COMUNE DI LUZZARA
Provincia di Reggio Emilia

VARIANTE GENERALE PAE
in variante al PIAE della Provincia di Reggio Emilia

too
studio
via O. Tenni 128/B
42123 Reggio Emilia
T +39 0522 569338

progettazione generale

ing. **Isabella Caiti**
isabella.caiti@toostudio.it
P.IVA 02562040358

ing. **Simone Pioli**
simone.pioli@toostudio.it
P.IVA 03018550354

arch. **Marco Denti**
marco.denti@toostudio.it
P.IVA 02560720357

consulenza geologica e geotecnica

geol. **Giorgia Campana**
Via per Formigine 58a
41051 Castelnuovo Rangone (MO)
campanagiorgia@gmail.com

geol. **Claudia Borelli**
Via per Formigine 58a
41051 Castelnuovo Rangone (MO)
borelligeo@gmail.com

consulenza idrogeologica

ing. **Marco Monaci**
Via per Formigine 58a
41051 Castelnuovo Rangone (MO)
mm.monaci@gmail.com

Titolo elaborato: **APPROFONDIMENTI IDRAULICI E IDROGEOLOGICI**

tavola

A0.2

scala
-

Rev.	Data	Descrizione	Redatto
02	-	-	-
01	-	-	-
00	Luglio 2025	Emissione	I.C.-S.P.-G.C.

INDICE

PREMESSA **2**

INQUADRAMENTO GENERALE ED IDRAULICO **3**

STRUMENTI URBANISTICI DI CARATTERE IDRAULICO **4**

ANALISI DEL THALWEG **11**

ANALISI DELL'ANDAMENTO DEGLI ACQUIFERI **13**

VERIFICHE DI FILTRAZIONE PRESSO LE OPERE ATTORNO AL POLO **17**

CONCLUSIONI **17**

PREMESSA

Il presente Studio Idraulico ha lo scopo di individuare le principali grandezze idrauliche di riferimento relative all'andamento del fiume Po nelle immediate vicinanze del Polo di PIAE Belgrado Fogarino di Luzzara (RE).

In particolare, al fine dell'individuazione dei limiti di scavo dell'attività estrattiva, occorre individuare l'andamento del thalweg del fiume Po nelle sezioni in corrispondenza dell'area di cava e lo stato degli acquiferi presenti.

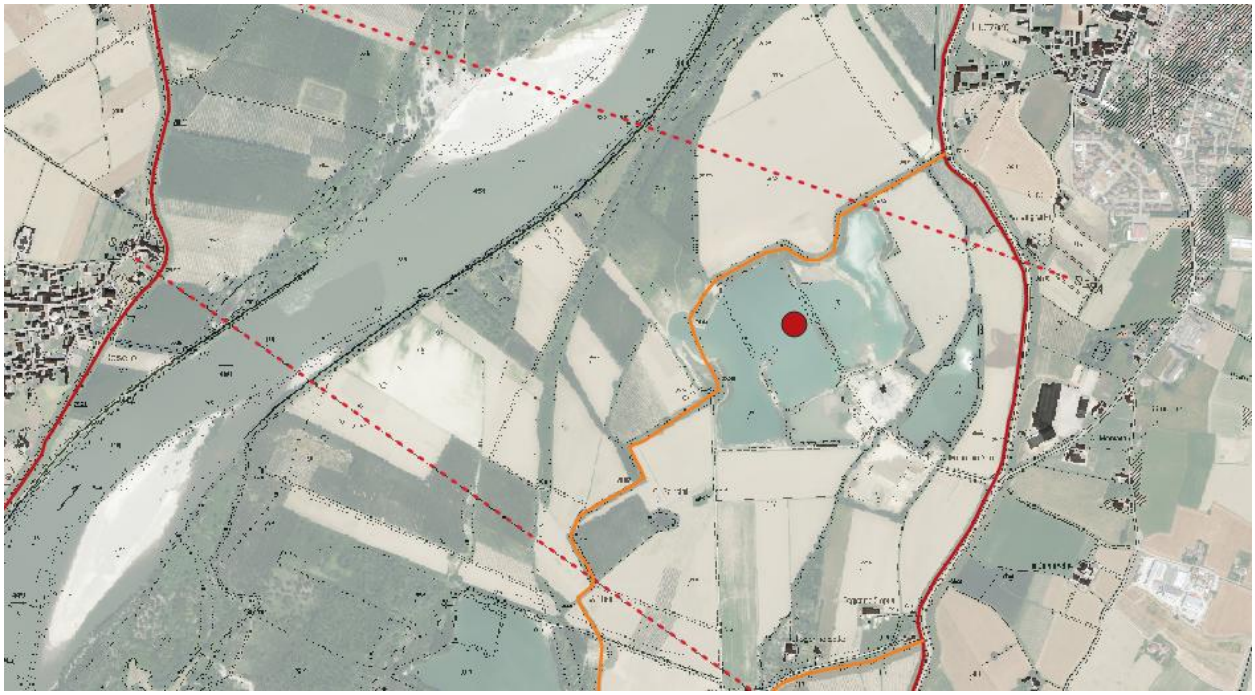
Inoltre, date le caratteristiche territoriali presenti presso l'area del polo in progetto, sono state inoltre condotte specifiche verifiche idrauliche al fine di verificare i fenomeni di filtrazione presso gli argini presenti attorno alle aree.

Nei successivi capitoli, quindi, vengono quindi affrontate le tematiche sopra indicate.

INQUADRAMENTO GENERALE ED IDRAULICO

Il Polo di PIAE Belgrado Fogarino è sito nel Comune di Luzzara, in Provincia di Reggio Emilia, nell'area golenale compresa tra il corpo idrico del Fiume Po e l'argine maestro di Luzzara.

Inquadramento generale rispetto alla provincia di Reggio Emilia (RE)

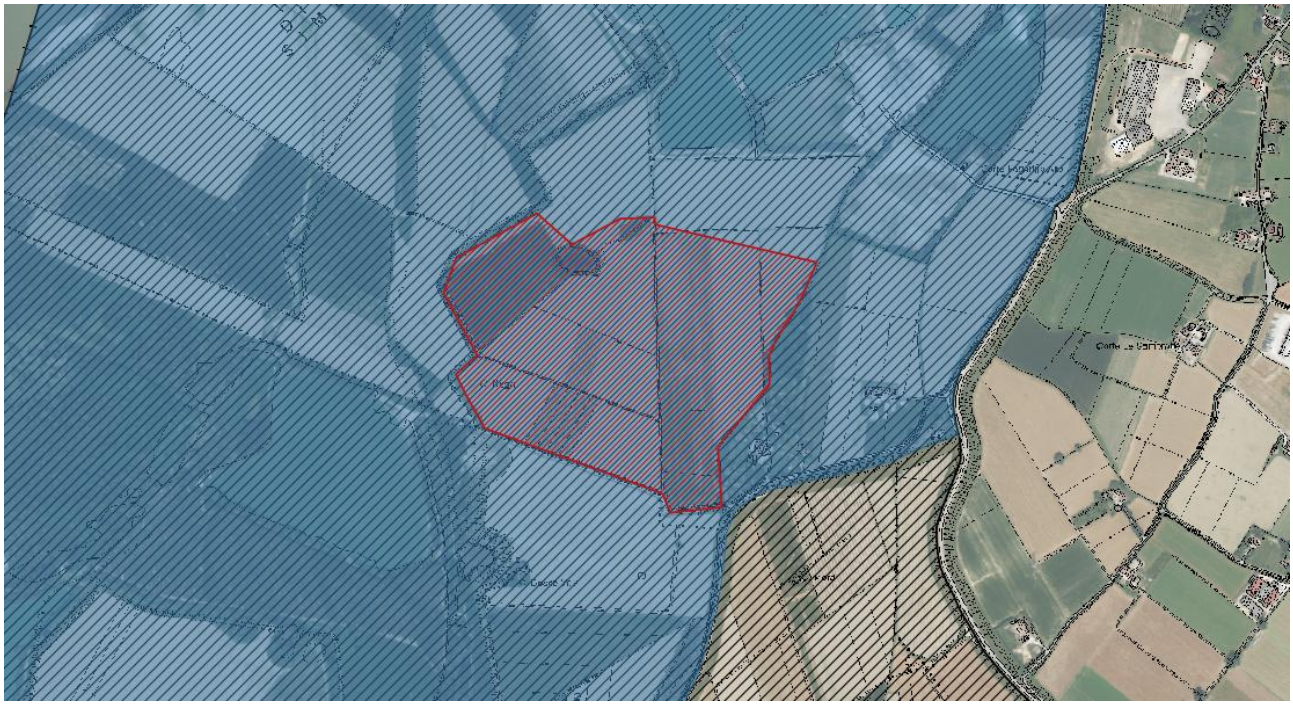


Inquadramento generale su ortofotocarta (AGEA RER) e Carta del Po con indicazione dei tematismi del PAI (arancio: argini golenali; rosso continuo: argini maestri; linee rosse tratteggiate: sezioni Brioschi PAI; puntatore rosso: sito oggetto della presente relazione)

Il sito oggetto di studio, come visibile nell'estratto grafico precedentemente riportato, è ubicato a cavallo delle sezioni Brioschi, individuate dal Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume PO (PAI), numerate S39 ed S39A.
Attraverso la documentazione fornita dai piani urbanistici a livello di bacino e dagli studi specifici dell'Autorità stessa, è possibile determinare l'andamento del Thalweg in corrispondenza del fiume Po all'altezza dell'area di cava, come descritto nei seguenti paragrafi.

STRUMENTI URBANISTICI DI CARATTERE IDRAULICO

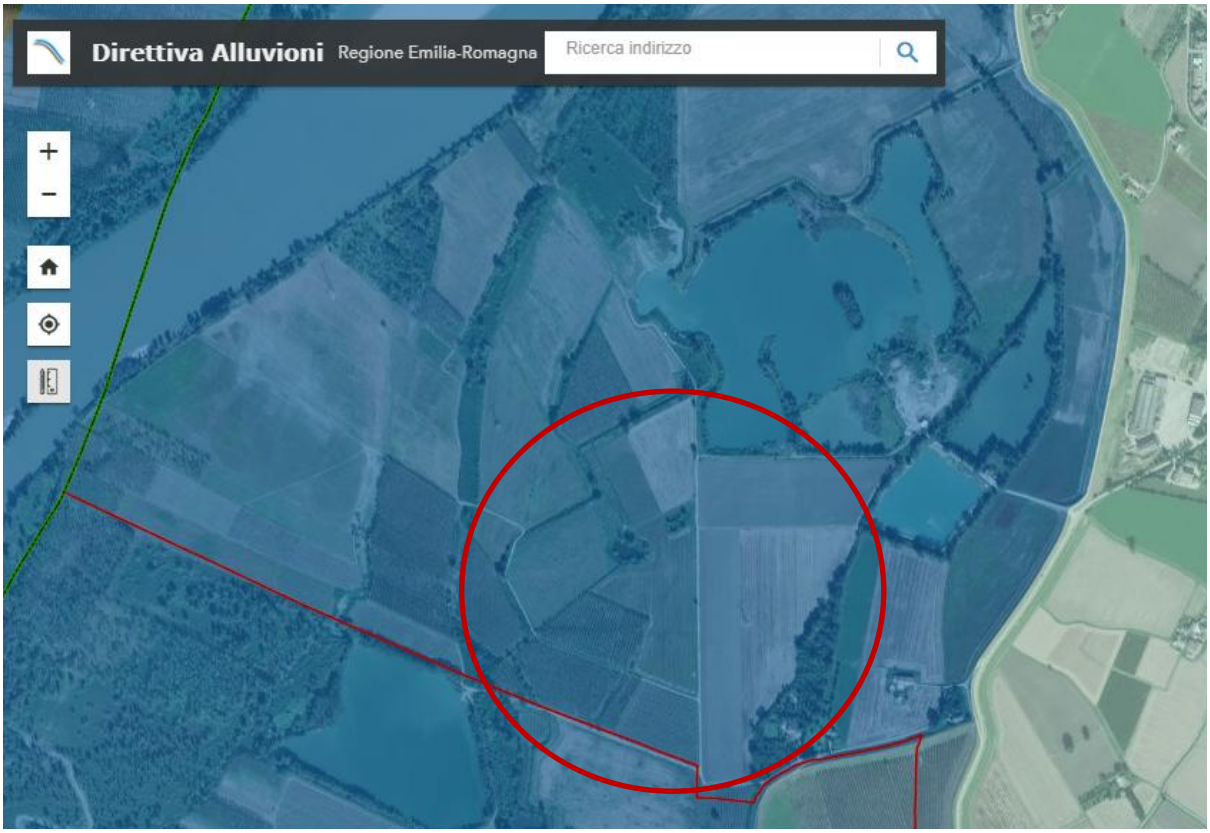
Per le aree oggetto di analisi, assumono particolari considerazioni riguardo alla strumentazione urbanistica vigente, ed in particolare ricorrendo alla consultazione delle cartografie delle fasce fluviali del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP RE), del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA). Di seguito si riportano le analisi dei piani indicati.
Le cartografie delle fasce fluviali del PTCP non visualizzano l'area oggetto di analisi, come visibile nel keyplan riportato qui a fianco. Pertanto, data l'impossibilità di consultare tali dati mediante gli stampati pdf, sono stati utlizzati i tematismi shapes messi a disposizione dalla Provincia di Reggio Emilia nel portale del piano territoriale di coordinamento, aggiornati con le successive varianti.



Visualizzazione dei tematismi GIS delle fasce fluviali - In rosso l'ambito estrattivo in progetto, in azzurro la perimetrazione della fascia fluviale A (corrispondente alla B nel caso in esame)

Come visibile dallo strumento di pianificazione proposto, infatti, l'areale previsto per la cava ricade nella fascia fluviale A, in seguito all'aggiornamento del PGRA (ultimo aggiornamento, anno 2019).
A comprova delle previsioni del PTCP, è stato consultato anche il PGRA dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, di cui si riporta un estratto.
La cartografia del PGRA è consultabile mediante il webviewer seguente:

https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html
da cui deriva la seguente immagine:



Direttiva Alluvioni 2022

Distretto_idrografico_fiume_Po

Mappe_della_pericolosita_Vestizione_per_UoM_2022

PUOM_Distretto_Po_ITN008_2022

PUOM_Reticolo_Principale_ITN008_2022

PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITN008FHMHRPRER_2022

PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITN008FHMMRPRER_2022

PUOM_Alluvioni_rare_L_P1_ITN008FHMLRPRER_2022

Come ben noto, la cartografia del PGRA è direttamente connessa alla delimitazione delle fasce fluviale ai sensi della DGR 1300/2016. Nel presente caso, quindi, l'area di studio, ricadendo nelle aree a pericolosità H-P3 corrisponde alla fascia fluviale A.

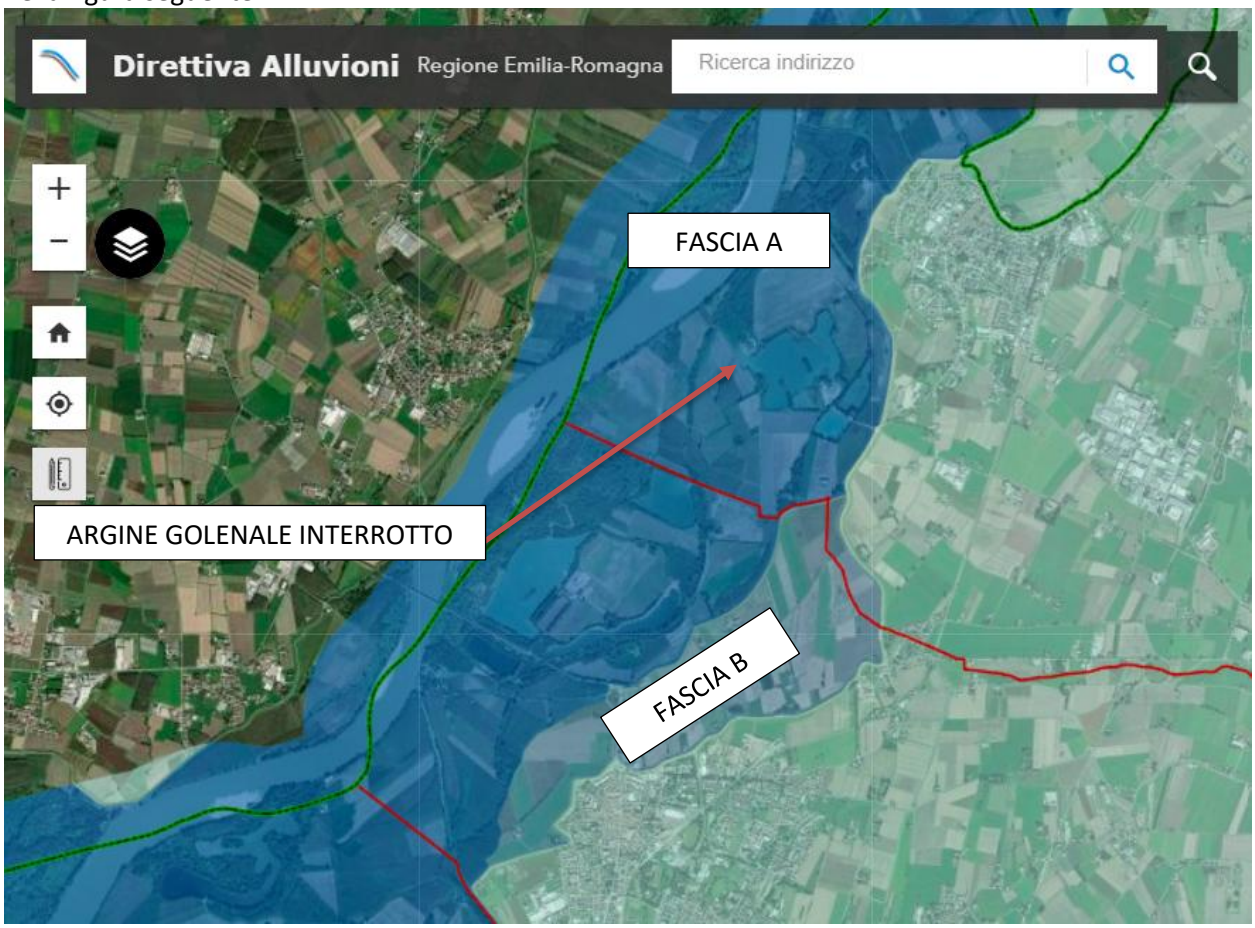
Per tale ambito, il PTCP prevede l'articolo n°66 delle NTA:

"Articolo 66. Fascia di deflusso della piena (Fascia A) 1. P Nella Fascia A il Piano persegue l'obiettivo di garantire le condizioni di sicurezza assicurando il deflusso della piena di riferimento, il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo, e quindi favorire 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. 2. P Nella Fascia A sono vietate: a) le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, che modifichino l'assetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio, fatto salvo quanto specificatamente ammesso dai successivi articoli; b) la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti come definiti dalla legislazione vigente, ad eccezione del recupero ambientale; c) la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue, nonché l'ampliamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, fatto salvo quanto previsto al successivo comma 3, let. m); d) le coltivazioni erbacee non permanenti e arboree, fatta eccezione per gli interventi di bioingegneria forestale e gli impianti di rinaturazione con specie autoctone, per una ampiezza di almeno 10 m dal ciglio di sponda, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino di una fascia continua di vegetazione spontanea lungo le sponde dell'alveo inciso, avente funzione di stabilizzazione delle sponde e riduzione della velocità della corrente; e) la realizzazione di complessi ricettivi all'aperto; f) il deposito a cielo aperto, ancorché provvisorio, di materiali di qualsiasi genere, fatto salvo quanto ammesso dal comma 3.
P Sono per contro consentiti:
a) i cambi colturali, che potranno interessare esclusivamente aree attualmente coltivate;
b) gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
c) le occupazioni temporanee se non riducono la capacità di portata dell'alveo, realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena;
d) i prelievi manuali di ciottoli, senza taglio di vegetazione, per quantitativi non superiori a 150 m^3 annui;
e) la realizzazione di accessi per natanti alle cave di estrazione ubicate in golena, per il trasporto all'impianto di trasformazione, purché inserite in programmi individuati nell'ambito dei Piani di settore;
f) i depositi temporanei conseguenti e connessi ad attività estrattiva autorizzata ed agli impianti di trattamento del materiale estratto e presente nel luogo di produzione da realizzare secondo le modalità prescritte dal dispositivo di autorizzazione; g) il miglioramento fondiario limitato alle infrastrutture rurali compatibili con l'assetto della fascia.
h) il deposito temporaneo a cielo aperto di materiali che per le loro caratteristiche non si identificano come rifiuti, finalizzato ad interventi di recupero ambientale comportanti il ritombamento di cave;
i) il deposito temporaneo di rifiuti come definito dalla legislazione vigente;
l) l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi della legislazione vigente (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati dalla legislazione) alla data di entrata in vigore del PAI, limitatamente alla durata dell'autorizzazione o iscrizione stessa. Tale autorizzazione od iscrizione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite dal D.Lgs 152/2006 e s.m.i..
m) l'adeguamento degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue alle normative vigenti, anche a mezzo di eventuali ampliamenti funzionali."

L'articolo delle NTA del PTCP recepisce quanto indicato dalle Norme Tecniche di attuazione del PAI, dagli articoli 22 al 41. Per effetto di tali norme, i piani di attività estrattive sono consentiti purchè essi siano corredati da uno studio di compatibilità idraulica atto a garantire l'osservanza dei "Criteri Generali per l'elaborazione dei Piani delle attività estrattive" dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

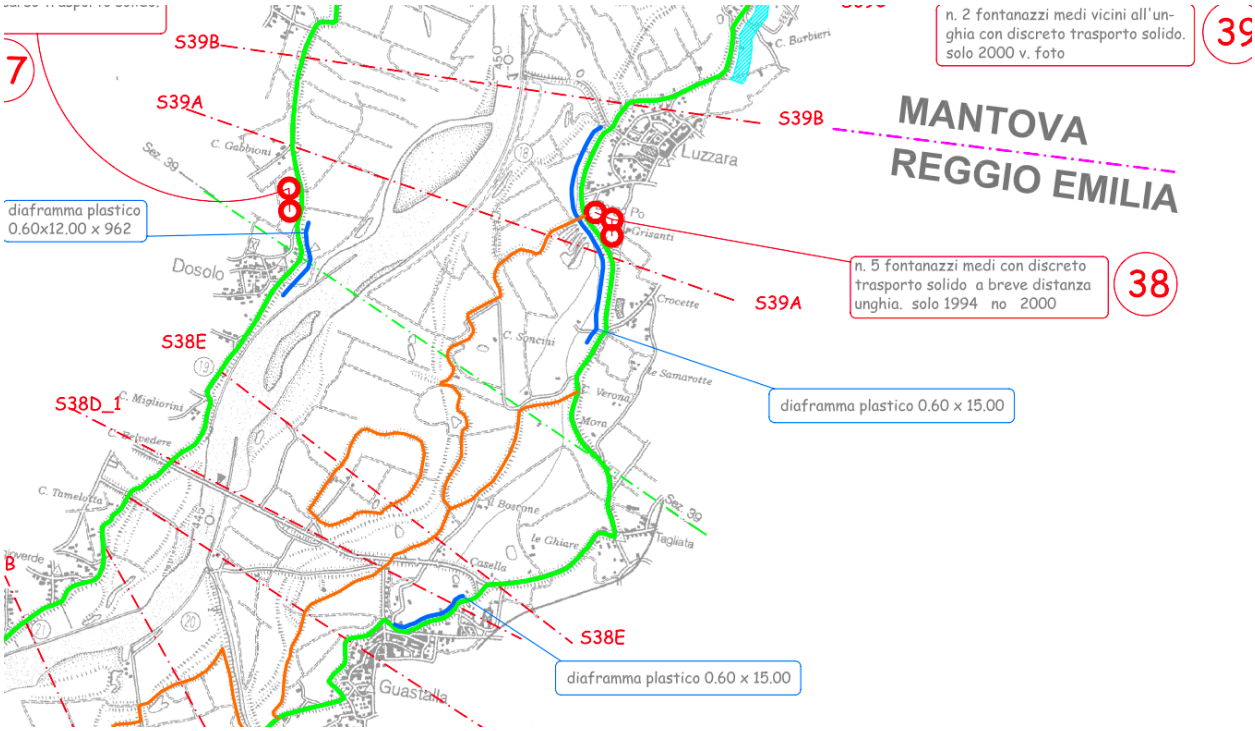
Tuttavia, occorre segnalare che l'areale individuato per la cava risulta racchiusa da un argine golenale provvisoriamente non continuo, che delimitava la golena "chiusa" che si originava a partire dall'abitato di Guastalla.
L'argine in questione, infatti, allo stato attuale, presenta un tratto collassato in seguito ad un cedimento in corrispondenza della cava Fogarino, per la quale è previsto e prescritto il ripristino.
Tale condizione ha portato quindi, con le modellazioni effettuate per l'aggiornamento del PGRA, sulla base dei DTM del MASE, ad estendere la fascia fluviale A a partire dall'argine intragolenale, come mostrato nella figura seguente.



Estratto delle cartografie del PGRA vigente in corrispondenza della golena chiusa tra Guastalla e Luzzara.

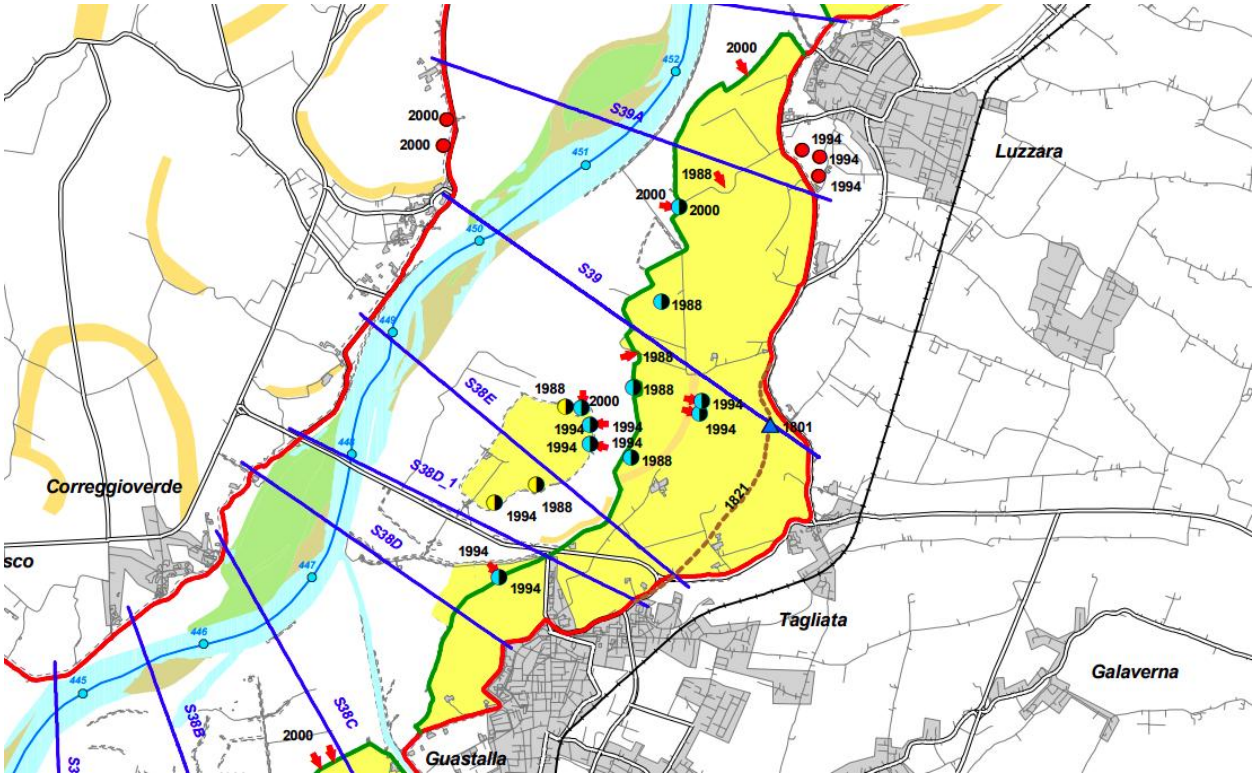
Ricorrendo all'analisi dei catasti arginature dell'Autorità di Bacino del fiume Po, è possibile trovare riscontro a tale affermazione.

Nel catasto arginature del 2004, infatti, l'argine golenale racchiude l'intera golena a partire da Guastalla sino ad arrivare all'ingresso dell'abitato di Luzzara, come visibile nel seguente estratto cartografico.



Estratto del catasto arginature 2004 tra Guastalla e Luzzara

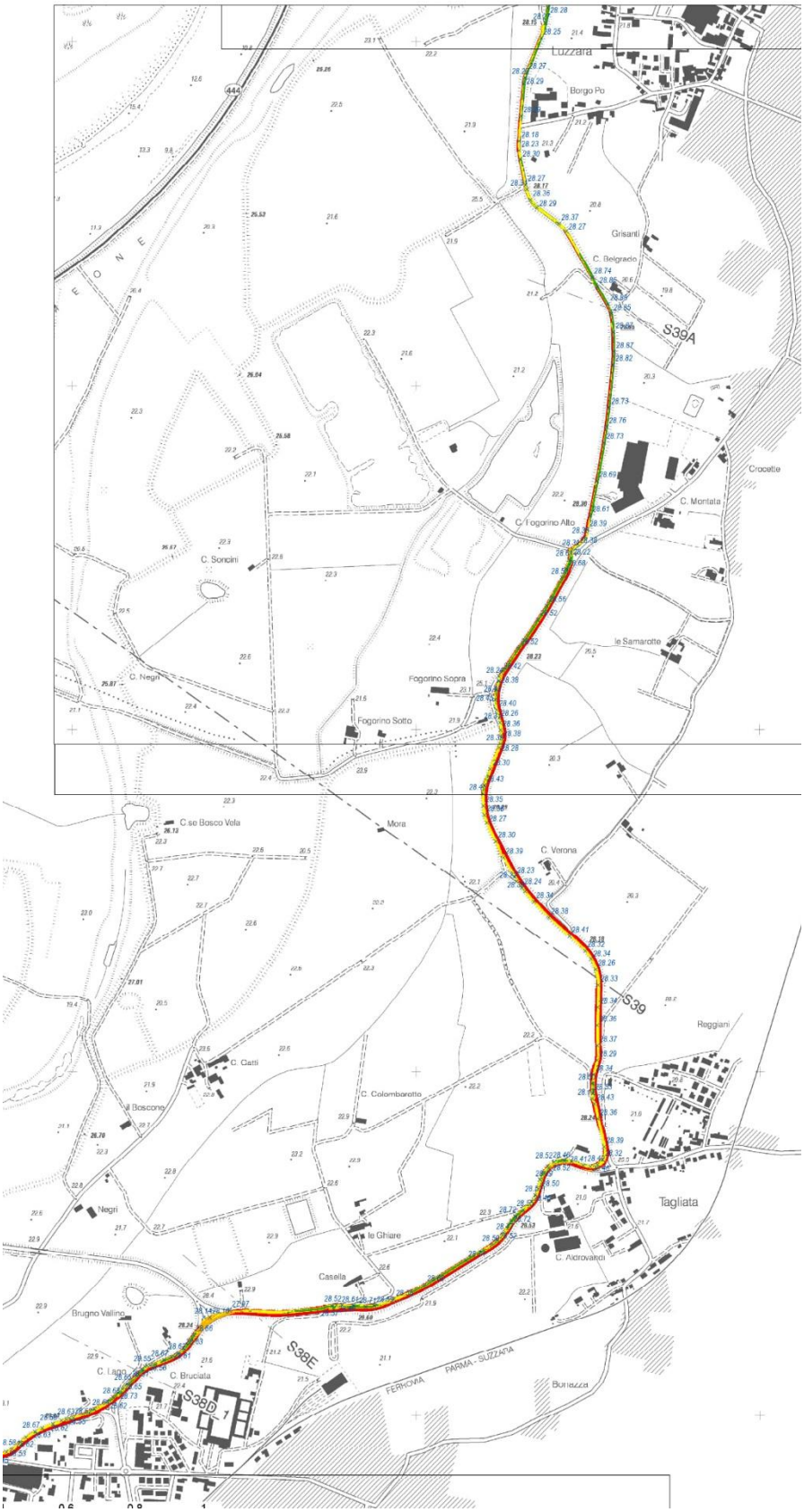
Nel catasto arginature del 2014, nelle planimetrie di censimento delle rotte, viene riportato l'areale in questo estratto:



Da cui, dalla Legenda:

Si evince che nel 2000 l'argine golenale è stato soggetto ad una rotta nel corso del 2000.
Negli anni a seguire, post 2000, l'argine è stato soggetto a diversi cicli di ricostruzione e di nuovi collassi a seguito del regime fluviale del fiume Po, da cui all'anno di aggiornamento del PGRA, tale argine non risultava ancora nuovamente realizzato.

Nel corso dell'anno 2017, l'autorità di Bacino ha effettuato una ricognizione degli argini del fiume Po individuando i punti problematici riguardo al sormonto, riportando la seguente planimetria dell'area di interesse (Allegato 1-2):

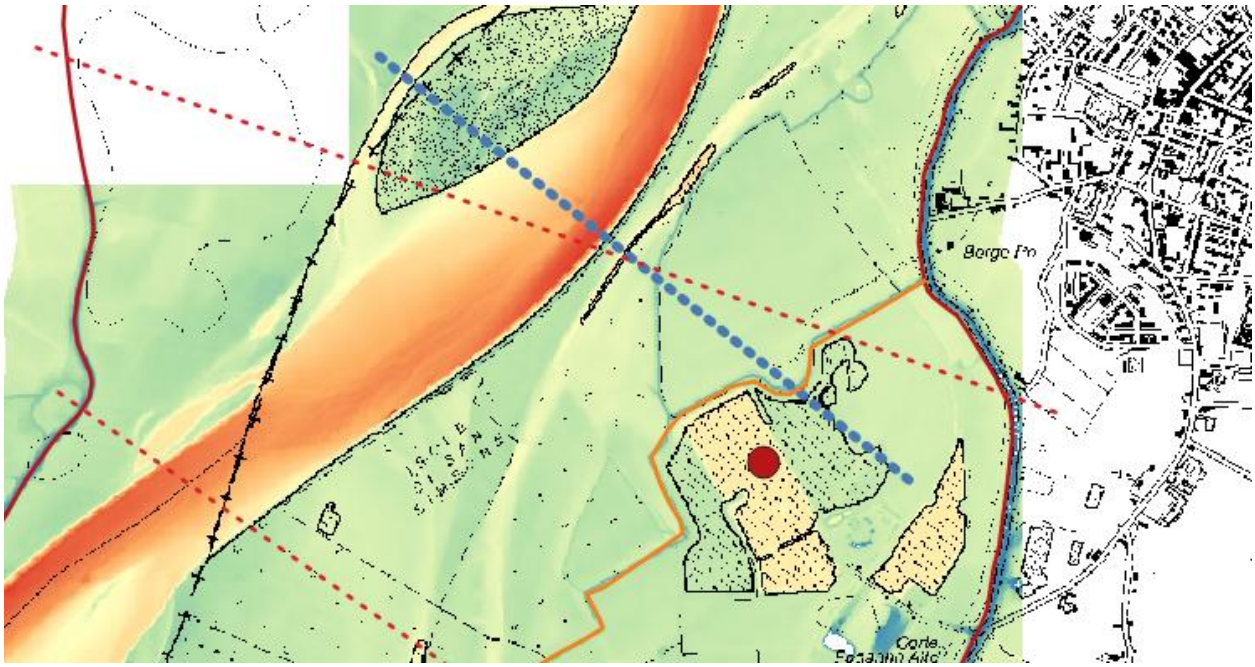

Luzzara
Borgo Po
Grisanti
C. Belgrado
S39A
Crocette
C. Montata
C. Fogorino Alto
C. Soncini
le Samarotte
C. Negri
Fogorino Sopra
Fogorino Sotto
C.se Bosco Vela
Mora
C. Verona
S39
Reggiani
C. Gatti
C. Colombarotto
il Boscone
Negri
Tagliata
le Ghiare
C. Aldrovandi
Casella
Brugno Vallino
S38E
C. Lago
C. Bruciata
S38D
FERROVIA PARMA - SUZZARA
Bonazza

Come visibile dall'estratto riportato, nell'atlante delle arginature, sono riportate anche le quote dell'argine golenale tra Guastalla e Luzzara, da cui è possibile rilevare che esso presenta quote prossime ai 26 m s.l.m., superiori all'arginatura intergolenale che attualmente delimita la golena a Nord (22-23 m slm).

Appare quindi evidente che procedendo al ripristino dell'arginatura golenale presso la Cava Fogarino, posta a Nord, l'intera golena ritorna ad essere chiusa e pertanto, la piena TR20, che delimita la fascia A (vedi relazione descrittiva e metodologica alla base del PGRA), ritorna ad essere contenuta ad Ovest dell'argine e quindi dell'area di cava in progetto.
Tale condizione, quindi, determinerebbe il rientro della fascia A ed il passaggio a fascia B per l'intera golena chiusa.

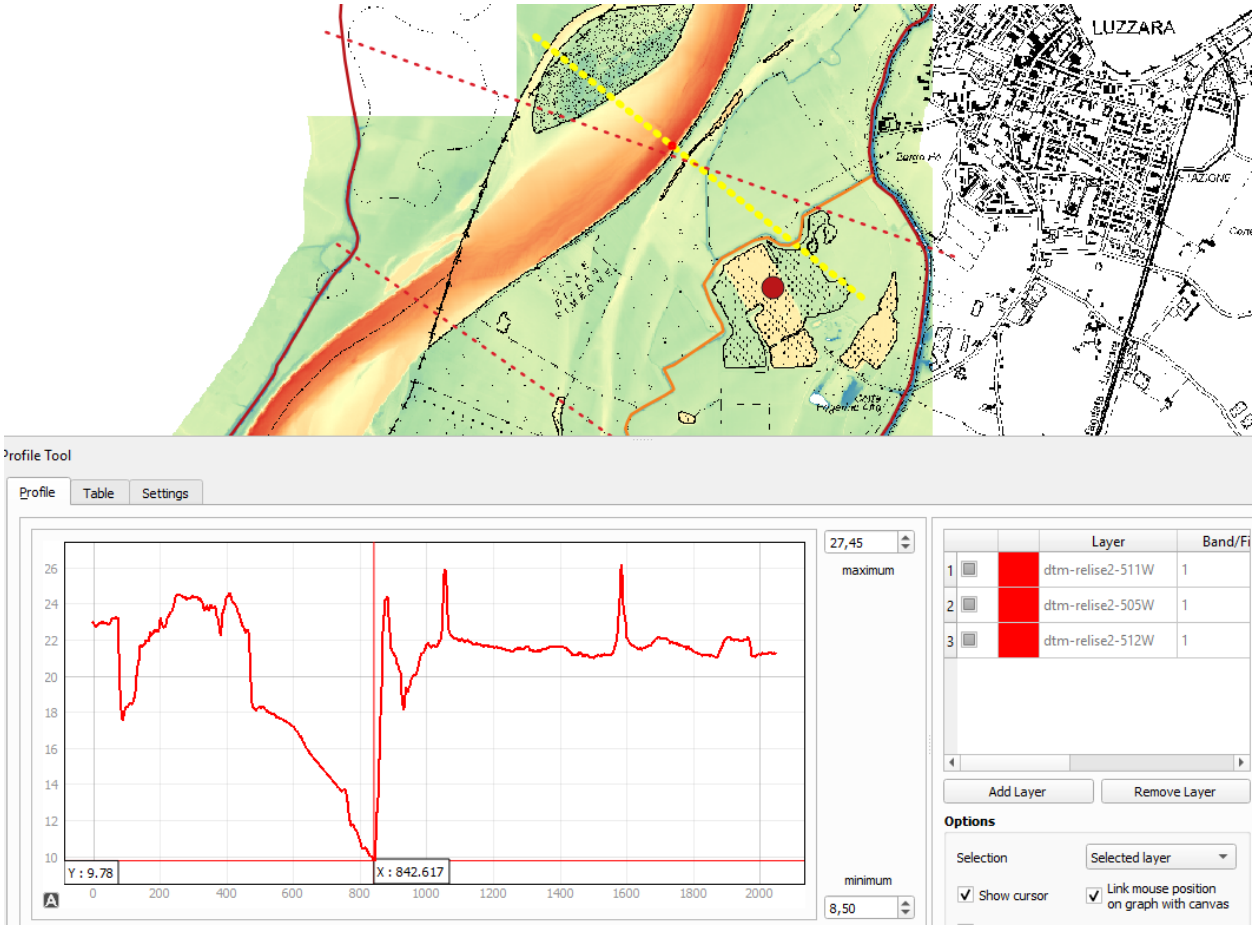
ANALISI DEL THALWEG

Come già indicato, all'interno della documentazione normativa e degli studi idrologici effettuati dall'Autorità di Bacino del fiume Po, è possibile ricavare l'andamento del Thalweg nel tratto oggetto di studio.
Tuttavia, appare evidente che il regime fluviale del fiume Po è soggetto a continue evoluzioni del fondo dovute al trasporto solido che, nel caso del fiume Po, nel tratto in questione, avviene mediante la creazione di dune e controdune (ripples), tipiche di un alveo sabbio-limoso.
Tuttavia, la documentazione batimetrica disponibile per il fiume Po risale all'anno 2005 mediante la realizzazione del DTM del fiume Po, pertanto esso rappresenta l'ultimo dato disponibile per l'area indicata. Di seguito si riporta un estratto grafico della sovrapposizione, mediante GIS, del DTM alla cartografia generale dell'area, con l'individuazione della sezione direttamente afferente l'area di cava in direzione perpendicolare all'andamento del fiume Po (sezione tratteggiata in azzurro).



Modello digitale del terreno del fiume Po (con batimetria) – Fonte: Autorità di Bacino del Fiume Po (2005)

Utilizzando le funzionalità dei software GIS è stato quindi possibile analizzare la sezione in corrispondenza della cava ottenendo il seguente andamento del profilo del terreno.



Estratto dell'analisi dell'andamento del terrneo in corrispondenza della sezione relativa al Polo Estrattivo

Successivamente, la sezione sopra riportata, è stata esportata e dettagliata, per una maggiore comprensione, nell'allegato al presente studio idraulico.

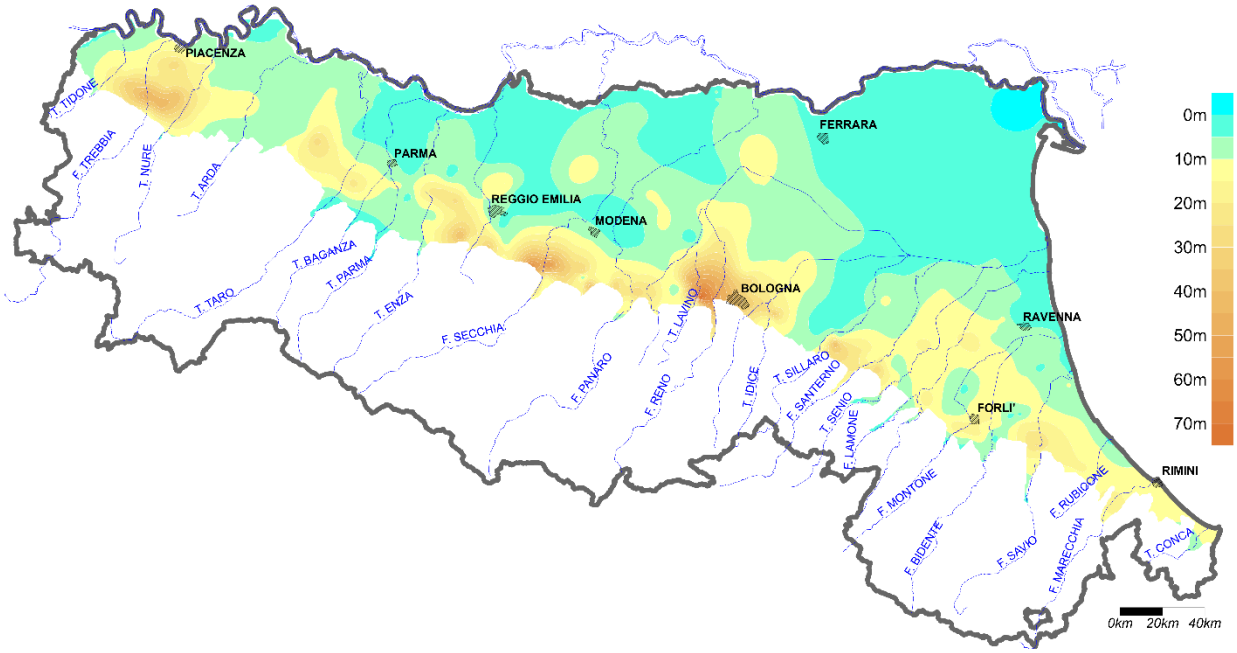
Dall'analisi della sezione, quindi, emerge una quota del Thalweg pari a 9,78 m sul livello del mare.

Tale valore sarà quindi adottato come riferimento per la stima della quota minima raggiungibile dallo scavo all'interno del polo estrattivo.

ANALISI DELL'ANDAMENTO DEGLI ACQUIFERI

In secondo luogo, al fine delle valutazioni di carattere idrologico ed idraulico, preliminari, per la realizzazione del Polo di PIAE, occorre verificare l'andamento della falda in corrispondenza dell'area interessata.

Dalle cartografie disponibili pubblicate da ARPA Emilia Romagna, è possibile visualizzare immediatamente che in corrispondenza dell'area di Luzzara, la soggiacenza media annua si attesta tra 0 e 10 metri.



Soggiacenza media annua nei corpi idrici liberi e confinati inferiori (2023) – Fonte: https://webbook.arpae.it/indicatore/Livello-delle-acque-sotterranee-00001/?espandi=grafici

La Regione Emilia Romagna, in particolare l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA), già dal 2009, dispone di una rete di monitoraggio della falda distribuita nell'areale regionale.

Rispetto all'area di intervento, si rileva la presenza di un'unica stazione di monitoraggio, individuata nel punto di misura denominato 19RE sita in corrispondenza dello stabilimento VIMEC S.r.l. nella zona industriale di Luzzara.

I dati della profondità di falda, rispetto a tale punto, sono visionabili mediante il servizio FALDANET-ER, reperibile al sito: http://faldanet.consorziocer.it/Faldanet/retefalda/index ,come visibile nel seguente estratto della schermata del sito.

Soggiacenza della falda ipodermica in corrispondenza del comune di Luzzara – Fonte: FALDANET-ER

Dal sito richiamato, è possibile anche scaricare i dati disponibili per la stazione di misura nel tempo di monitoraggio. In particolare, di seguito si riporta il grafico dell'andamento della falda per gli ultimi 5 anni di misura, ovvero tra il 1 gennaio 2020 fino alla data odierna (Aprile 2025).

Stazione - 19RE

Data	Media (cm)
11/04/2015	102
21/04/2015	129
04/05/2015	130
11/05/2015	148
21/05/2015	105
03/06/2015	114
12/06/2015	147
21/06/2015	144
01/07/2015	143
14/07/2015	152
22/07/2015	301
05/08/2015	301
12/08/2015	301
21/08/2015	301
03/09/2015	301
11/09/2015	301
21/09/2015	301
01/10/2015	301
13/10/2015	301
22/10/2015	301
02/11/2015	301
11/11/2015	301
21/11/2015	301
01/12/2015	301
11/12/2015	301
25/12/2015	301
08/01/2016	301
11/01/2016	301
21/01/2016	301
01/02/2016	301
11/02/2016	301

I dati di misura possono essere estratti ed operate analisi statistiche. In particolare, nel presente caso, si è determinato l'andamento annuale della fluttuazione della falda andando ad individuare i valori minimi e massimi annuali per ogni anno di misura tra il 2015 ed il 2024. Considerando che la stazione di misura 19RE è sita a circa 18,4 m s.l.m., è stato quindi individuata la quota altimetrica assoluta per l'acquifero.

Ubicazione della stazione di misura 19RE e confronto con l'altimetria locale assoluta

I valori dell'andamento della falda, corrispondenti alla stazione 19RE, sono riportati nella seguente tabella:

SOGGIACENZA [cm]			*Quota punto [m.sl.m.]*	*18,5*
ANNO	**MINIMO**	**MASSIMO**	**QUOTA SOGG. Min**	**QUOTA SOGG. Max**
2015	102	301	17,48	15,49
2016	3	301	18,47	15,49
2017	228	301	16,22	15,49
2018	145	301	17,05	15,49
2019	2	227	18,48	16,23
2020	110	272	17,4	15,78
2021	115	267	17,35	15,83
2022	241	301	16,09	15,49
2023	265	301	15,85	15,49
2024	102	251	17,48	15,99
MEDIA	***131,3***	***282,3***	***17,187***	***15,677***

Considerando che il piano campagna del polo estrattivo è posto a circa 21,2÷21,4 m s.l.m., l'oscillazione della falda (considerando il valore inferiore di 21,2 m slm) risulta compresa tra un minimo di 4 metri dal piano campagna ed un massimo di 5,5 metri.
Oltre alla consultazione dei livelli di falda della rete di monitoraggio regionale, data la presenza della cava Belgrado - Fogarino nelle immediate vicinanze, è stato possibile accedere anche alle misure del sistema di monitoraggio di essa nel periodo 2017-2025. Tale sistema di monitoraggio era costituito da 4 piezometri, disposti presso l'areale golenale, consultati almeno due volte all'anno (febbraio-marzo e luglio-settembre). Dalla campagna di indagini ne consegue il seguente riepilogo delle misure di soggiacenza della falda rispetto al piano campagna.

SOGGIACENZA FALDA NEI PIEZOMETRI DELLA CAVA BELGRADO-FOGARINO								
	1° semestre				2° semestre			
	PZ1	**PZ2**	**PZ3**	**PZ4**	**PZ1**	**PZ2**	**PZ3**	**PZ4**
2017	-4.82	-4.10	-4.98	-4.42	-5.75	-5.73	-5.63	
2018								
2019	-4.92	-4.37	-5.10	-4.60				
2020	-3.65		-2.95					
2021	-2.95	-3.63			-5.60	-6.66	-6.05	
2022	-6.00	-7.00	-6.40		-6.80	-7.05	-7.50	
2023	-6.70	-7.70	-7.30		-7.02	-7.20	-7.15	
2024	-2.00	-1.90			-4.10	-4.63		
2025	-3.85	-4.48						
MEDIA	**-4.36**	**-4.74**	**-5.35**	**-4.51**	**-5.85**	**-6.25**	**-6.58**	

Come visibile dal prospetto riportato, le evidenze ricavate dalla rete di monitoraggio regionale (al di fuori della golena) rispecchiano quanto individuato all'interno di essa. Infatti, anche nell'areale golenale in prossimità del Polo in progetto la soggiacenza ha una variabilità tra i 4.30 m (periodo invernale) ed i 6.50 metri (periodo estivo).

VERIFICHE DI FILTRAZIONE PRESSO LE OPERE ATTORNO AL POLO

Al fine di verificare le modifiche, a livello idraulico, indotte dalla presenza del nuovo polo in progetto, sono state contestualmente condotte apposite verifiche dei moti di filtrazione nello scenario di progetto con la finalità di valutare la stabilità delle arginature presenti sul perimetro del Polo.
Tali verifiche sono state condotte dall'Ing. Marco Monaci e sono riportate in allegato alla presente.
Da tali verifiche emerge che l'introduzione del polo estrattivo, rispettando la distanza di 50 metri dai rilevati arginali, come previsto dalla normativa vigente, non comporta alterazioni apprezzabili al regime di filtrazione che si instaura al piede del rilevato arginale. Tale condizione determina la compatibilità dell'opera al contesto di inserimento. Saranno comunque condotte ulteriori verifiche di dettaglio in sede di progettazione avanzata.

CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate mediante il presente studio, si determinano quindi le seguenti grandezze di riferimento per la progettazione del Polo di PIAE Belgrado Fogarino presso Luzzara (RE):

- **Quota altimetrica del Thalweg del fiume Po: 9,78 m s.l.m.;**
- **Andamento medio della falda ipodermica compreso tra i 17,18 m s.l.m. ed i 15,68 m s.l.m., che si traducono, in corrispondenza dell'areale di cava, tra una soggiacenza minima di 4 metri e massima di 5,5 metri circa.**

Le analisi della filtrazione dovuta alla presenza del polo estrattivo, inoltre, hanno mostrato che l'introduzione dell'attività di scavo non comporta sostanziali modifiche al regime dei moti di filtrazione, rendendo compatibili le distanze dai rilevati arginali.

ALLEGATO 1

REPORT DI CALCOLO

"Analisi di filtrazione per verifica dell'assenza

di impatti sull'arginatura esistente"

NUOVO POLO ESTRATTIVO IN GOLENA DESTRA DEL F. PO IN COMUNE DI LUZZARA

Analisi di filtrazione per verifica dell'assenza di impatti sull'arginatura consortile esistente

A cura di:

Ing. Marco Monaci

Con il supporto di:

IdroAM srl

ING. MARCO MONACI SRL

via Tintoretto, 5 - 41051 - Castelnuovo Rangone (MO)

CF/P.IVA: 03791470366

Ing. Marco Monaci srl

Environment & Energy

I N D I C E

1 PREMESSA 3

2 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO 4

3 IL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO 8

4 RISULTATI DELLE ANALISI DI FILTRAZIONE 10

4.1 SIMULAZIONI nello stato di fatto 10

4.2 SIMULAZIONI nello stato di progetto e analisi comparativa tra i due scenari 12

5 CONCLUSIONI 16

6 PRESCRIZIONI 17

1 PREMESSA

Il presente documento ha l'obiettivo di verificare l'assenza di effetti negativi introdotti dalle attività di scavo nel nuovo polo estrattivo in esame sull'argine consortile esistente in adiacenza allo stesso.

L'area adi intervento si colloca, infatti, in golena destra del f. Po tra gli abitati di Guastalla e Luzzara, in corrispondenza della sezione AIPO n. S39.

FIGURA 1 – INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO RISPETTO ALLE SEZIONI TRASVERSALI AIPO

In particolare, mediante analisi numeriche di filtrazione sub-superficiale, eseguite in maniera comparativa sullo scenario morfologico e geolitologico attuale e sulla configurazione di progetto a seguito delle previste attività di scavo, viene verificata la variazione del regime di filtrazione al piede dell'argine consortile durante varie fasi di un ipotetico evento di piena del f. Po.

Tale analisi, effettuata considerando una distanza del nuovo fronte di scavo di 50 m rispetto al piede lato campagna dell'argine, ha la finalità di escludere la possibilità di innesco di fenomeni di sifonamento indotti dalla variazione morfologica prevista in progetto.

2 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

Al fine dell'impostazione della modellazione in oggetto, ci si è riferiti all'insieme di prove geologiche e geotecniche effettuate nel corso della progettualità del nuovo polo estrattivo, riportate nell'immagine seguente.

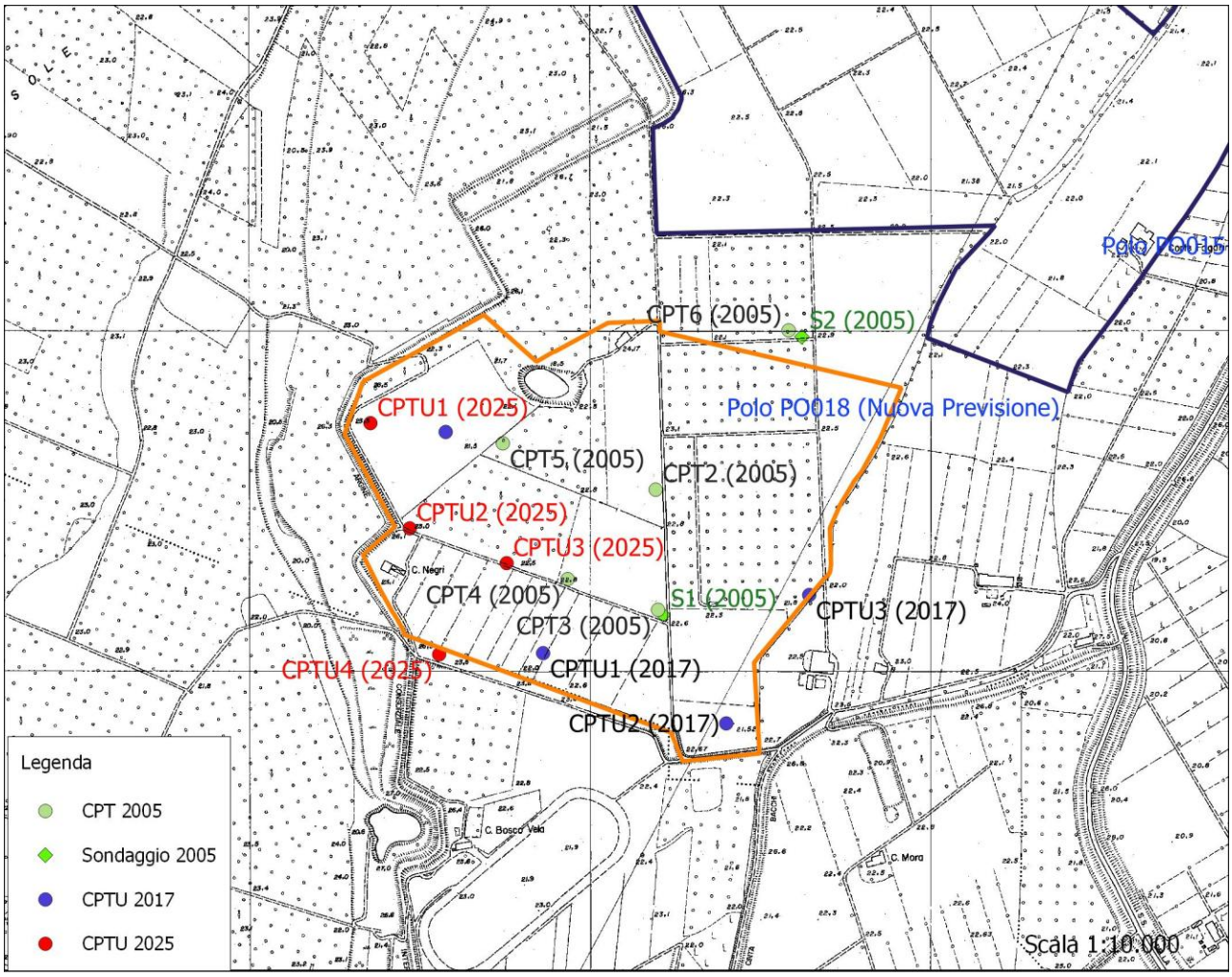


FIGURA 2 – INSIEME DELE PROVE GEOTECNICHE EFFETTUATE IN CORRISPONDENZA DEL NUOVO POLO ESTRATTIVO. L'ARGINE CONSORTILE IN ESAME SI COLLOCA LUNGO IL LIMITE OVEST DEL POLO ESTRATTIVO

Considerata la forte variabilità litologica riscontrata, sia verticale che orizzontale, si ritiene che gli strati argillosi rinvenuti entro 1,5 m dal p.c. attuale, oppure tra 3 – 5 m non siano continui lateralmente; non sono infatti, stati intercettati in tutte le verticali di indagine.

Pertanto, nelle verifiche idrauliche, si ritiene cautelativo considerare che la successione sia costituita da sabbie e sabbie limose, senza orizzonti coesivi.

La stratigrafia-tipo presa a riferimento è, quindi, la CPTU4 perché intercetta terreni sabbiosi privi di strati o lenti impermeabili o a bassa permeabilità di spessore significativo.

La permeabilità assegnata alle sabbie è stata desunta, in via cautelativa dalla sola CPTU 4 per gli strati denominati A e B, mentre quelli delle sabbie limose dalla media statistica (parametro caratteristico) delle permeabilità elaborate dai risultati delle CPTU 2025.

Sono stati definiti gli spessori medi delle alternanze degli strati sabbia/sabbia limosa/ limo delle prove eseguite, riportati nella tabella seguente.

TABELLA 1 - RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E DI PERMEABILITÀ DELLE LITOLOGIE RAPPRESENTATIVE DELL'AREA DI INTERVENTO

Strato	spessore (m)	γ (kN/m^3	Φ (°)	C' (Kg/cm^2)	K (m/sec)	Descrizione
A	Da 1 a 2	1,9	28	0	1,0 E-04	sabbia
B	Da 2 a 5	1.9	28	0	1,14E-05	Sabbia leggermente limosa
C	Da 4 a 6	1,9	28	0	2,27E-05	Sabbia limosa

I rilievi di dettaglio dell'area hanno consentito di ricostruire la morfologia dell'area attuale; unendo le informazioni morfologiche a quelle geolitologiche, è stato possibile ricostruire la sezione tipologica trasversale attuale in corrispondenza della quale effettuare le verifiche di filtrazione.

La geometria e geolitologia della sezione oggetto di verifica, riportata nell'immagine seguente nella configurazione attuale, si estende per oltre 800 m, da circa 120 m lato fiume rispetto all'argine consortile sino a circa 700 m lato campagna rispetto allo stesso, al fine di ricomprendere l'intero polo estrattivo in progetto.

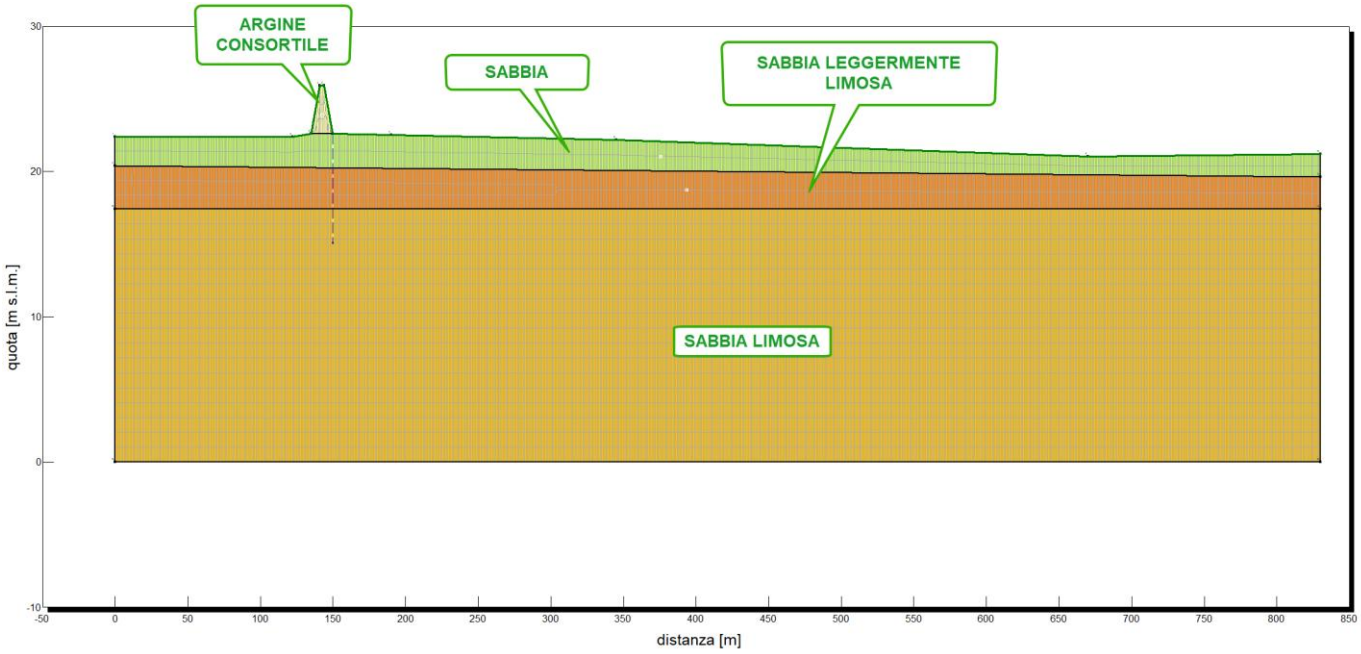


FIGURA 3 – CONFORMAZIONE MORFOLOGICA E GEOLITOLOGICA DELLA SEZIONE DI VERIFICA NELLO STATO DI FATTO

La configurazione di progetto prevede un fronte di scavo inclinato di circa 27°, con una banca intermedia, secondo lo schema rappresentato nell'immagine seguente. Il perimetro di escavazione considerato per le verifiche di filtrazione si colloca a 50 m dal piede lato campagna del rilevato arginale.

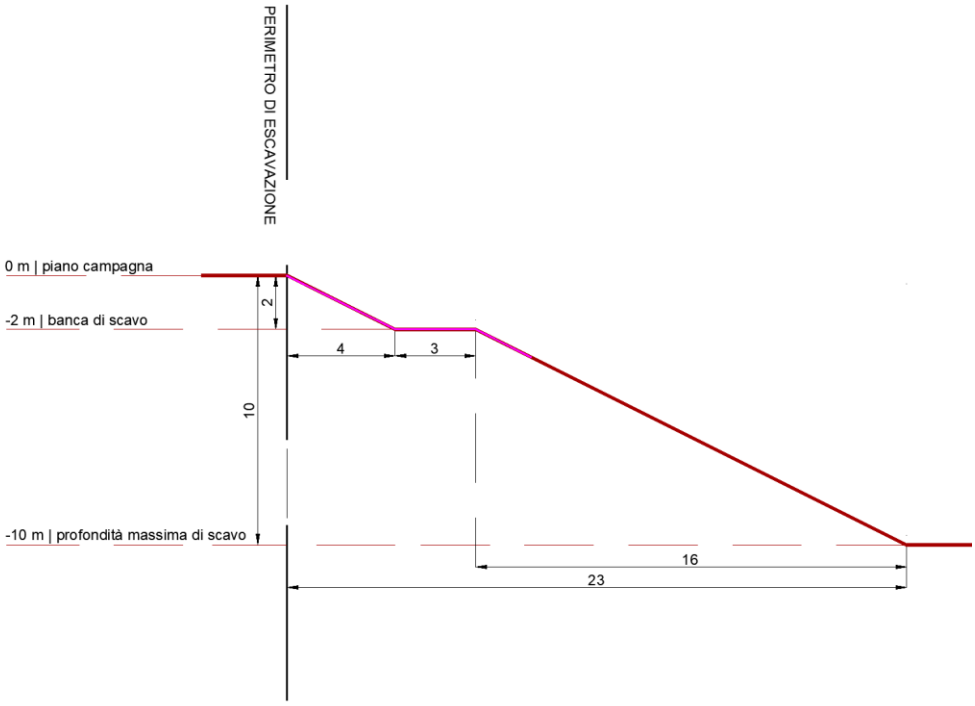


FIGURA 4 – SCHEMA DI PROGETTO DELLA SEZIONE DI SCAVO DEL NUOVO POLO ESTRATTIVO

La configurazione morfologica e geolitologica di progetto che ne consegue, rappresentata nell'immagine seguente, ricomprende l'intero polo estrattivo in progetto. La quota di falda iniziale, ricavata dai livelli rilevati nel corso delle indagini geotecniche, è collocata a 2.20 m di profondità rispetto al p.c. in corrispondenza del rilevato arginale oggetto della presente verifica.

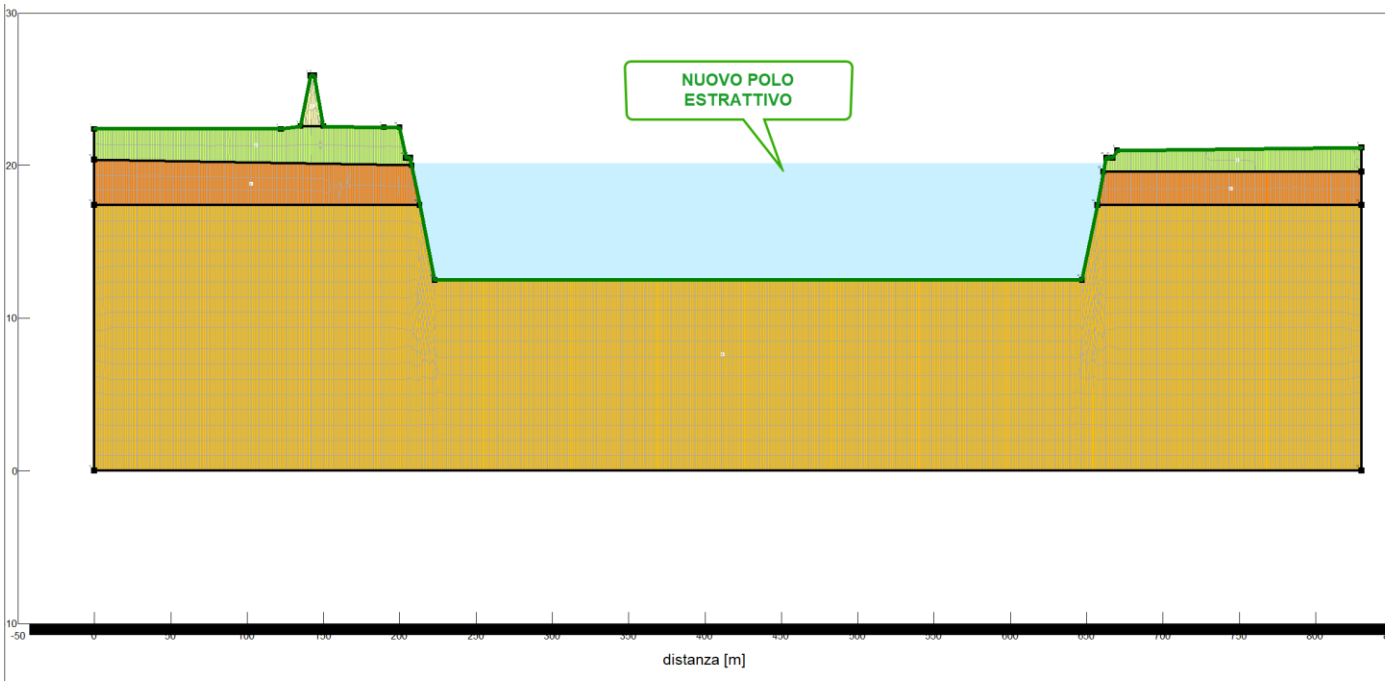


FIGURA 5 – CONFORMAZIONE MORFOLOGICA E GEOLITOLOGICA DELLA SEZIONE DI VERIFICA NELLO STATO DI PROGETTO, CON INDICATI I LIVELLI INIZIALI DI FALDA CONSIDERATI PRIMA DELL'INSTAURARSI DI CONDIZIONI DI PIENA DEL F. PO

3 IL CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

Per effettuare le simulazioni dei processi di infiltrazione è stato impiegato il modello SEEP/W della Geo-Slope, un software agli elementi finiti per l'analisi della filtrazione e delle spinte dovute alle pressioni nei mezzi porosi, sia in condizioni sature che insature, in modalità permanente o, come nel presente caso, variabili nel tempo: in aggiunta alle tradizionali analisi in moto uniforme in campo saturo le formule che SEEP/W utilizza rendono possibile analizzare la filtrazione come funzione del tempo e studiare problemi come quello dell'infiltrazione delle precipitazioni, dei processi di riempimento e svuotamento di bacini di invaso o, come nel caso in esame, dell'evolversi dei processi di filtrazione in occasione di un evento di piena di durata significativa, caratteristico del regime di piena del f. Po.

L'analisi è stata effettuata in regime transitorio, in modo da poter osservare gli incrementi nel tempo delle diverse grandezze caratteristiche del moto di filtrazione e di poter definire il flusso sotterraneo in condizioni di invaso dinamico.

In particolare, è stato imposto il graduale aumento dei livelli idrometrici del f. Po, secondo una durata complessiva dell'evento di piena dell'ordine di una decina di giorni, che rispetta eventi di piena reali, sino ad un livello tale da comportare la tracimazione dell'argine consortile ed il successivo processo di esaurimento della piena; è stato ipotizzato cautelativamente che il rilevato arginale rimanga intatto nonostante la tracimazione, in modo da poter simulare l'intero ciclo di filtrazione derivante dall'incremento dei livelli idrometrici lato fiume e, durante l'esaurimento della piena, il mantenimento di elevati livelli idrometrici lato campagna, con conseguente inversione del moto di filtrazione alla base del rilevato arginale.

Tale condizione si riflette nell'andamento dei livelli idrometrici lato fiume e lato campagna riportati nelle immagini seguenti; lato campagna, in particolare, si instaura un incremento dei livelli idrometrici solo dopo la tracimazione del rilevato arginale, che si mantiene nel tempo alla quota del coronamento arginale anche in fase di esaurimento della piena.

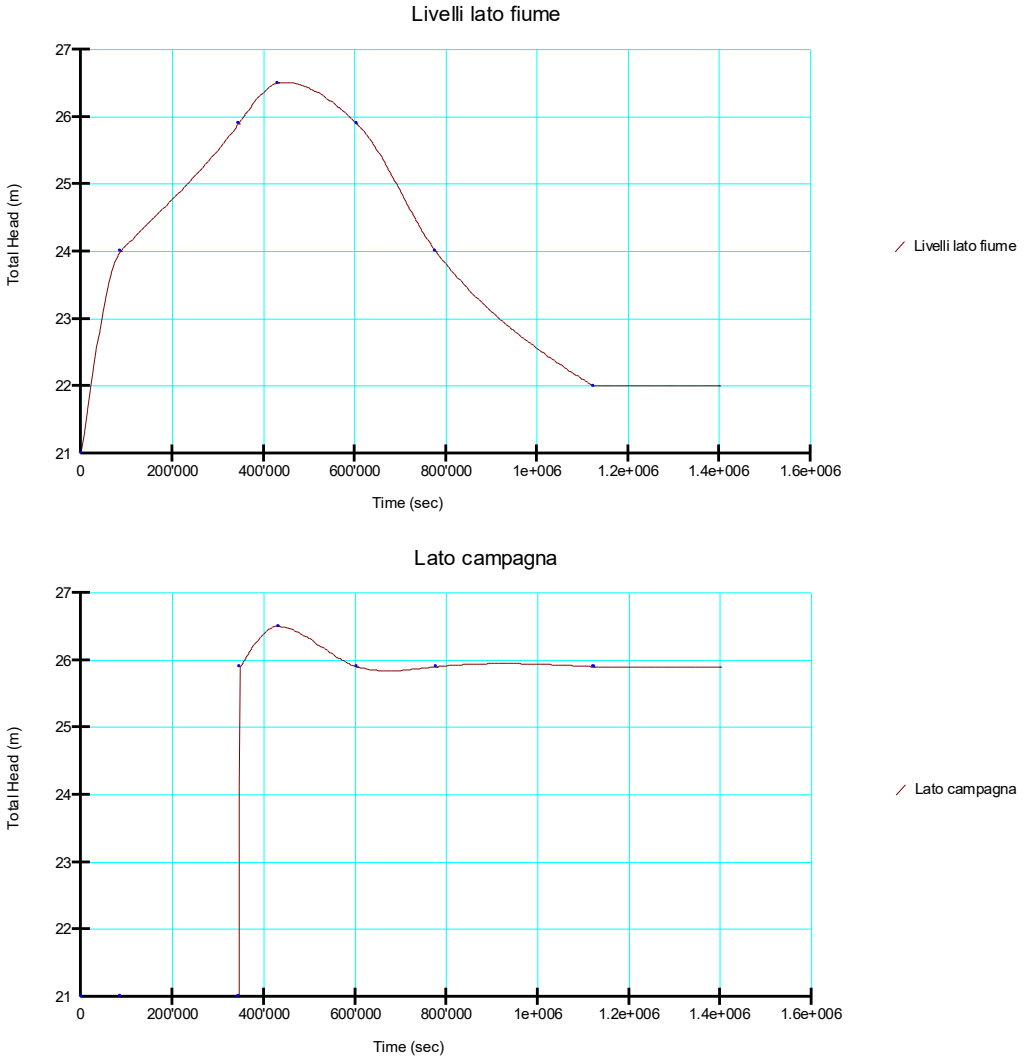


FIGURA 6 – ANDAMENTO DEI LIVELLI IDROMETRICI IMPOSTI LATO FIUME E LATO CAMPAGNA RISPETTO AL RILEVATO ARGINALE OGGETTO DI VERIFICA

Il massimo livello idrometrico, raggiunto dopo cinque giorni di simulazione, è pari a 26.50 m s.l.m., di poco superiore alla quota di coronamento del rilevato arginale consortile in esame, pari a 25.90 m s.l.m. in corrispondenza della sezione di verifica.

Le simulazioni, condotte in regime transitorio, coprono una durata complessiva di 13 giorni, descrivendo l'evolversi del processo di filtrazione sul dominio bidimensionale considerato con una discretizzazione di calcolo a step di 12 ore.

4 RISULTATI DELLE ANALISI DI FILTRAZIONE

Al fine di valutare le eventuali variazioni nel regime di filtrazione subsuperficiale in corrispondenza del rilevato arginale consortile in condizioni di piena del f. Po indotto dal nuovo Polo estrattivo, vengono di seguito illustrate le analisi numeriche effettuale nella configurazione morfologica attuale e, successivamente, nella configurazione di progetto, comparando i risultati ottenuti con particolare riferimento al regime di filtrazione che si instaura al di sotto del piede lato campagna del rilevato arginale.

4.1 SIMULAZIONI NELLO STATO DI FATTO

A livello modellistico, l'analisi del problema di filtrazione è avvenuta impostando una mesh di calcolo bidimensionale costituita da nodi ed elementi di forma quadrangolare o triangolare.

Le condizioni al contorno iniziali coincidono con la linea piezometrica evidenziata dall'attuale falda freatica; successivamente è stato imposto l'aumento del carico idrostatico a monte e valle dell'argine a causa dell'aumento dei livelli idrometrici del f. Po, come illustrato nel capitolo precedente in occasione dell'evento di piena di riferimento.

Le funzioni che legano la permeabilità ed il contenuto volumetrico di acqua in funzione della pressione idrostatica sono state definite basandosi sui risultati delle indagini geologiche e tramite correlazioni con i numerosi dati disponibili in letteratura.

Nelle immagini seguenti sono illustrati i risultati delle elaborazioni per i diversi istanti di tempo in occasione della fase di crescita della piena, della tracimazione arginale e della successiva fase di esaurimento della piena lato fiume, con mantenimento dei livelli di invaso all'interno della golena chiusa.

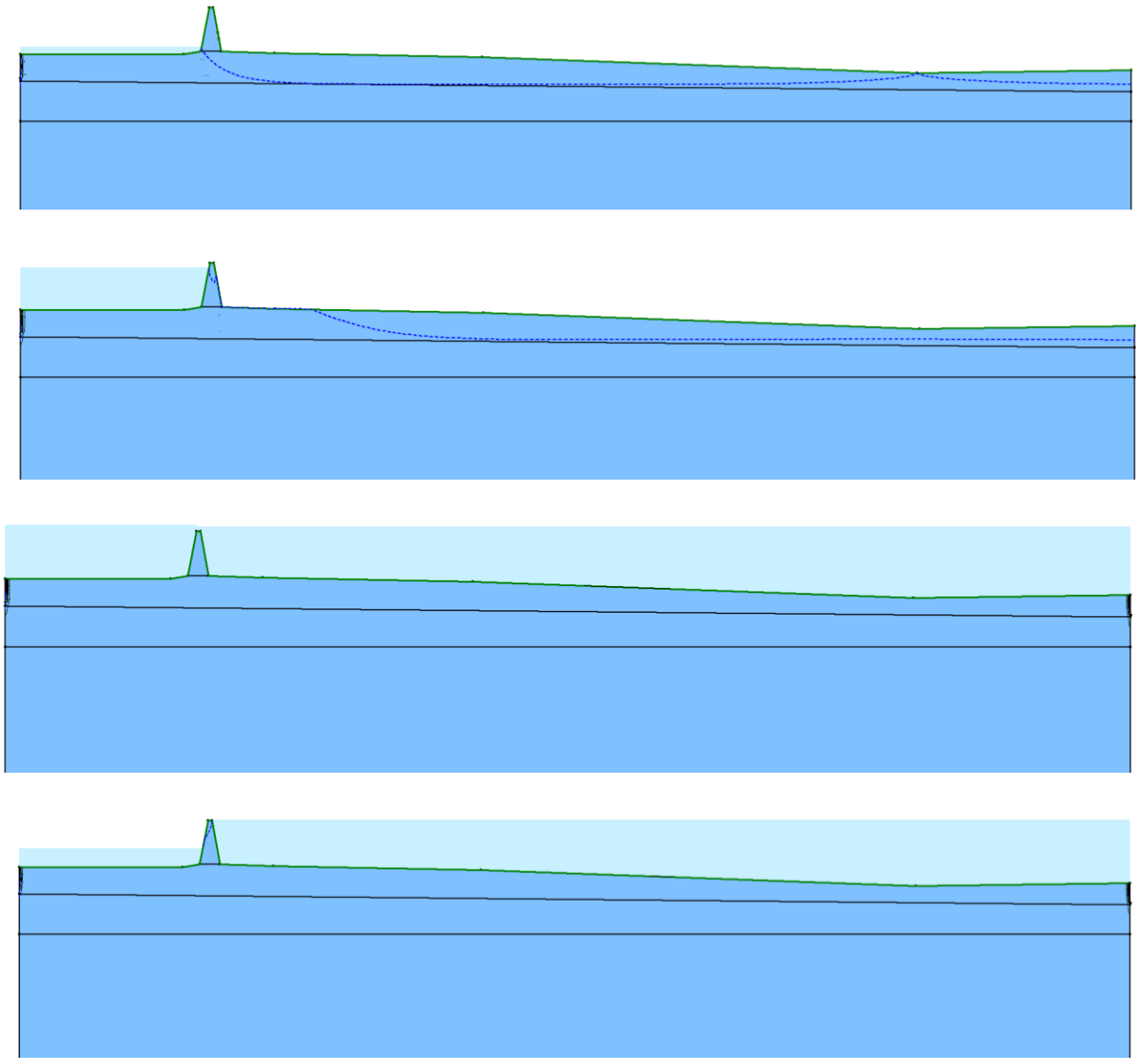


FIGURA 7 – RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'EVOLUZIONE NEL TEMPO DELLE CONDIZIONI DI CARICO IDROSTATICO E DI LIVELLO PIEZOMETRICO A MONTE E VALLE DEL RILEVATO ARGINALE CONSORTILE NELLO STATO DI FATTO

Dati i lughi tempi di evoluzione della piena, una volta verificatasi la tracimazione del rilevato arginale si verifica la saturazione dei terreni anche lato campagna. Andando ad esaminare numericamente il regime di filtrazione al di sotto del rilevato arginale, l'andamento del modulo delle velocità di filtrazione consente di descrivere puntualmente il campo di moto che si viene a creare. In particolare, si ritiene significativo verificare il comportamento del nodo posto a -1.00 m dal p.c. in corrispondenza del piede arginale, rappresentato nell'immagine seguente.

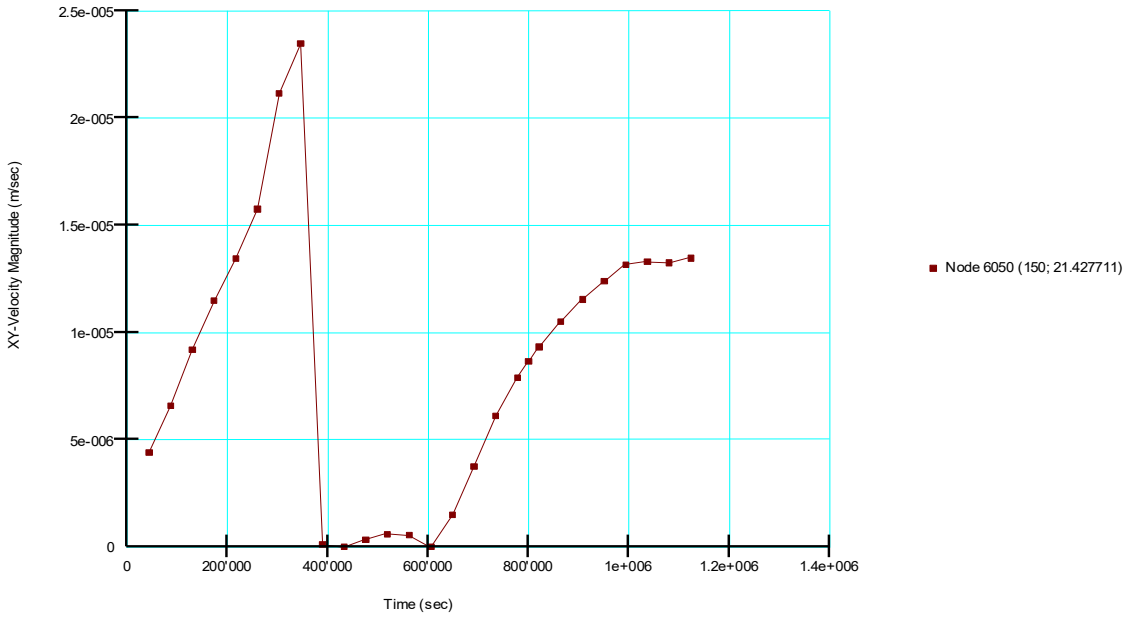


FIGURA 8 – ANDAMENTO NEL TEMPO DEL MODULO DELLE VELOCITÀ DI FILTRAZIONE NELLO STATO DI FATTO IN CORRISPONDENZA DEL PIEDE ARGINALE A -1.00 M DAL P.C.

Nella fase iniziale di incremento dei livelli idrometrici lato fiume, si verifica un crescente moto di filtrazione in direzione monte-valle, che arriva ad azzerarsi al verificarsi della tracimazione arginale, a cui segue un graduale incremento di velocità rappresentative del moto di filtrazione in direzione campagna-fiume durante la fase di esaurimento della piena.

Le massime velocità di filtrazione che si verificano lungo l'intero ciclo simulato sono dell'ordine di $2.5 \bullet 10^{-5}$ m/s.

4.2 SIMULAZIONI NELLO STATO DI PROGETTO E ANALISI COMPARATIVA TRA I DUE SCENARI

Successivamente è stato modellato l'analoga successione di livelli di piena considerando la presenza del futuro scavo legato all'ultimazione del polo estrattivo in progetto. Nelle immagini seguenti sono illustrati i risultati delle elaborazioni per i diversi istanti di tempo in occasione della fase di crescita della piena, della tracimazione arginale e della successiva fase di esaurimento della piena lato fiume, con mantenimento dei livelli di invaso all'interno della golena chiusa.

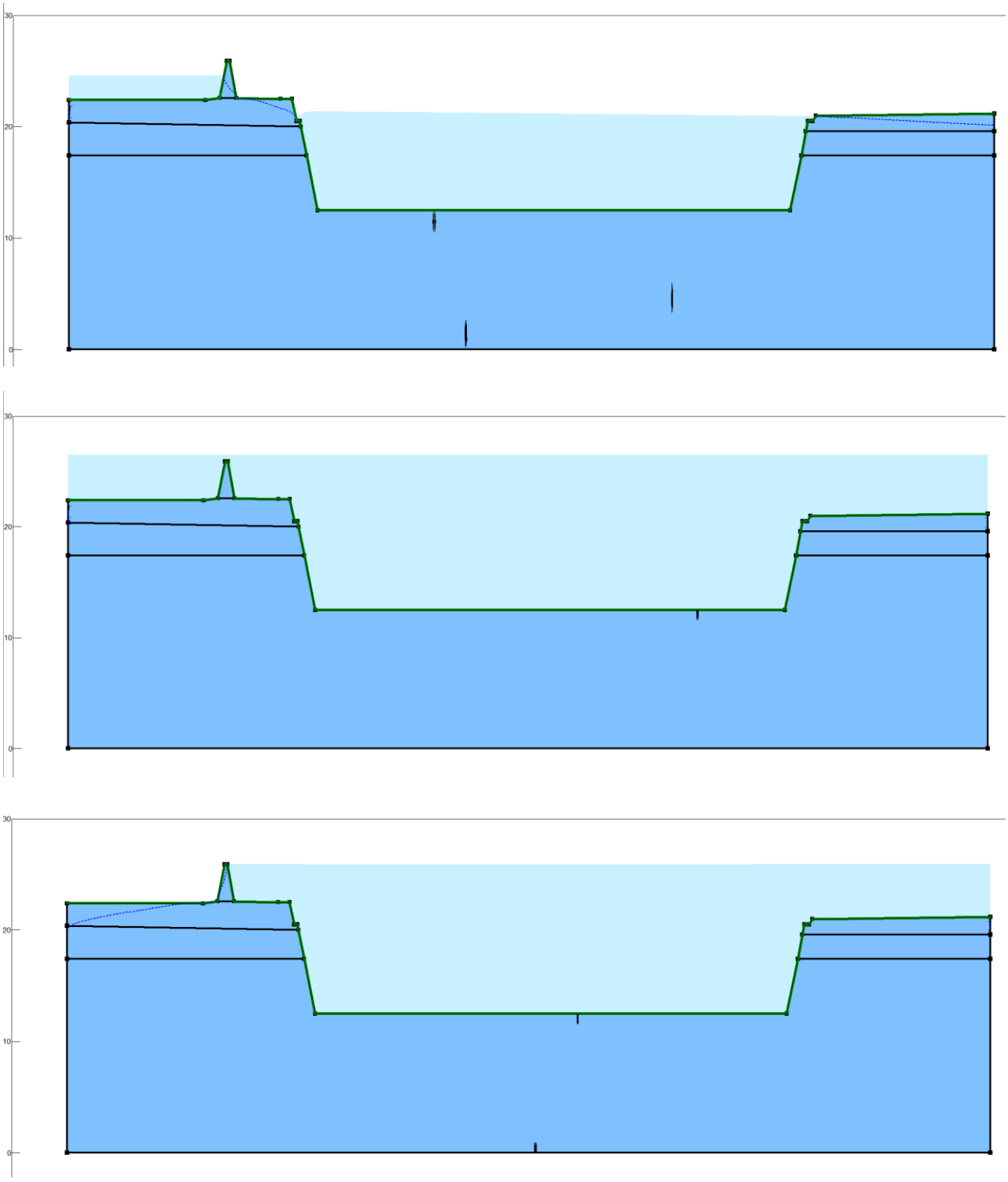


FIGURA 9 – RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELL'EVOLUZIONE NEL TEMPO DELLE CONDIZIONI DI CARICO IDROSTATICO E DI LIVELLO PIEZOMETRICO A MONTE E VALLE DEL RILEVATO ARGINALE CONSORTILE NELLO STATO DI PROGETTO

La presenza dello scavo comporta un più rapido incremento dei livelli di falda lato campagna, legati alla minor resistenza al moto di filtrazione data dallo scavo stesso.

Andando ad esaminare numericamente il regime di filtrazione al di sotto del rilevato arginale, rappresentato nell'immagine seguente per il nodo posto a -1.00 m dal p.c. in corrispondenza del piede arginale, si riscontra un comportamento analogo a quanto risultante nello stato di fatto.

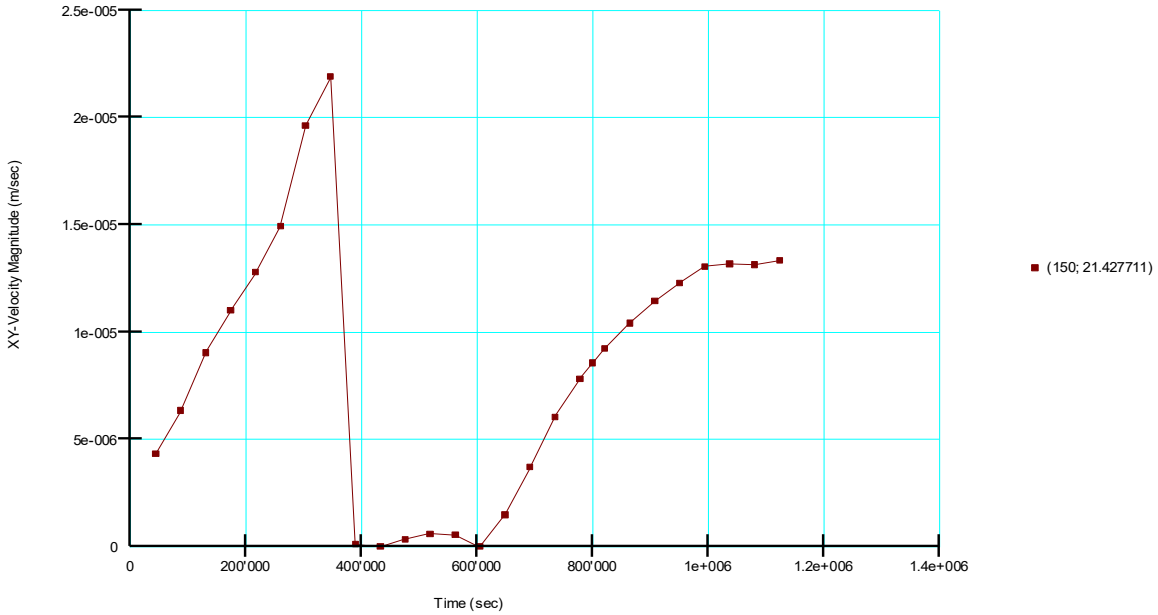


FIGURA 10 – ANDAMENTO NEL TEMPO DEL MODULO DELLE VELOCITÀ DI FILTRAZIONE NELLO STATO DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DEL PIEDE ARGINALE A -1.00 M DAL P.C.

Il grafico seguente riporta puntualmente il confronto tra risultati ottenuti nello stato di fatto e nello stato di progetto. Come si può evincere, il regime di filtrazione si mantiene completamente inalterato, con una leggera riduzione delle massime velocità di filtrazione nello stato di progetto, legate alla maggior resistenza al moto causata dai maggiori livelli piezometrici lato campagna riscontrati poco prima del sormonto arginale; tali maggiori livelli piezometrici derivano, come anticipato, dal più rapido incremento degli stessi a causa della minor resistenza al moto causata dallo scavo.

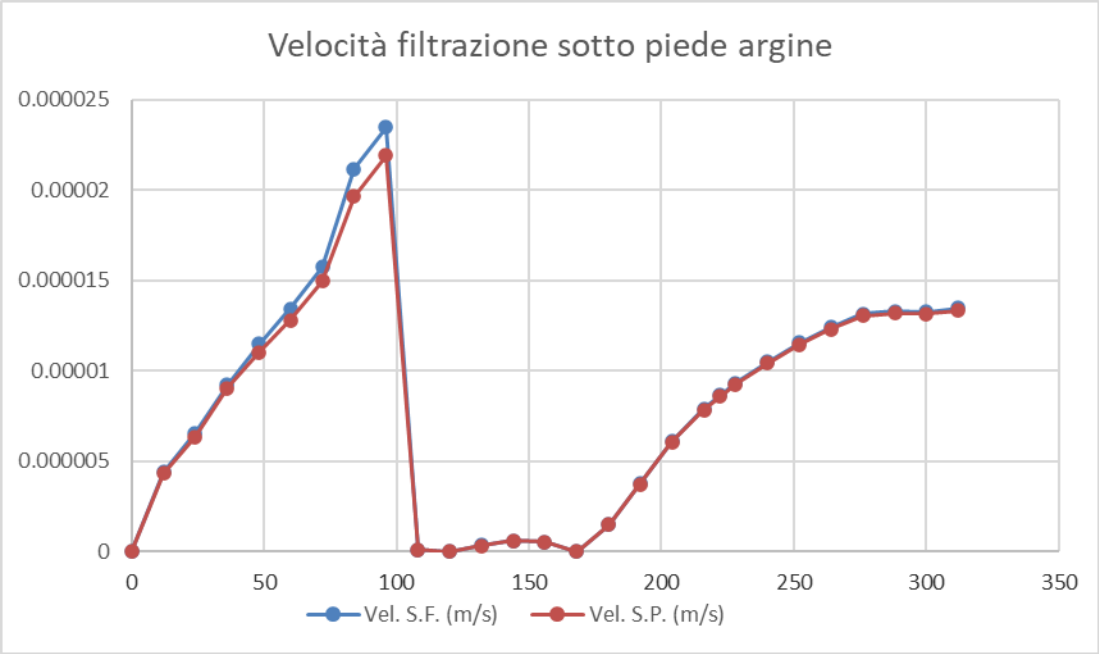


FIGURA 11 – CONFRONTO TRA L'ANDAMENTO NEL TEMPO DEL MODULO DELLE VELOCITÀ DI FILTRAZIONE NELLO STATO DI FATTO E NELLO STATO DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DEL PIEDE ARGINALE A -1.00 M DAL P.C.

5 CONCLUSIONI

Le verifiche esposte hanno permesso di illustrare come la realizzazione del nuovo polo estrattivo, ubicato ad una distanza di 50 m rispetto all'argine consortile in esame, non comporti alterazioni apprezzabili al regime di filtrazione che si instaura al piede del rilevato arginale stesso.

Le analisi numeriche effettuate confermano, quindi, la compatibilità del nuovo intervento, pur senza attestare la stabilità del rilevato arginale in sé, per il quale servirebbero indagini ed analisi dedicate a determinarne l'adeguatezza anche nella condizione morfologica attuale.

In particolare, le analisi comparative illustrate nel presente documento indicano come la distanza di 50 m tra il piede arginale ed il perimetro di escavazione in progetto sia tale da consentire di non alterare le dinamiche idrogeologiche che si potrebbero instaurare in corrispondenza del rilevato arginale anche per un evento di piena del f. Po che comporti il superamento della sommità arginale stessa.

6 PRESCRIZIONI

In fase di progettazione esecutiva del bacino di cava, si ritiene necessario procedere con i seguenti approfondimenti conoscitivi:

- Valutazione sulle condizioni di sifonamento della porzione centrale della cava in cui rimarrà posizionato il traliccio della linea elettrica
- Valutazione di stabilità di tale porzione centrale in funzione delle dinamiche di riempimento del bacino e delle piene del fiume Po
- Valutazione della stabilità dell'argine golenale esterno in condizioni di piena del fiume Po, in caso o meno di sormonto dello stesso, in funzione della dinamica delle piene del Po
- Approfondimento sulle condizioni idrauliche superficiali e subsuperficiali indotte dall'eventuale presenza residua di coltivazioni di pioppo tra l'argine golenale e il bacino di cava
- Prima dell'esecuzione dell'opera, esecuzione di opportuni approfondimenti mediante indagini mirate e verifiche di filtrazione che tengano conto anche delle fasi intermedie di realizzazione del polo estrattivo, al fine di garantire l'effettiva assenza di possibili perturbazioni