	n.p.	-	A4
MIX1: S2C1-S2C2-S3C3		0	77	21	3	-	n.p.	-	A2-4
MIX1: S3C1-S3C2-S3C3		0	79	19	2	-	n.p.	-	A2-4

9 MODELLO GEOLOGICO

Dall'analisi delle indagini a disposizione è stato possibile ricostruire l'andamento stratigrafico dei terreni di fondazione del rilevato arginale.

Di seguito si descrivono le unità geologiche che sono state individuate. In Allegato la *Planimetria delle indagini* e il *Profilo geologico longitudinale* all'arginatura.

Unità rilevato arginale (R)

Il corpo arginale poggia generalmente su uno strato di limo argilloso e la suddivisione tra rilevato arginale e terreno di fondazione non è identificabile con precisione: è stata definita sulla base della quota del terreno a lato campagna ed in base alle indicazioni delle schede dei sondaggi; lo spessore si può stimare variabile tra 7.7 e 9 m.

I sondaggi S1, S2, S3 del 2020 eseguiti partendo dalla sommità del rilevato arginale, hanno individuato limi sabbiosi debolmente argillosi di colore nocciola. Sono stati prelevati n. 4 campioni in corrispondenza di questa unità e la loro granulometria conferma le stratigrafie rilevate nel corso dei sondaggi, come mostra la seguente Figura.

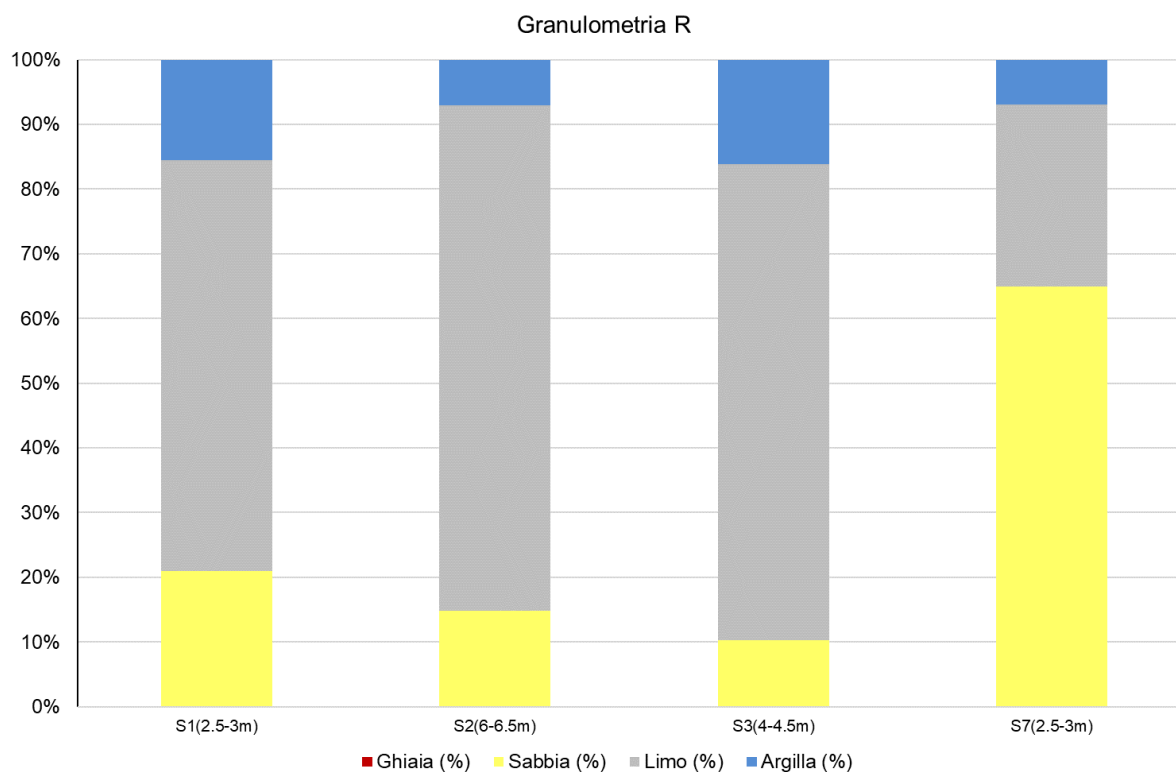


Figura 9.1 Granulometrie dei campioni prelevati durante i sondaggi per l'unità del rilevato arginale

L'unità del rilevato arginale è stata indagata anche con le prove penetrometriche CPTU1-2020, SCPTU2-2020, CPTU3-2020, CPTU4-2020. Tutte le prove hanno misurato delle resistenze alla punta q_c che variano tra 1 e 2 MPa; nella CPTU1 nei primi 3 m da p.c. si individua una q_c media pari a circa 7 MPa.

Di seguito sono riportati gli andamenti della resistenza alla punta q_c e dell'attrito laterale f_s di tutte le prove penetrometriche eseguite a partire dalla sommità dell'argine.

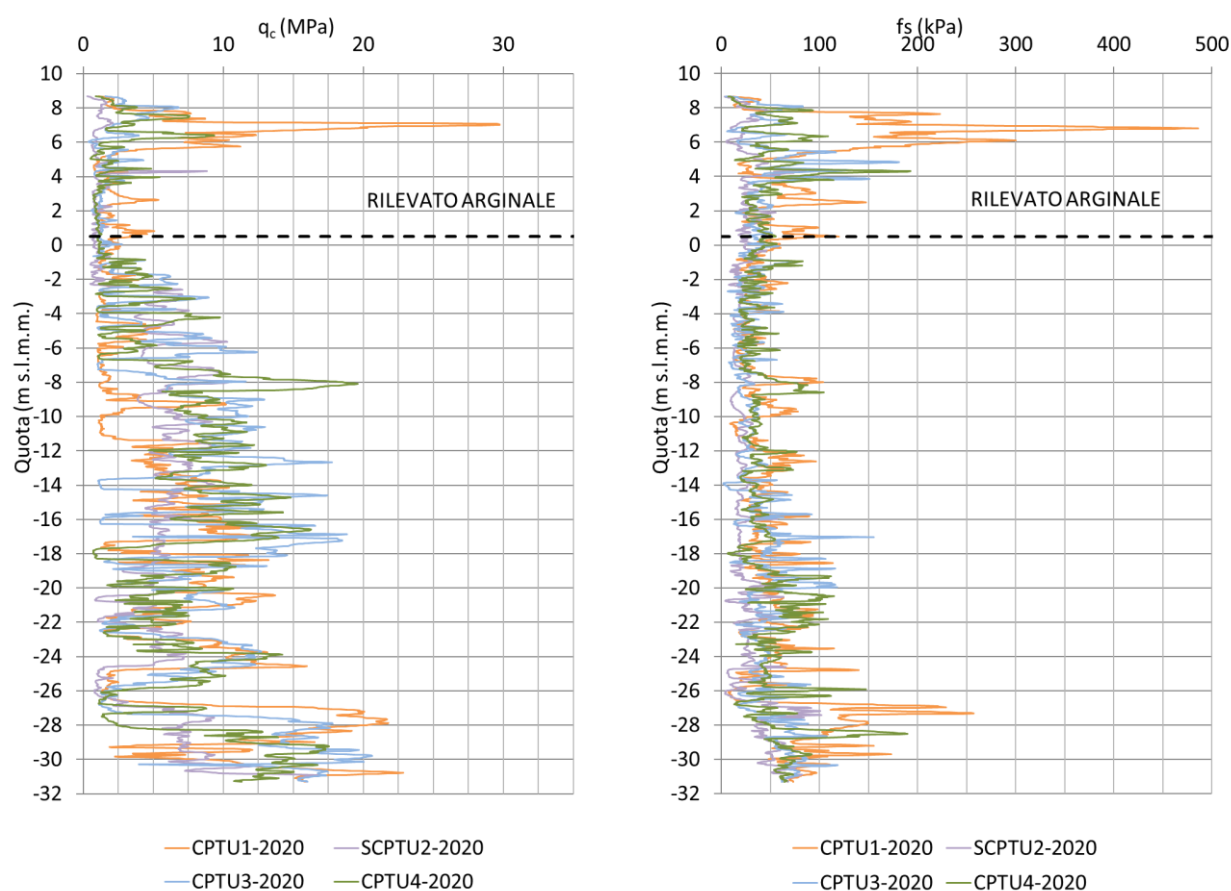


Figura 9.2 Valori di resistenza alla punta q_c e attrito laterale f_s delle prove CPTU eseguite dalla sommità dell'argine

Unità limo argilloso L(A)

Il rilevato arginale poggia su uno strato di limo argilloso con uno spessore che varia da Ovest a Est: in corrispondenza della CPTU1 ha uno spessore di 10 m, in corrispondenza della CPTU7 uno spessore di circa 7 m per poi diminuire considerevolmente e mantenersi costante per tutto il tratto con uno spessore di circa 2.5-3.5 m (vedi profilo geologico in Allegato).

Tutti i sondaggi e i campioni prelevati confermano la presenza di questo strato più coesivo. Nella seguente Figura è riportato un istogramma che mostra la granulometria dei campioni prelevati all'interno di questa unità.

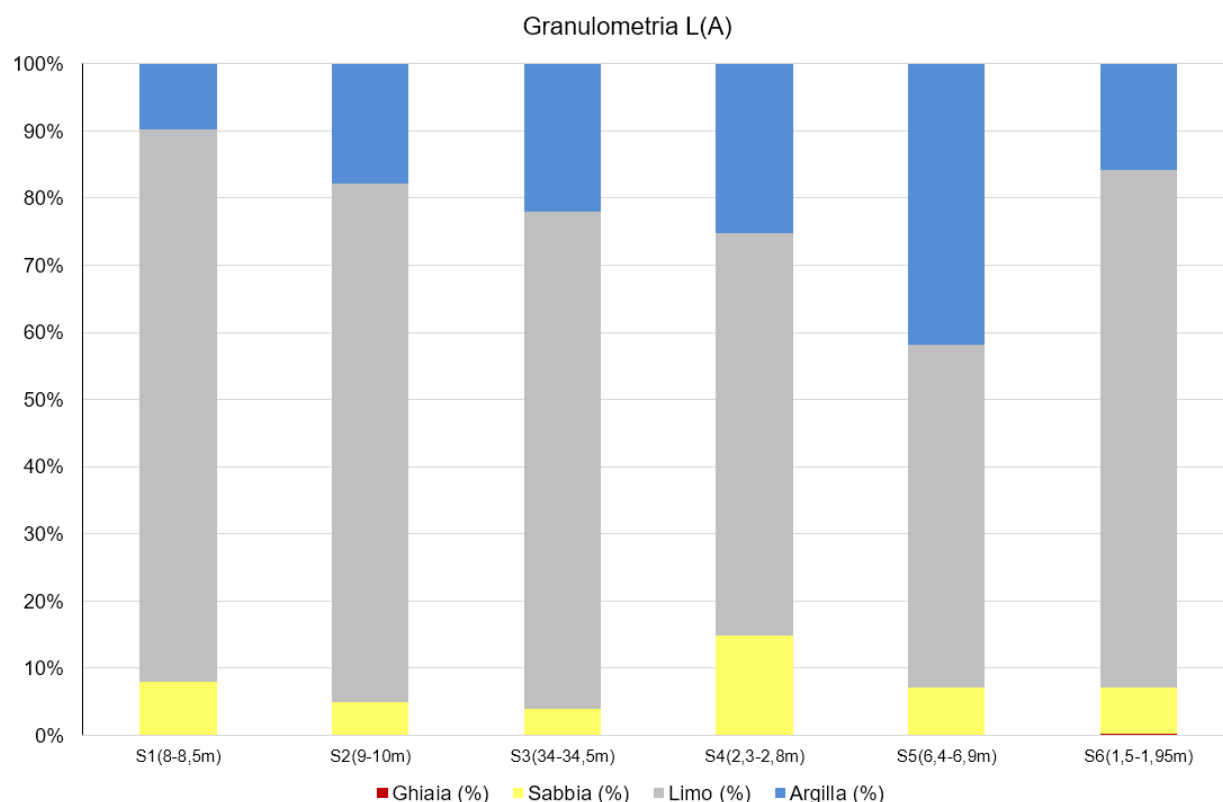


Figura 9.3 Granulometrie dei campioni prelevati durante i sondaggi per l'unità del limo argilloso

Un altro strato di limo argilloso continuo si rileva alla quota di circa -27 m s.l.m., il suo spessore è di circa 1÷2 m tranne che in corrispondenza del sondaggio S1 2020 che tra 31 e 37.4 m da p.c. individua uno strato consistente di limo argilloso intervallato a livelli organici – torbosi (come il livello tra 33.9-34 m da p.c.).

Sono stati rilevati lungo le stratigrafie dei sondaggi altri livelli con granulometria prevalentemente limosa, come nel caso del livello trovato tra 20 e 21.6 m da p.c. del S2-2020, correlato con il livello individuato dal S7-2020 tra 16.5 e 17 m da p.c.. Altri livelli coesivi di spessore limitato sono stati individuati grazie alle resistenze molto basse misurate nelle prove CPTU.

Unità alternanze tra limi argillosi e sabbie fini (LA – SL)

Più in profondità, al di sotto delle unità descritte in precedenza, si osserva uno strato costituito prevalentemente terreni fini (limi e argille) ma intercalati a sabbie fini. Questa unità è stata individuata dalle prove CPTU3,4,5,9 con resistenze alla punta q_c pari a circa 2 MPa e, in particolare, dal sondaggio S3 (2020), che tra 8 e 10.45 m da p.c. presenta uno strato di limo e argilla nocciola chiaro con fiamme ocra. In corrispondenza di questa unità è stato prelevato soltanto il campione C2 dal sondaggio S3 (2020) ad una profondità tra 9-9.5 m da p.c.: la granulometria del campione risulta costituita dal 37.3 % di argilla, il 61.4 % di limo e l'1.2 % di sabbia.

Anche la sezione tomografica di lunghezza 1365 m, eseguita da IND.A.G.O s.n.c. per AIPo nel settembre 2018 ha osservato la presenza di questo livello.

Unità sabbia debolmente limosa S[L]

Ancora più in profondità i sondaggi eseguiti hanno evidenziato la presenza di depositi permeabili di natura sabbiosa ben gradata, debolmente limosa con resti conchigliari di colore grigio e grigio scuro. Osservando tutti i sondaggi si nota che i banchi di sabbia sono intervallati da livelli di limo argilloso (unità L(A)), talvolta sono presenti anche orizzonti torbosi.

Nel foro di sondaggio PZ1A, eseguito in corrispondenza di una banca del rilevato arginale, sono state eseguite n.3 prove di tipo SPT sullo strato sabbioso. I valori registrati durante le prove SPT sono stati NSPT=11 (alla profondità di 9 m da p.c.), 23 (alla profondità di 12 m da p.c.) e 19 (alla profondità di 16.5 m da p.c.).

Tutti i campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi, analizzati in laboratorio, presentano percentuali molto alte di sabbia e in genere circa il 10% di limo (Figura 9.4).

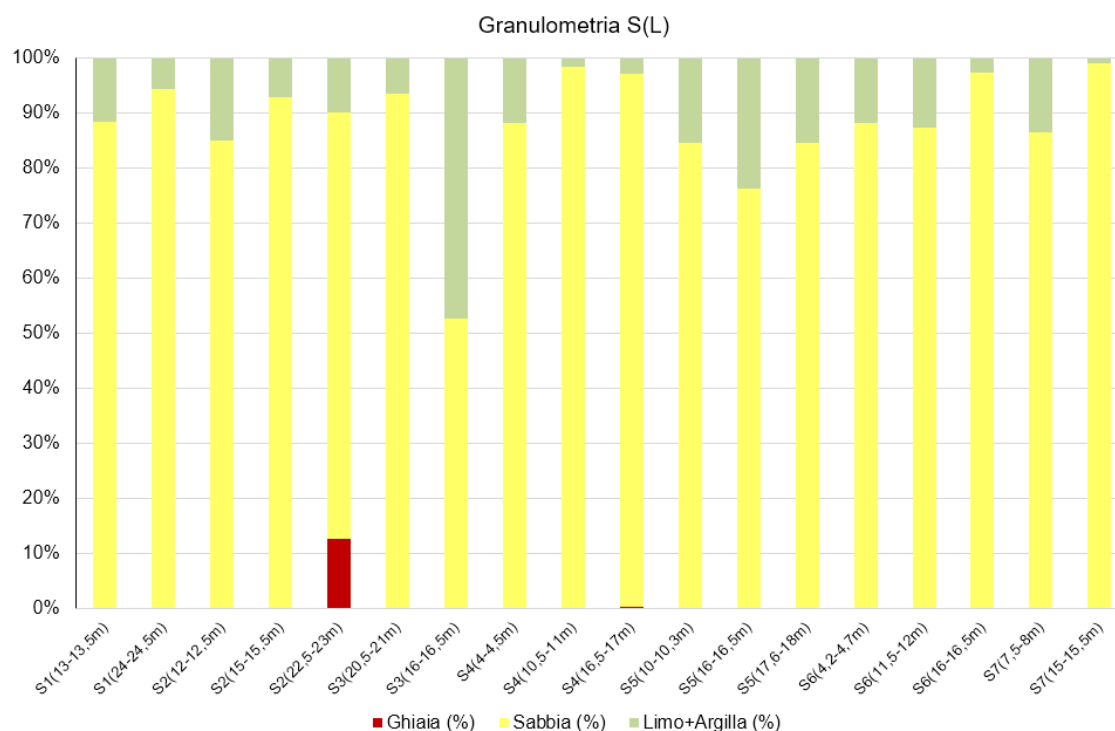


Figura 9.4 Granulometrie dei campioni prelevati durante i sondaggi per l'unità della sabbia limosa

Osservando la CPTU6-2021 si può notare come essa abbia individuato la presenza di strati con resistenza alla punta molto bassa (<1 MPa), tra circa $5 \div 8$ m e $11 \div 13$ m dalla quota di esecuzione. Tali strati sembrano non trovare riscontro con le indagini vicine (S7, PZ1A) e per questo motivo la stratigrafia nel *Profilo geologico longitudinale* (in Allegato) viene definita principalmente sulla base delle altre indagini. Non si esclude, però, la presenza a livello locale, di tali tipologie di terreni, ovvero strati prevalentemente coesivi con basse resistenze alla punta. È caratteristico, infatti, all'interno di un contesto deposizione alluvionale, la presenza di una variabilità stratigrafica sia verticale che laterale, generata da: un'alternanza di ambienti deposizionali (canali fluviali, piane alluvionali) ed eventi deposizionali, come ad esempio la possibilità che si siano verificati ventagli di crevasse (a seguito di rottura arginale), oppure piccoli eventi di esondazione del corso d'acqua capaci di accumulare sedimenti a livello locale (depositi di levee), oppure ancora variazioni granulometriche in una barra fluviale.

L'unità della sabbia debolmente limosa è l'unità dove si manifestano maggiormente i fenomeni di filtrazione durante degli eventi di piena del fiume Po.

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 può essere associata perciò al fronte di spinta appenninico (Figura 10.1).

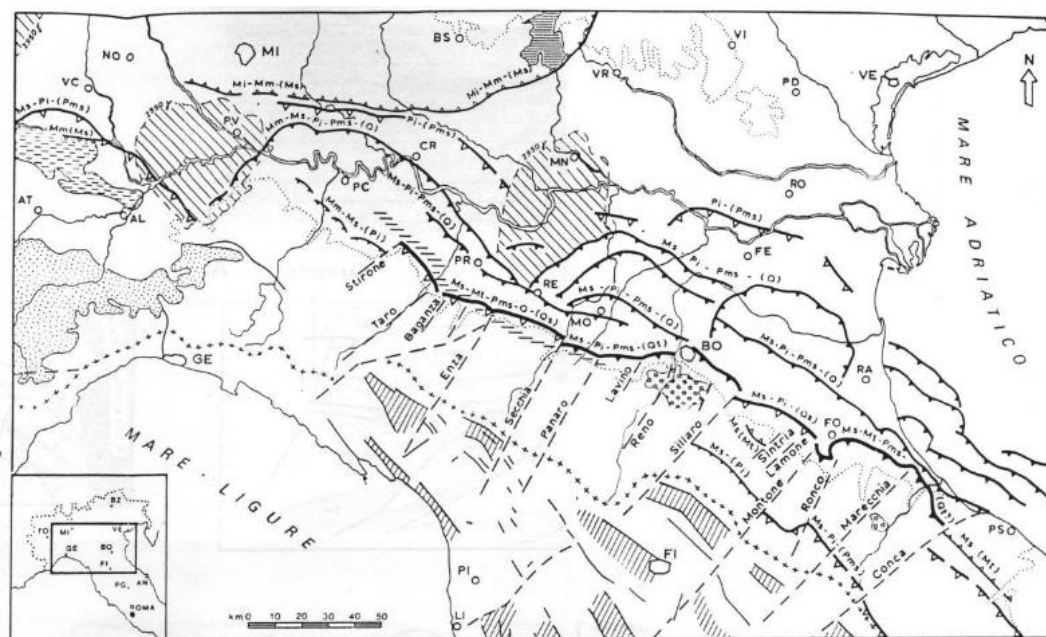


Figura 10.1 Carta strutturale dei fronti di spinta dell'Appennino Settentrionale (Castellarin et al., 1985)

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 (Figura 10.2). Infatti, si suppone 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).

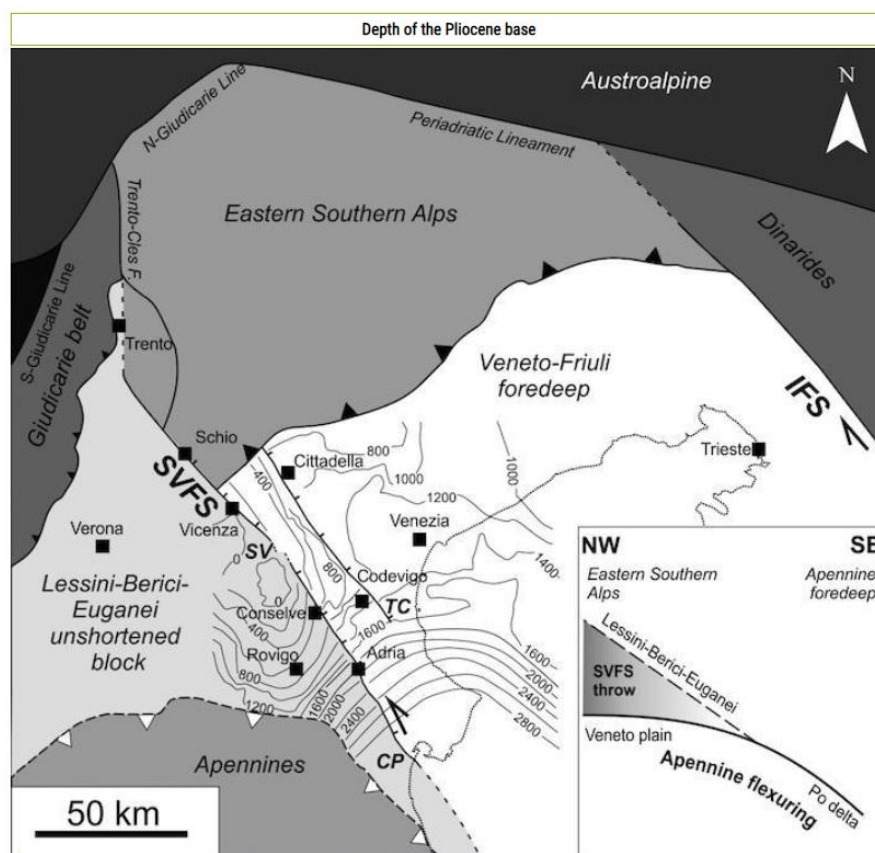


Figura 10.2 Mappa della profondità della base pliocenica lungo il sistema di faglia Schio-Vicenza (SVFS), Faglia Travettore-Codevigo (TC) e faglia di Conselve-Pomposa (CP) (Pola et al., 2014).

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 Adria il Database indica la presenza di 20 eventi conosciuti tra il 1887 e il 2020, con intensità prevalentemente di entità medio-elevata pari a 3÷4. Tuttavia, è segnalata anche la presenza di eventi che hanno registrato magnitudo elevate, nell'ordine di intensità pari a 5÷6 come è mostrato nella seguente Figura.

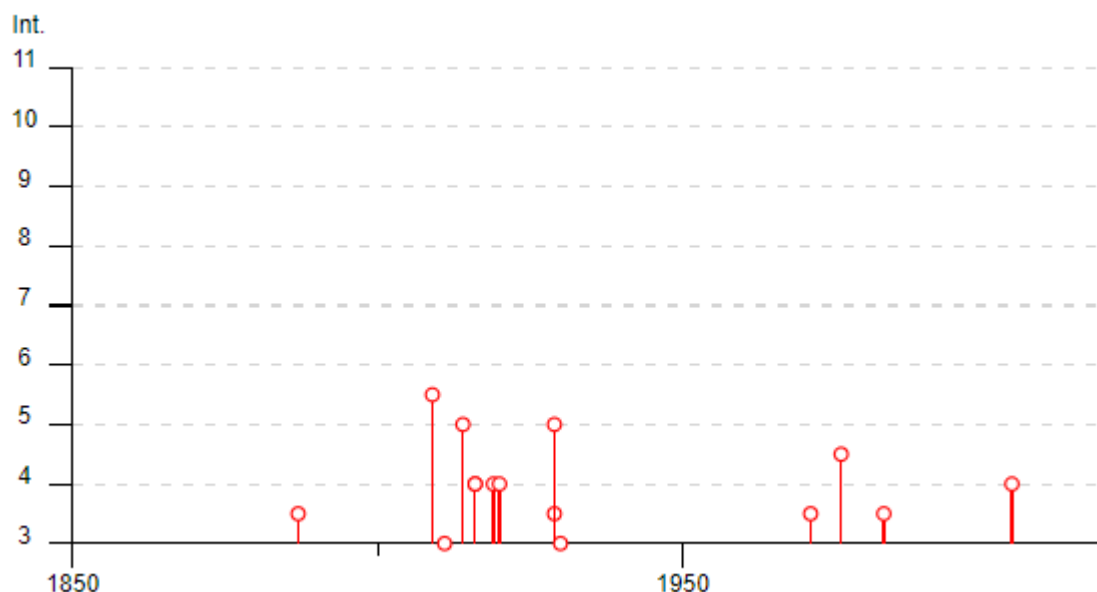


Figura 10.3 Intensità macrosismiche dei principali eventi sismici presso il comune di Adria (Rovida et al., 2022)

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 Adria non ricade all'interno di nessuna delle Zone 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 il progetto 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 III, alla quale è associato un coefficiente d'uso C_u pari a 1.5.

Nel caso in esame si considera una vita nominale dell'opera di 100 anni che con coefficiente d'uso di 1.5 fornisce un periodo di riferimento pari a 150 anni.

I valori dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_o (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_o [-]	T_c^* [s]
SLO	90	0,038	2,542	0,290
SLD	151	0,045	2,568	0,318
SLV	1424	0,078	2,854	0,390
SLC	2475	0,088	2,895	0,412

Tabella 11-1: Valori della sismicità per il sito di Mazzorno (longitudine 12,12760° - latitudine 45,02117°)

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 SCPTU2-2020 permette di calcolare una velocità $V_{s,30}$ pari a 202 m/s e quindi i terreni di fondazione appartengono alla categoria 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:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.078g \times 1.5 \times 1.0 = 0.117g$$

12 CONCLUSIONI

Il Comune di Adria 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 9-10 m, è costituito in prevalenza da limi sabbiosi e poggia sopra uno strato prevalentemente limoso argilloso. Lo spessore di questo strato è variabile: uno spessore di circa 10 m nel tratto occidentale dell'argine oggetto degli interventi, in corrispondenza del sondaggio S1(2020) lo spessore diminuisce mantenendosi poi costante fino alla fine del tracciato con uno spessore compreso tra 2.5 – 3.5 m.

Al di sotto dello strato di limo argilloso sono presenti sabbie debolmente limose intervallate da livelli di limo argilloso. Si evidenzia la presenza di uno strato continuo lungo tutto il tratto dell'argine in oggetto, di limo argilloso posto a circa -27 m s.l.m. e di un livello costituito in prevalenza limi e argille intervallati da sabbie fini, tra 0 e -6 m s.l.m. nella parte più orientale del tracciato dell'argine.

Dal punto di vista sismico, l'area in studio è posta al contatto tra la zona di monoclinale alpina ed il sistema di pieghe e sovrascorrimenti appenninici, al di sotto della pianura, infatti, si celano strutture tettoniche attive che rappresentano le porzioni più esterne dei sistemi di thrust alpini ed appenninici. La sismicità dell'area può essere quindi associata al sistema di faglie inverse appenniniche e 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 2, 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, considerando gli strumenti urbanistici comunali, gli interventi ricadono all'interno dei seguenti vincoli:

- aree non idonee secondo il Piano di Assetto del Territorio del comune di Adria (Tombolan et al., 2008);
- aree a criticità per inondazioni periodiche secondo il Piano di Assetto del Territorio del comune di Adria (Tombolan et al., 2008);
- vincolo per area a pericolosità idraulica e idrogeologica elevata in riferimento al PAI Fiume Po (Fascia fluviale A-B) – P3 (Pericolo elevato), secondo il Piano degli Interventi del Comune di Adria (Voltan D., 2023);
- area di salvaguardia geologica per criticità per inondazioni periodiche, secondo il Piano degli Interventi del Comune di Adria (Voltan D., 2023)

Dal punto di vista della compatibilità geologica e idrogeologica considerando strumenti forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Po, da ISPRA e dalla Regione, l'area dove saranno effettuati gli interventi ricade all'interno di:

- 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, di spessore 60 cm, per un'estensione di circa 1.200 m, da intestare all'unghia arginale lato fiume a quota 2 m s.l.m. e di lunghezza pari a 27 m (fino alla quota di -25 m s.l.m.).

Il diaframma, intercettando parte dei moti di filtrazione instauratisi nei terreni di fondazione più superficiali dell'arginatura, costituirà, per tutta la sua profondità, una barriera "impermeabile" in grado di allungare i percorsi di filtrazione al di sotto del corpo arginale con conseguente riduzione del gradiente idraulico a valori inferiori a quello critico.

Si prevede anche la rimozione del rivestimento arginale realizzato nel 2000 poiché, negli anni ha creato problematiche nella manutenzione dell'argine stesso (difficoltà nelle attività di sfalcio delle arginature e conseguente crescita di alberature sul corpo arginale vero e proprio). Sarà, quindi, realizzata una nuova scarpata arginale (con pendenza 1V:2H) eseguita in modo tale da permettere ai mezzi adibiti alla manutenzione di muoversi sia sulla sommità del petto che sull'antipetto.

RELAZIONE GEOLOGICA

Dato che l'obiettivo dell'intervento è quello di migliorare la tenuta idraulica del tratto dell'argine sulla sponda destra del Fiume Po in loc. Mazzorno Sinistro per un tratto di 1200 m, si ritiene compatibile dal punto di vista geologico e idrogeologico.

Padova, 18/04/2023

Dott. Geol. Elena Nisato

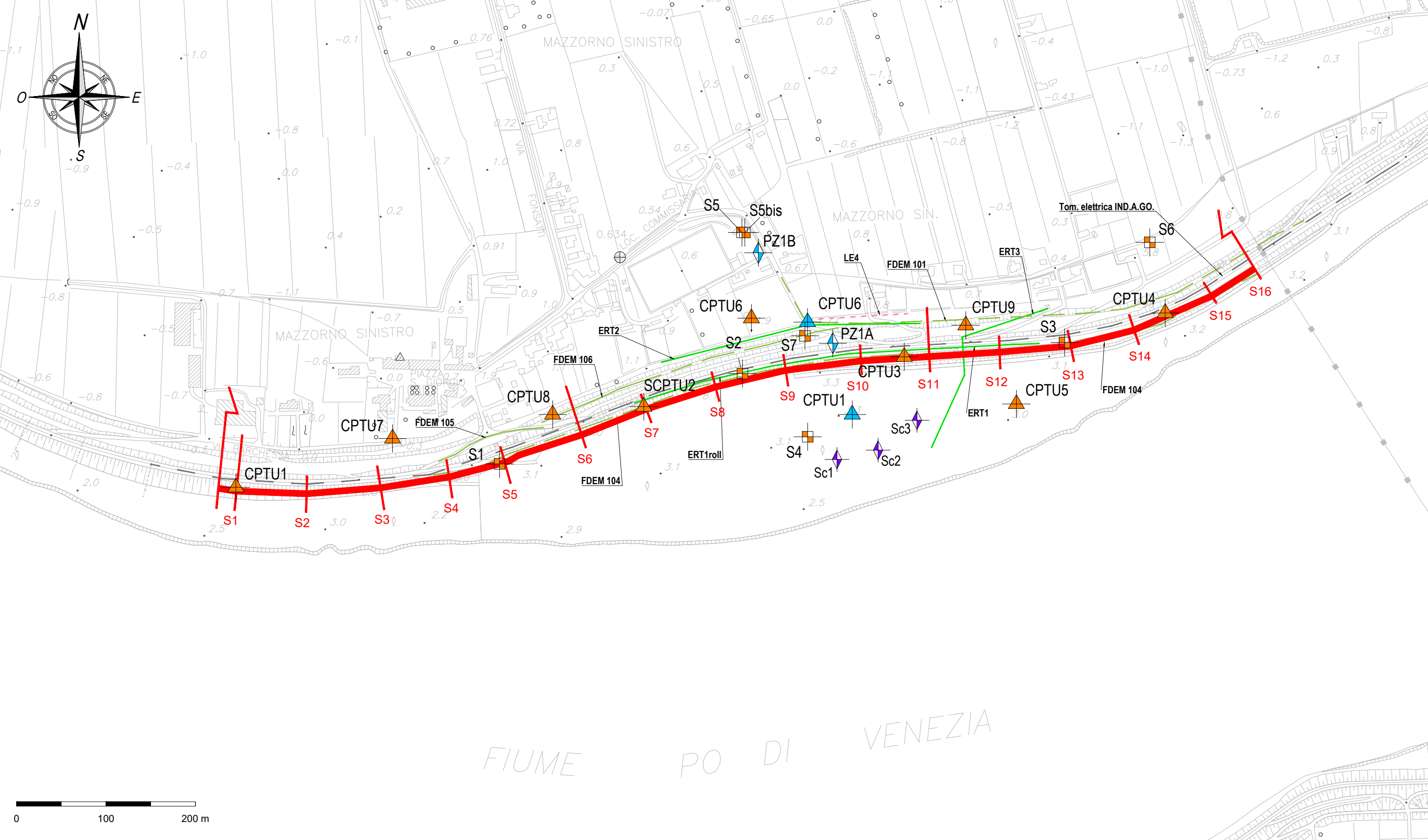


Ing. Giuseppe Colleselli




ALLEGATO

- PLANIMETRIA DELLE INDAGINI
- PROFILO GEOLOGICO LONGITUDINALE





LEGENDA


Campagna di indagine 2023 (AiPo)

Sc3  Pozzetti esplorativi eseguiti con escavatore idraulico


Campagna di indagine 2021 (Socotec)


S6  Sondaggio a carotaggio continuo

CPTU1  Prova penetrometrica tipo CPTU


PZ1  Piezometro


Campagna di indagine 2020 (Geolavori)

S6  Sondaggi

CPTU1  Prove penetrometriche CPTU

Campagna di indagini maggio 2018 (Università di Parma)


 Indagini geoelettriche ERT

 Indagini geoelettriche FDEM

Campagna di indagini settembre 2018 (IND.A.GO. snc)

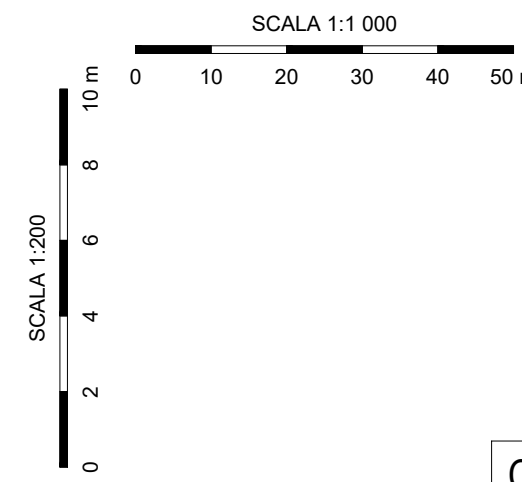
 Indagini geoelettriche ERT

Campagna di indagini settembre 2018 (Geoexploration)

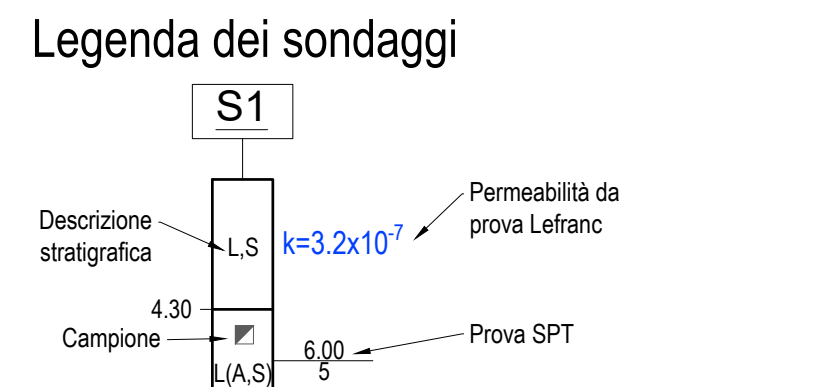
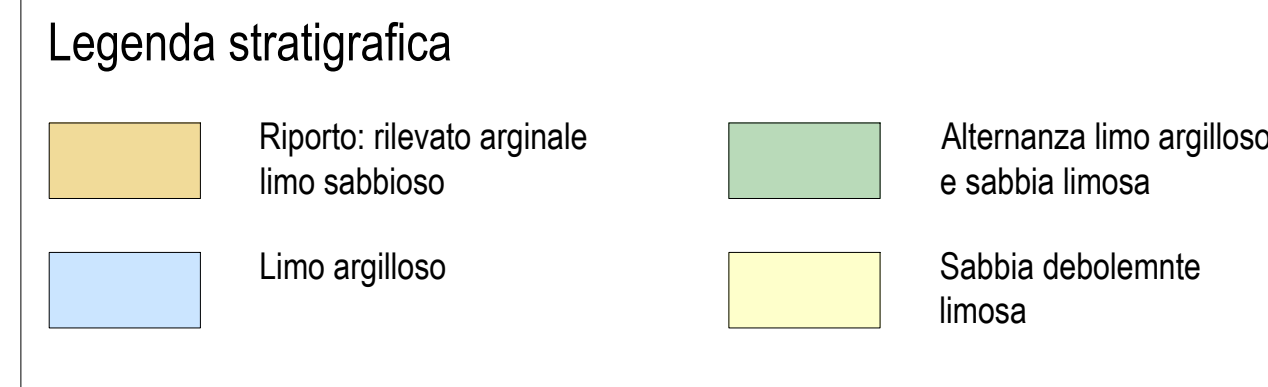
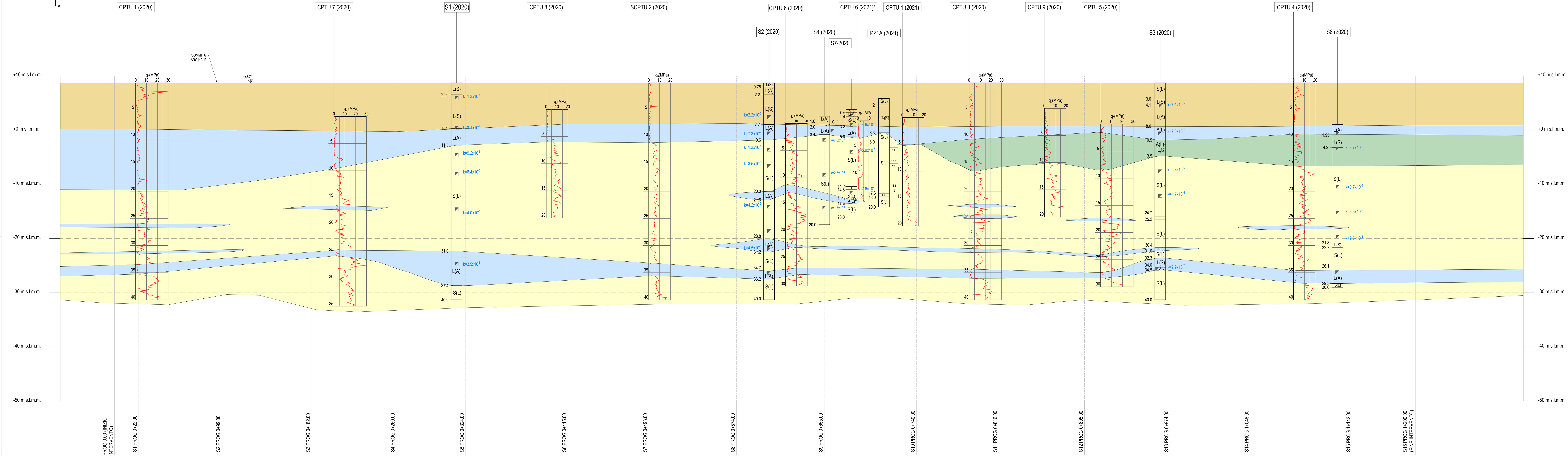
 Indagini geoelettriche ERT

Altri segni grafici

 S7 Sezioni di progetto



PROFILO GEOLOGICO



Descrizione stratigrafica:

G= ghiaia; S= sabbia; L= limo; A= argilla

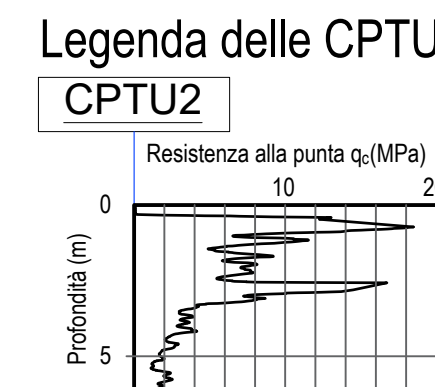
X(Y) : Y = 5÷10% di X >> es: sabbia debolmente limosa = S(L)

X(Y) : Y = 10÷25% di X es: sabbia limosa = S(L)

X,Y : Y = 25÷50% di X es: sabbia con ghiaia = S,G

X,Y : Y = 50% circa di X es: sabbia e ghiaia = SG

X,Y : alternanza di X e Y es: alternanza di sabbia e limo L/S



*La prova CPTU6-2021 ha individuato la presenza di strati con resistenza alla punta molto bassa (<1 MPa) tra circa 5+8 m e 11+13 m dalla quota di esecuzione. Tali strati sembrano non trovare riscontro con le indagini vicine (S7, PZ1A) e per questo motivo la stratigrafia viene definita principalmente sulla base delle altre indagini. Non si esclude, tuttavia, la presenza di tali tipologie di terreni.