



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



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

CUP B48H22000200006
PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO: RT03	TITOLO: RELAZIONE IDRAULICA RO-E-1438	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 Pec: 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 - Tel. 045/2213000 - Fax. 045/2213000 C.F./P.IVA: 02503920205 - SDI: KRRH6B9 EOS INGEGNERIA Responsabile della progettazione: Ing. Paolo Cerchia
---	--

INDICE

PREMESSA.....	2
1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
1.1 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA OGGETTO D'INTERVENTO	3
2. STATO DI FATTO	5
3. ANALISI IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO.....	9
3.1 DESCRIZIONE SINTETICA DELL'INTERVENTO	9
3.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE OPERE	9
3.2.1 <i>Stabilità arginale</i>	12
4. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO NEI PIANI DI BACINO	15
4.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PO – DELTA	15
4.2 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI	18
5. CONCLUSIONI	19

PREMESSA

Il presente progetto, redatto dallo scrivente studio associato “EOS Ingegneria”, su commessa di A.I.Po tramite l’ufficio operativo di Rovigo, prevede la realizzazione di una diaframmatura plastica sull’arginatura in destra idraulica del fiume Po di Venezia, nel comune di Corbola (RO).

Tale intervento di carattere di difesa idraulica è reso necessario dai frequenti fenomeni di filtrazione attraverso il corpo arginale avvenuti nel corso degli anni.

Di seguito si riportano le considerazioni di carattere idraulico necessarie al fine di progettare il presente intervento di mitigazione del rischio.

1. *INQUADRAMENTO TERRITORIALE*

1.1 *Localizzazione dell'area oggetto d'intervento*

Il comune di Corbola (RO) è situato a Sud-Est del capoluogo provinciale e in particolare in destra idrografica del fiume Po. Nella figura sottostante si riporta un estratto dell'immagine aerea della zona oggetto d'intervento.



Figura 1-1. Immagine satellitare dell'abitato di Corbola (RO)

L'area ricade inoltre interamente nel comune di Corbola (RO):

codistat

29017

nomcom

Corbola

provincia

RO

area

18201293.743

perimetro

22065.996

id1

14

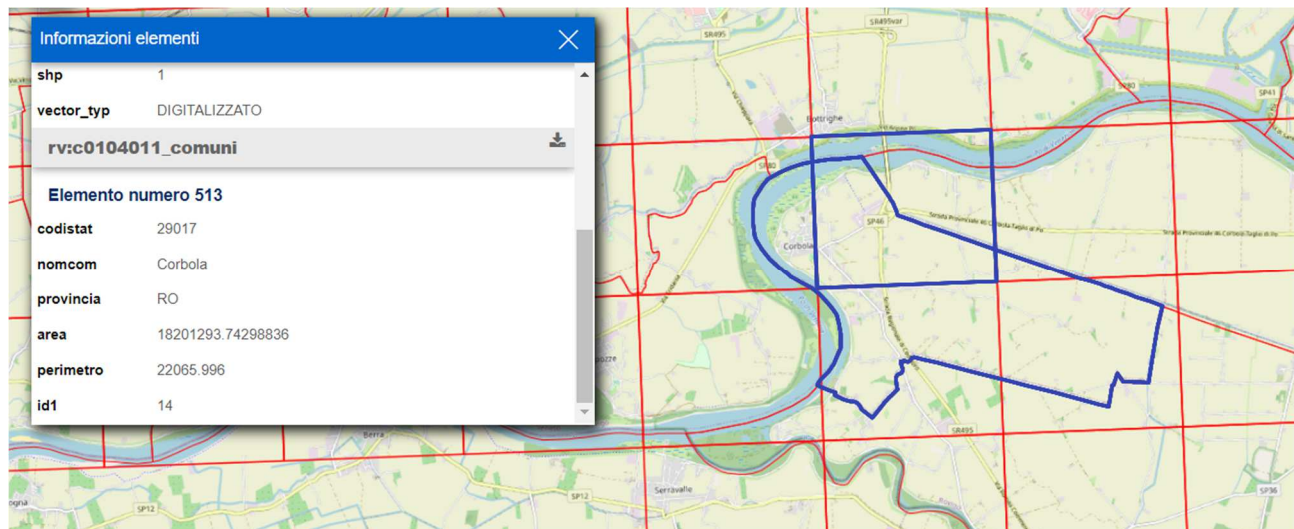


Figura 1-2. Immagine da Geoportale Regione Veneto

2. *STATO DI FATTO*

L'intervento si rende necessario a causa delle frequenti venute d'acqua a lato campagna del rilevato arginale. Si segnalano venute d'acqua al piede dell'argine lato campagna nei punti indicati nella seguente immagine.



Figura 2-1: Individuazione aree con importanti venute d'acqua durante eventi di piena

Di seguito si riportano alcune fotografie fatte durante la piena del novembre 2014, durante la quale si sono formati alcuni fontanazzi ed estese venute d'acqua al piede del rilevato arginale, chiaro segno di filtrazione nel corpo arginale.

Per evitare che la filtrazione continui il processo di erosione del corpo arginale, con la possibile conseguenza del sifonamento dello stesso, si rende necessario la realizzazione di un diaframma plastico.



Figura 2-2: Fontanazzo con coronella di sacchetti di sabbia a ridosso del corpo arginale.



Figura 2-3: Fontanazzo a ridosso del corpo arginale.



Figura 2-4: Fontanazzo lato campagna.



Figura 2-5: Fontanazzo con coronella di sacchetti di sabbia nei pressi dell'abitato di Corbola.



Figura 2-6: Venuta d'acqua al piede del rilevato arginale a lato campagna.



Figura 2-7: Fontanazzo con coronella di sacchetti di sabbia nei pressi di un'abitazione privata nel comune di Corbola.

3. ANALISI IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

3.1 Descrizione sintetica dell'intervento

Il progetto prevede la realizzazione dei seguenti interventi così definiti:

1. Preventivo taglio della vegetazione spontanea ed alcuni esemplari arborei presenti lungo la tratta interessata dai lavori;
2. Realizzazione di allargamento della sommità arginale lato fiume con materiale di cava;
3. Scavo di sbancamento del paramento arginale lato fiume per la realizzazione del piano di lavoro;
4. Realizzazione dei cordoli guida per lo scavo del diaframma;
5. Realizzazione del diaframma plastico, con profondità di variabile da 24 a 29 m da p.c., in relazione alla profondità dell'orizzonte geologico impermeabile di base del diaframma, e spessore di 0.60 m, per un'estensione di 430 m;
6. Realizzazione di isolamento del diaframma tramite trave di coronamento in c.a.;
7. Riprofilatura con materiale proveniente dagli scavi del paramento della sottobanca golenale;
8. Riprofilatura con materiale proveniente dagli scavi dell'area di esecuzione del diaframma precedentemente sbancata, con contestuale posa di geogriglia con ricoprimento della stessa in spessore pari a 20 cm di cotico erboso precedentemente accantonato;
9. Idrosemmina su paramento e banca arginale lato fiume.

3.2 Dimensionamento e verifica delle opere

Le opere progettuali, che consistono sostanzialmente nella realizzazione di un diaframma plastico nel comune di Corbola (RO) e opere accessorie, non creano interferenze con i deflussi in alveo, di conseguenza non è stato necessario redigere specifici studi idraulici e idrologici.

Tale intervento si rende necessario a causa dei fenomeni di filtrazione attraverso il corpo arginale che avvengono durante le piene del fiume Po, i quali causano fontanazzi e importanti venute d'acqua a lato campagna, come testimoniato dalle immagini fotografiche di cui al precedente capitolo.

La diaframmatatura plastica ha lo scopo di creare una barriera a bassa permeabilità nel corpo arginale, evitando in questo modo che l'acqua filtri attraverso il corpo arginale durante i fenomeni di piena. La filtrazione, infatti, oltre a causare disagi agli utenti delle aree a ridosso del corpo arginale, innesca processi di erosione della struttura del rilevato arginale stesso, con il rischio di sifonamento.

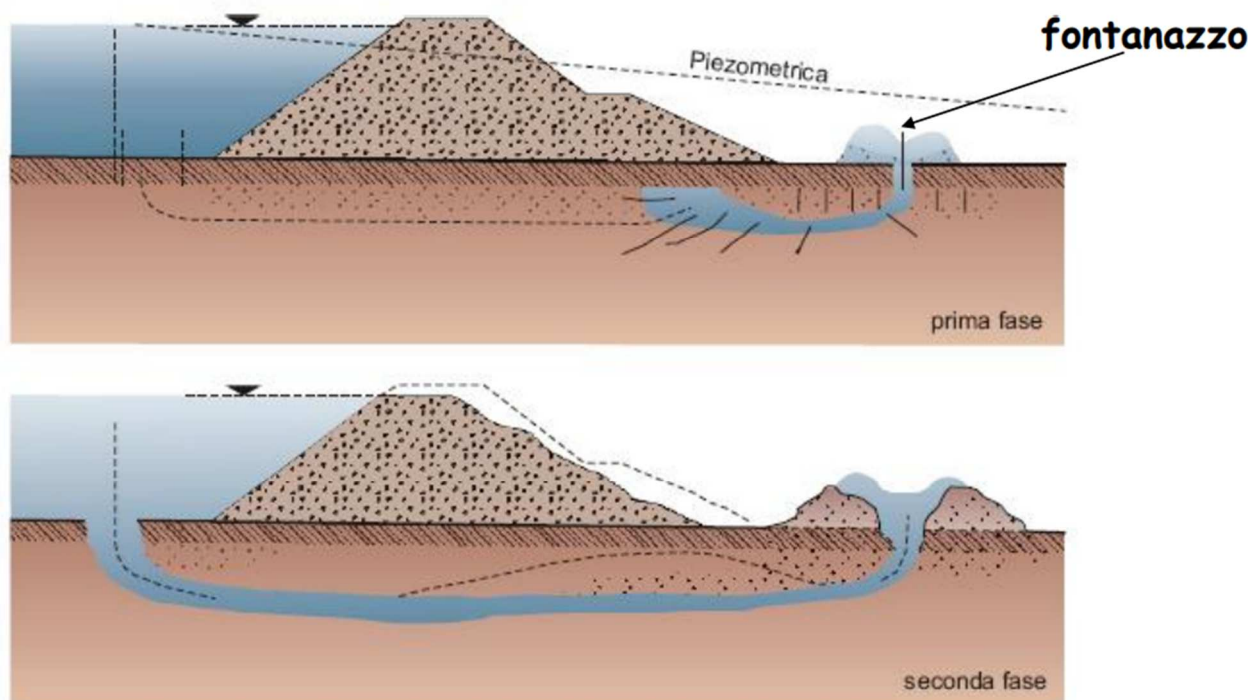


Figura 3-1: Fenomeno di erosione dovuta alla filtrazione con successiva rottura per sifonamento.

Considerato che un diaframma plastico ha una permeabilità media di 10^{-8} m/s, e considerato che lo spessore del diaframma di progetto è di 60 cm, risultano necessari circa 694 giorni perché l'acqua attraversi il diaframma stesso.

L'intervento interessa un tratto dell'argine maestro in destra idraulica, per una **lunghezza** di circa **430 m**. La profondità del diaframma è dettata dagli orizzonti geologici costituenti il rilevato arginale. Il diaframma plastico diventa una efficace barriera idraulica quando esso poggia su uno strato geologico impermeabile, di sufficiente spessore.

I risultati delle analisi geologico-geotecniche hanno permesso di definire le seguenti caratteristiche geometriche del diaframma di progetto:

- i. Progressiva chilometrica 0+000 – 0+160 (estensione di 160 m): **profondità 24 m**
- ii. Progressiva chilometrica 0+160 – 0+315 (estensione di 155 m): **profondità 28 m**
- iii. Progressiva chilometrica 0+315 – 0+430 (estensione di 115 m): **profondità 29 m**

La **testa del diaframma**, rappresentata dalla trave di coronamento in c.a. delle dimensioni di 80x30 cm, dovrà attestarsi alla **quota di massima** piena calcolata dalla simulazione SIMPO '82. Il diaframma in progetto è in prossimità della sezione n. 26 del PAI Delta, lungo la quale la quota **SIMPO '82** è pari a **8.58 m s.l.m.**

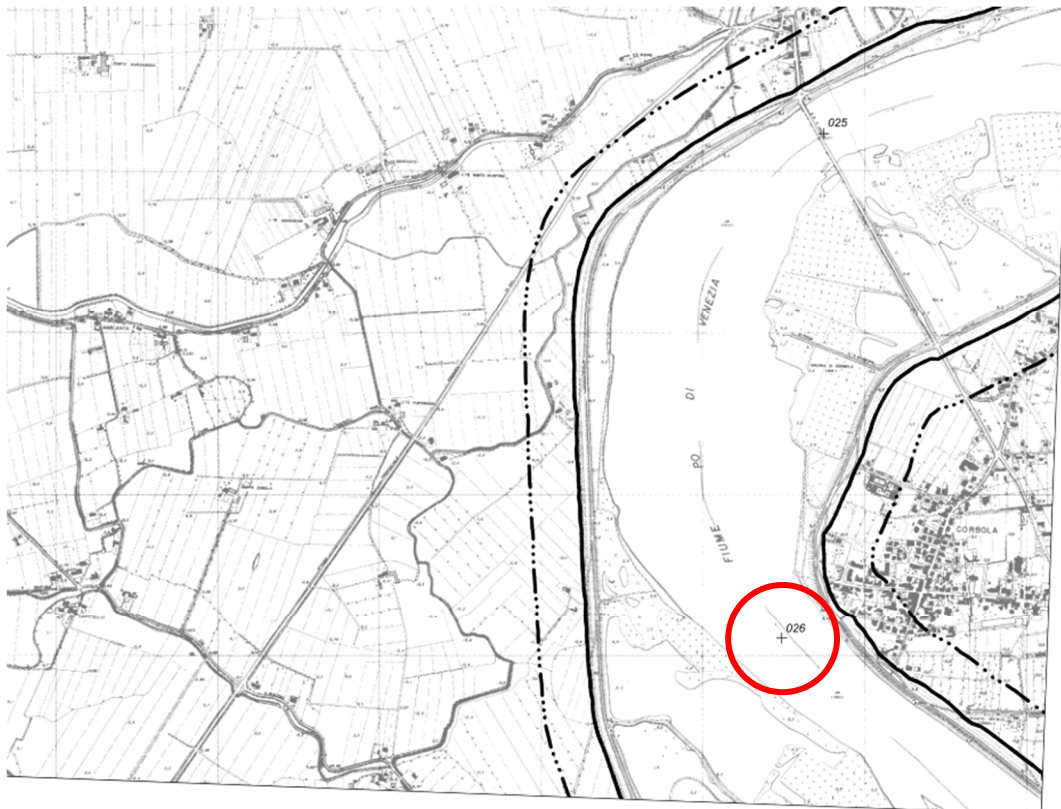


Figura 3-2. Stralcio da “4. Tavole di delimitazione delle fasce fluviali – Tavola 169130” del PAI Delta.

Sezione fascia	Sezione denominazione	RAMO	Progr. (m)	Livello idrico taratura evento 2000 (m s.m.)	Scenario 1 Livello idrico Tr 200 anni (94+51) (m s.m.)	Livello idrico SIMPO (m s.m.)	Scenario 2 Livello 94+51 con manufatto su Goro 800 m³/s (m s.m.)	Scenario 3 Livello 94+51 con manufatto su Goro 1350 m³/s (m s.m.)	Scenario 4 Livello idrico Tr 200 anni (94+51) e ricalibratura su Maistra (m s.m.)	Scenario 5 Livello 94+51 con manufatto su Goro 1350 m³/s e ricalibratura su Maistra (m s.m.)
28	S74A	Venezia	593305	7.06	8.41	8.84	9.26	9.00	8.37	8.94
27	S74B	Venezia	595288	6.94	8.28		9.12	8.86	8.23	8.80
26	S75	Venezia	596766	6.80	8.14	8.58	8.97	8.72	8.09	8.66

Figura 3-3. Tabella tratta da da “Profili di piena dei corsi d’acqua del reticolo principale” del PGRA dell’Autorità di Bacino del Fiume Po – Marzo 2016.

3.2.1 Stabilità arginale

Nella relazione geologico-geotecnica allegata al presente progetto, è stata eseguita la verifica di sicurezza agli Stati Limite Ultimi (SLU), secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, di cui al D.M. del 17 gennaio 2018. Tali verifiche si suddividono in:

- Verifiche di stabilità globale: condizioni di massimo invaso, rapido svasso e sismica;
- Verifiche agli stati ultimi idraulici: sifonamento e sollevamento.

Le analisi sono state svolte sulle sezioni di progetto n.2 e n.5, in quanto:

- La sezione n.2 è caratterizzata da “terreni di fondazione con matrice prevalente coesiva intervallati da lacune lenti di sabbia”;
- La sezione n.5 è caratterizzata da “terreni di fondazione con matrice prevalentemente granulare”.

3.2.1.1 Verifica di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale del complesso “rilevato arginale-terreno di fondazione”, sono state condotte nelle condizioni di maggiore criticità, come descritto di seguito:

- Massimo invaso: relativo alla piena SIMPO '82, pari a 8.58 m s.l.m., considerando le pressioni neutre dell'acqua derivanti da un'analisi in condizioni di moto permanente;
- Rapido svasso: relativo al rapido abbassamento del tirante idrico, dalla quota SIMPO '82 (8.58 m s.l.m.) fino alla quota di circa 1.5 m s.l.m. Il risultato è stato ottenuto tramite un'analisi in condizioni di moto transitorio (piena dell'ottobre del 2000 normalizzata sulla quota SIMPO '82)

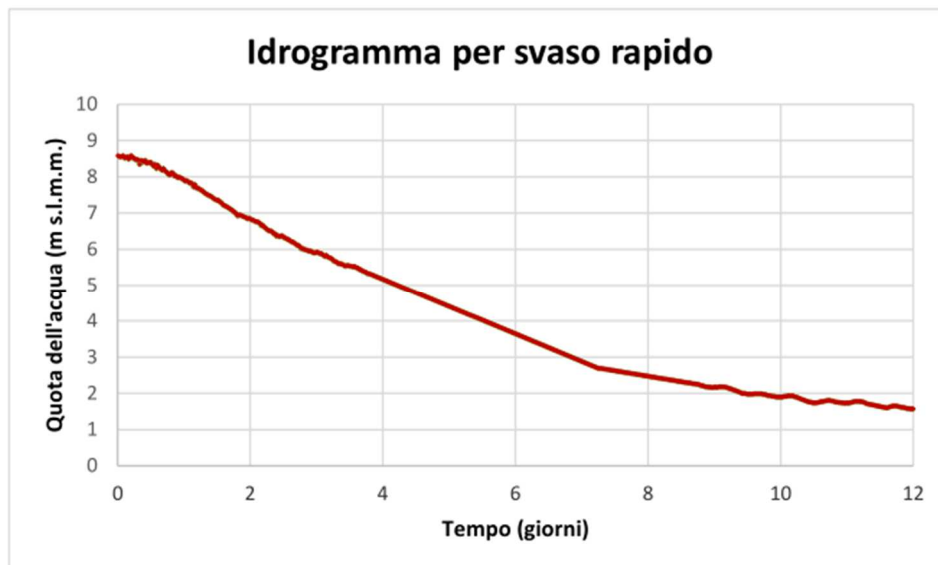


Figura 3-4. Idrogramma utilizzato per l'analisi di rapido svaso.

- Sismica: viene presa come quota del tirante idrico il livello di piena ordinaria, pari a 5.29 m s.l.m., e utilizzando le pressioni neutre dell'acqua derivanti da un'analisi di moto permanente.

Di seguito si presentano i risultati riassunti dell'analisi svolta nella relazione geologico-geotecnica, a cui si rimanda per una trattazione più precisa.

Sezione 2			Parametri drenati	Parametri non drenati
Situazione	Situazione	Bacino	ODF	ODF
Attuale	Statica	Piena SIMPO 82: 8,58 m	1,160	1,126
Progetto	Statica	Piena SIMPO 82: 8,58 m	1,295	1,167
Attuale	Statica	Svaso rapido	1,078	1,025
Progetto	Statica	Svaso rapido	1,079	1,044
Attuale	Sismica	Piena ordinaria: 5,29 m	-	1,185
Progetto	Sismica	Piena ordinaria: 5,29 m	-	1,190

Figura 3-5. Tabella riassuntiva delle analisi di stabilità globale – Sezione 2.

Sezione 5			Parametri drenati	Parametri non drenati
Situazione	Analisi	Bacino	ODF (over design factor) FS (fattore di sicurezza) *	ODF (over design factor) FS (fattore di sicurezza) *
Attuale	Statica	Piena SIMPO 82: 8,58 m	ODF = 1,042	ODF = 1,042
Progetto	Statica	Piena SIMPO 82: 8,58 m	ODF = 1,166	ODF = 1,165
Attuale	Statica	Svaso rapido	FS = 1,128	FS = 1,229
Progetto	Statica	Svaso rapido	FS = 1,133 ODF = 0,800	FS = 1,232 ODF = 0,856
Attuale	Sismica	Piena ordinaria: 5,29 m	-	ODF = 1,281
Progetto	Sismica	Piena ordinaria: 5,29 m	-	ODF = 1,305

Figura 3-6. Tabella riassuntiva delle analisi di stabilità globale – Sezione 5.

Le verifiche prescritte dalle NTC18 risultano soddisfatte per lo stato di progetto, ad eccezione della verifica di svaso rapido relativa alla sezione 5, che risulta comunque caratterizzata da un fattore di sicurezza (non considerando quindi i coefficienti di sicurezza parziali) compreso tra 1.1÷1.2.

3.2.1.2 Verifica agli stati limite idraulici

Le verifiche di sicurezza di tipo idraulico, in accordo con le NTC 2018, prevedono l'analisi del rischio di sifonamento e di sollevamento al piede dell'argine, lato campagna, per effetto dei gradienti di filtrazione dovuti agli eventi di piena.

Le analisi di filtrazione sono state svolte in moto permanente con tirante idrico pari alla quota SIMPO '82 (8.58 m s.l.m.). Di seguito si riportano i risultati riassuntivi ottenuti nella relazione geologico-geotecnica:

Sezione di analisi	Stato attuale		Stato di progetto	
	Gradiente efflusso verticale [-]	Verifica sifonamento	Gradiente efflusso verticale [-]	Verifica sifonamento
Sezione 2	0,516	1,9	0,451	2,2
Sezione 5	0,566	1,8	0,424	2,4

Figura 3-7. Tabella riassuntiva verifica agli stati limite idraulici. Verifica al sifonamento.

Sezione di analisi	Situazione	Pressione stabilizzante caratteristica [kPa]	Pressione instabilizzante caratteristica [kPa]	Pressione stabilizzante di progetto [kPa]	Pressione instabilizzante di progetto [kPa]	Verifica sollevamento
Sezione 5	Attuale	57	46,8	51,3	51,5	0,99
Sezione 5	Progetto	57	42,9	51,3	47,2	1,09

Figura 3-8. Tabella riassuntiva verifica agli stati limite idraulici. Verifica al sollevamento.

La verifica risulta soddisfatta per entrambe le condizioni di rottura, in quanto:

- La verifica al sifonamento risulta soddisfatta se il rapporto tra gradiente idraulico critico e gradiente idraulico in uscita a campagna è superiore a 2.
- La verifica al sollevamento risulta soddisfatta se il valore della pressione interstiziale instabilizzante di progetto non è superiore al valore di progetto della tensione totale stabilizzante.

Per ulteriori specifiche e una trattazione più dettagliata si rimanda alla relazione geotecnica.

4. INQUADRAMENTO DEL PROGETTO NEI PIANI DI BACINO

Nei paragrafi seguenti si riportano le caratteristiche idrauliche dell'area in esame, in particolare rispetto al PAI Delta e al PGRA.

4.1 Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Po – Delta

Il PAI Delta estende la pianificazione di bacino del PAI del fiume Po nell'ambito territoriale del Delta del Po. Rispetto al quadro degli obiettivi del PAI, per il Delta sono previste azioni specifiche, in virtù delle particolari caratteristiche territoriali, caratterizzata da habitat naturali da preservare e da un assetto idraulico ampiamente artificializzato, la cui conseguenza è un rischio idraulico residuale (rischio che permane dopo l'applicazione delle misure di prevenzione e protezione) molto elevato per tutto il territorio. Il PAI Delta è stato approvato con D.P.C.M. n.75 del 13 novembre 2008.

L'area in esame si trova nel comune di Corbola, alla Tavola 169130 del PAI Delta. L'area oggetto di lavoro, individuabile nell'argine maestro in destra idraulica del fiume Po di Venezia, lato fiume, si trova in fascia A, come attestato dalla figura sottostante.

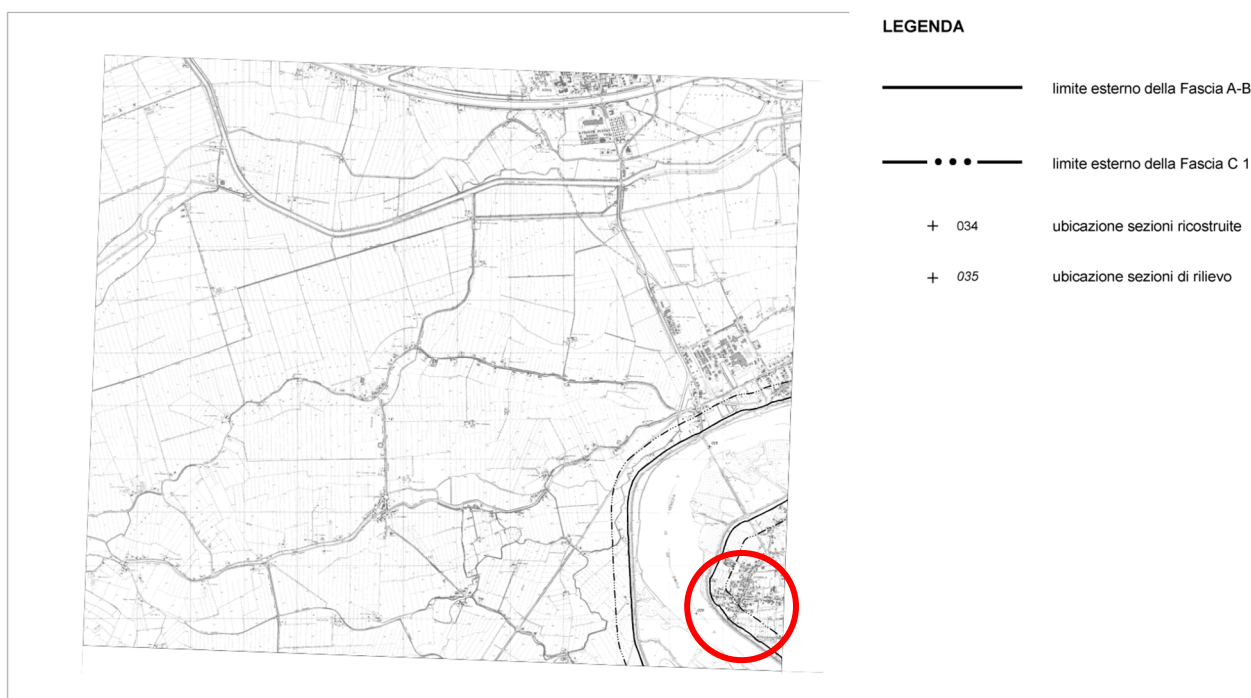


Figura 4-1. Tavole di delimitazione delle fasce fluviali – Tavola 169130 del PAI Delta.

L'area in esame si trova in area a pericolosità molto elevata.

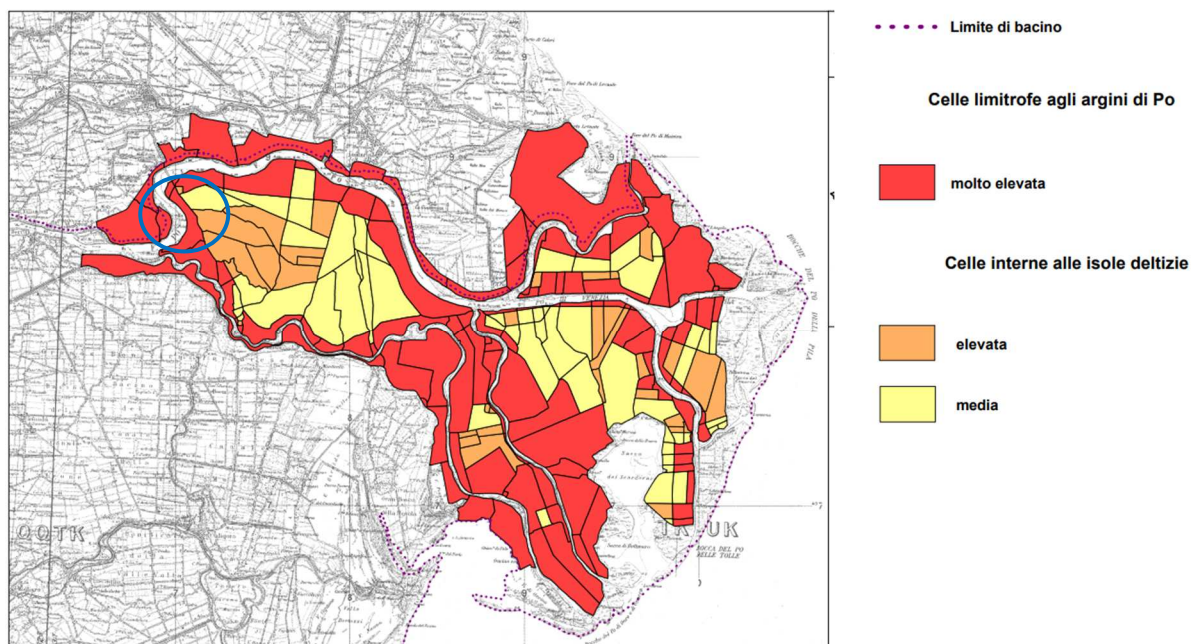


Figura 4-2. “Tav.5 – Classe di pericolosità” tratta da Allegato 5 alla Relazione Generale.

L'area in esame, per quanto riguarda il calcolo del rischio residuale, è identificata dalle celle delle isole deltizie AR 178 per il tratto iniziale, e dalla cella AR 153 per il tratto finale.

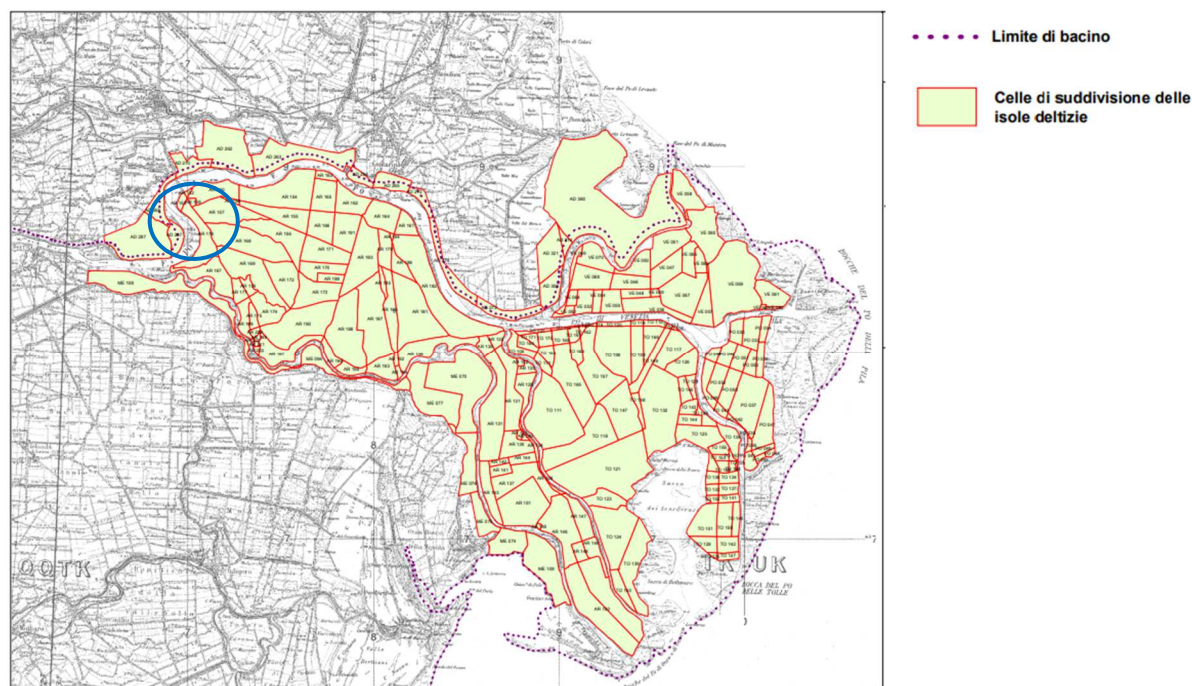


Figura 4-3. “Tav.2 – Codici identificativi delle celle di suddivisione delle isole deltizie” tratta da Allegato 5 alla Relazione Generale.

L'analisi di rischio residuale è stata condotta con la seguente metodologia:

- *Ripartizione del territorio in celle*, definite in funzione della diversità di comportamento idraulico, in occasione di fenomeni di inondazione per rotta arginale, in relazione alla delimitazione operata dai rilevati artificiali – argini di Po, strade e argini interni di sezionamento – presenti nelle isole del Delta. Il territorio risulta così suddiviso in tante celle, di cui i suddetti rilevati rappresentano le soglie di sfioro per tracimazione attraverso le quali l'acqua viene scambiata tra i rami del Po e le porzioni di territorio ad essi limitrofe, nonché tra queste e le celle ad esse contigue.
- *Caratterizzazione degli elementi geometrici* di ciascuna cella significativi per la valutazione della dinamica di inondazione, costituiti da:
 - quota media dell'argine di Po (solo per le celle confinanti)
 - quota minima di sfioro e codice della cella verso la quale è diretto il flusso idrico
 - quota di sfioro immediatamente superiore alla minima e codice della cella verso la quale è diretto il flusso idrico
 - quota minima e media del piano campagna della cella
 - superficie della cella.
- *Caratterizzazione del comportamento idraulico delle celle* secondo un criterio di analisi differenziato per le celle limitrofe agli argini di Po rispetto a quello utilizzato per tutte le restanti celle interne alle isole. Allo scopo sono stati calcolati dei parametri indicatori del grado di soggiacenza media di ciascuna cella rispetto ai massimi livelli idrici che si possono instaurare in caso di rotta, che è correlato alla vulnerabilità del territorio rispetto al rischio di inondazione.
- *Analisi delle condizioni di pericolosità e di rischio residuali* del territorio in relazione a ipotetici fenomeni di rotta arginale che possano interessare un tratto qualsiasi del sistema arginale di ritenuta.

Secondo l'analisi di rischio effettuata dal Autorità di Bacino, la cella AR 178 risulta avere una vulnerabilità pari a 0.93, mentre la cella AR 153 ha una vulnerabilità di 0.86.

Cella	Ordine	Sup (ha)	Rilevato 1		Rilevato 2		Quote dichiarate		Quote calcolate			Quota media argine Po	Indice
			Quota	Cella adiacente	Quota	Cella adiacente	Minima	Massima	Minima	Massima	Media		
AR 153	1	30.43	1.80	AR 178	2.60	AR 152	0.70	10.10	0.39	10.10	2.08	9.30	0.86
AR 178	1	289.72	-0.80	AR 159	0.30	AR 167	-1.50	9.70	-1.50	9.62	0.62	9.33	0.93

Figura 4-4. Stralcio dalla tabella “Analisi di vulnerabilità per celle” tratta da Allegato 5 alla Relazione Generale. Inoltre, il PAI Delta individua, nel capitolo 22 della Relazione Generale di Piano “*Sicurezza dei sistemi arginali maestri lungo i rami deltizi*”, come condizione critica la situazione dovuta a fenomeni di sifonamento

delle fondazioni “in destra in corrispondenza degli abitati di Corbola e Taglio di Po” e indica negli “Interventi strutturali scenario 1”, al punto b), il “**Ripristino della tenuta idraulica dei rilevati arginali mediante interventi di diaframmatatura e di rivestimento del petto arginale in destra in corrispondenza degli abitati di Corbola e Taglio di Po**”.

4.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Il piano attualmente vigente è quello del II ciclo (2021-2027), adottato con Delibera della Conferenza Istituzionale n. 5/2021_PGRAPo.

In attuazione di quanto previsto dalla Direttiva 2007/60, la mappatura della pericolosità è stata predisposta secondo la seguente classificazione, in funzione della quale sono state perimetrate le aree inondabili:

- alluvioni frequenti (H), rappresentate da eventi di piena con tempo di ritorno di $30 \div 50$ anni; a questa condizione corrisponde un'elevata pericolosità (H);
- alluvioni poco frequenti (M), rappresentate da eventi di piena con tempo di ritorno di $100 \div 200$ anni; a questa condizione corrisponde una pericolosità moderata (M);
- alluvioni rare (L), rappresentate da eventi di piena con tempo di ritorno fino a 500 anni; a questa condizione corrisponde una pericolosità bassa (L).



Figura 4-5. Stralcio dal Geoportale Nazionale “Mappe di pericolosità e rischio alluvioni”.

Le aree di lavorazione del presente progetto risultano in Area ad alta frequenza (H), essendo l'area di lavorazione sull'argine maestro, lato fiume.

5. CONCLUSIONI

Considerato quanto detto nei capitoli precedenti, si ritiene che la realizzazione della diaframmatatura plastica in progetto assolva pienamente allo scopo di diminuire il rischio idraulico e non influisca sui deflussi in alveo.

Vista la mancata verifica secondo le NTC 2018 nei pressi della sezione 5 a rapido svasso, probabilmente dovuta ad una erosione localizzata proprio al piede dell'arginatura in quel tratto, si consiglia di programmare un intervento per il ripristino del piede dell'argine con possibile difesa del manufatto al fine di migliorare le condizioni generali di sicurezza del tratto.