



# AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po



COMUNE DI STAGNO LOMBARDO  
Provincia di Cremona

SETTORE POLITICHE ENERGETICHE PATRIMONIO AMBIENTE SERVIZI LAVORI PUBBLICI

Commessa:

## **CR-E-815 Rifacimento chiavica del Fossadone sull'Argine Maestro sinistro del fiume Po in Comune di Stagno Lombardo (CR) - Cod OPERA 936 - CUP B53H19000290002 - CIG 82186558A7**

Livello di progettazione

**PROGETTO ESECUTIVO**

**STRALCIO 1**



©I.S.I. Ingegneria e Ambiente  
Ing. Gian Lorenzo Bernini - Ing. Rosaria Ragazzini  
Via Martiri della Liberazione, 36 - 43126 Vicoforte (PR)  
cod.fisc. e P.I. 02577010347  
Tel. 0521 941229 - info@isiingegneriaeambiente.it

Progettazione

Ing. Gian Lorenzo Bernini  
Ing. Rosaria Ragazzini

Titolo

**Relazione idraulica di dimensionamento e  
gestione dell'impianto di sollevamento**

Numero

**2020-815-CR-IDRR1**

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
02	28.08.2020	Aut. Paesaggistica	RR	RR	FA
03	23.12.2020	Progetto Definitivo	RR	RR	FA
04	31.03.2021	Progetto Esecutivo	RR	RR	FA
05	25.05.2021	Validazione	RR	RR	FA

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge, di questo elaborato è vietata la riproduzione e la cessione a terzi senza esplicita autorizzazione

## Sommario

1	PREMESSA .....	2
2	INQUADRAMENTO GENERALE .....	3
2.1	Struttura idraulica esistente di compartimentazione e regolazione.....	3
2.2	Caratterizzazione idrogeologica e idraulica del sito .....	4
2.2.1	Il fiume Po .....	5
2.2.2	Reticolo idrografico Fregalino-Fossadone .....	6
3	IL NUOVO MANUFATTO IN PROGETTO .....	7
3.1	Struttura di alloggiamento delle paratoie .....	9
3.1.1	Le nuove paratoie di compartimentazione.....	9
3.2	Vasca di adduzione delle pompe.....	10
3.3	Manufatto a protezione delle tubazioni in sommità arginale .....	11
3.4	Manufatto di recapito di valle .....	11
3.4.1	Predisposizione dei supporti per le tubazioni DN800 .....	12
4	IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO .....	13
4.1	Condizioni di funzionamento – Criteri di dimensionamento .....	14
4.1.1	Dati di dimensionamento.....	14
4.1.2	Calcolo perdite di carico.....	14
4.2	Elettropompe sommergibili ad elica .....	18
4.2.1	Dati caratteristici .....	18
4.2.2	Materiali.....	18
4.2.3	Accessori.....	19
4.2.4	Motore elettrico – Dati tecnici .....	19
4.3	Allestimento della camera di aspirazione .....	20
4.4	Tubazioni di mandata .....	21
4.5	Valvola di disadescamento sifone .....	21
4.6	Tubo contenitore.....	21
4.7	Quadro di comando e controllo – Automazione dell'impianto .....	22
4.8	Griglia selettiva a protezione del varco pompe .....	22
5	ANALISI RISCHIO IDRAULICO .....	24
5.1	TR100 – Portata 7,5 m³/s.....	24
5.2	TR100 – Portata 5 m³/s.....	27
5.3	TR100 – Portata 2,5 m³/s.....	30
6	OPERE PROVVISORIALI .....	33
6.1	Calcolo della portata di deflusso.....	33
6.2	Dimensionamento della tura .....	34

## 1 PREMESSA

I lavori riguardano la messa in sicurezza della confluenza idraulica del cavo Fossadone a Po mediante rifacimento del sistema di compartimentazione sull'argine Maestro di Po e realizzazione di impianto di sollevamento delle portate del cavo. Il nuovo sistema di regolazione e sollevamento sarà ubicato a monte dell'esistente che verrà mantenuto come ulteriore presidio di sicurezza. Il livello di progettazione Preliminare con relativa valutazione di fattibilità tecnico-economica ha consentito di definire e consolidare gli obiettivi e le soluzioni tecniche da sviluppare nei successivi livelli di progettazione.

La presente relazione ha lo scopo di presentare il dimensionamento del sistema di sollevamento delle portate in arrivo dal cavo Fossadone in concomitanza di livelli di Po tali da dover prevedere la chiusura delle paratoie e in ogni caso quando i livelli di Po non consentono il libero deflusso del cavo Fossadone.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

I lavori in oggetto sono localizzati nell'area sud-occidentale del comune di Stagno Lombardo e, precisamente, sulla chiavica del Fossadone sull'argine maestro di Po.

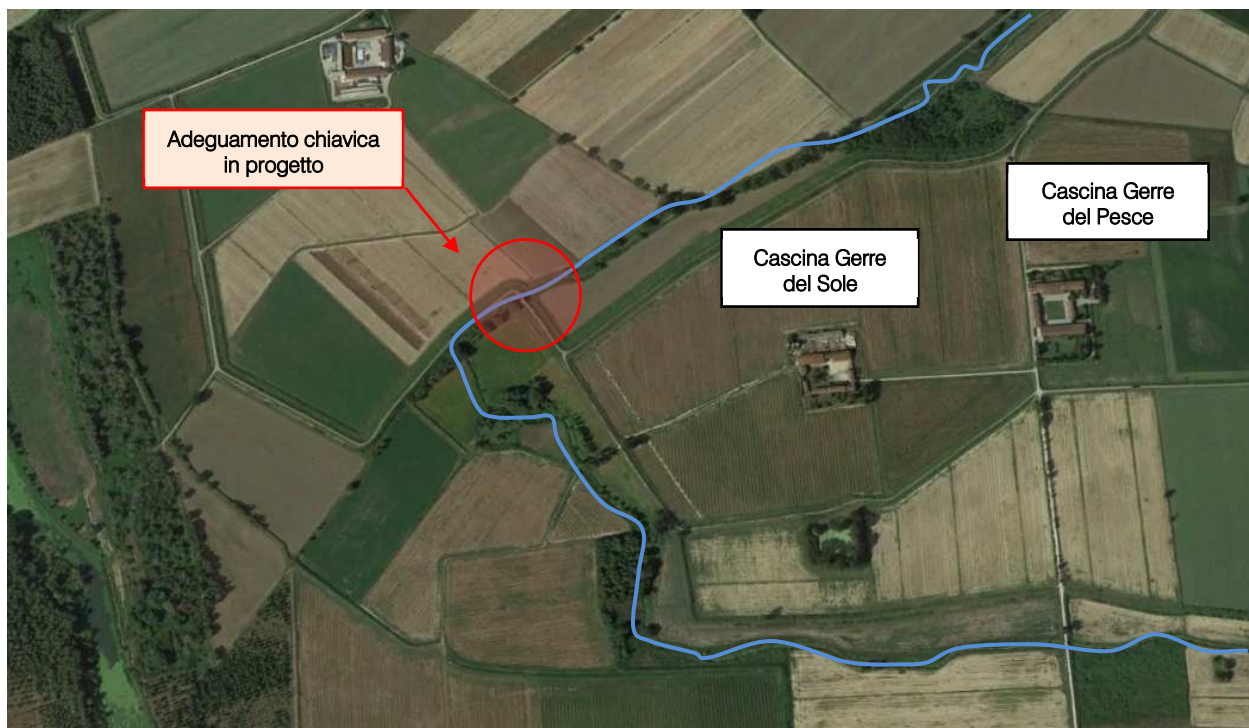


Figura 1: Inquadramento della zona d'intervento.

Il cavo Fossadone raccoglie i contributi di altri corsi d'acqua tra cui alcuni colti (Fregalinetto, Paloschino, Gambara, Reale, Realino) e altri corsi d'acqua aventi anche funzione irrigua (Palosca, Canziana, Bissolina) oltre gli scarichi di troppo pieno di molte altre rogge che distribuiscono l'acqua per uso irriguo.

L'ultimo tratto del cavo Fossadone scorre prevalentemente sul sedime di vecchi meandri del fiume Po, oggi esterni all'argine maestro e scarica le proprie acque pochi chilometri più a sud, dopo aver oltrepassato il manufatto chiavicale antirigurgito oggetto dell'intervento di adeguamento.

### 2.1 Struttura idraulica esistente di compartimentazione e regolazione

Nell'assetto attuale lo scarico del Fossadone in Po è regolato da una chiavica a tre luci, ognuna di 2,0 m di larghezza, presidiate da un semplice ordine di paratoie metalliche manuali. La quota arginale in corrispondenza della chiavica è pari a circa 38,10 m s.l.m., inferiore di circa 1,0 m rispetto alla sommità arginale adiacente, e per tale motivo l'impostazione del piano del manufatto esistente risulta ad una quota arginale non adeguata agli eventi di piena registrati negli anni 1951-1994-2000.

Il sito d'intervento è posizionato in prossimità della sezione 27B del Catasto delle Arginature Maestre del Fiume Po con quota idrometrica di riferimento PAI per TR200 pari a 38,17 m s.l.m.. La sommità arginale adiacente al manufatto presenta, infatti, quota 39,20 m s.l.m. adeguata al livello idrometrico TR200 con 1,0 m di franco



Il sistema è sprovvisto d'impianto di sollevamento e di monitoraggio da remoto dei livelli idrometrici, con relativa impossibilità di regolazione da remoto del sistema di paratoie.



Figura 2: Chiavica esistente del Fossadone.

## 2.2 Caratterizzazione idrogeologica e idraulica del sito

La situazione è quella tipica dell'Unità idrogeologica del fiume Po in cui si può riconoscere la presenza di un unico acquifero impostato nei depositi sabbiosi che sono disposti in lenti con caratteristiche granulometriche e di contenuto di matrice molto variabile. All'interno dello stesso acquifero si verificano, dunque, significative differenze di permeabilità con conseguenti riflessi sull'idrodinamica. Il limite superiore dell'acquifero è costituito dalla copertura limo-argillosa che aumenta di spessore all'aumentare della distanza dal fiume Po. Il letto dell'acquifero, invece, è posto a profondità di 40 - 50 m dal piano campagna. Nella fascia di meandreggiamento del Po l'acquifero è di tipo freatico, con sede nei depositi sabbiosi che si estendono pressoché indifferenziati in profondità fino a circa 40 m.

Il fiume Po influenza notevolmente il flusso sotterraneo, infatti, coincide con un asse di drenaggio. La situazione si capovolge in occasione dei periodi di piena, in cui il corso d'acqua ricarica la falda. Il fiume, infatti, costituisce, per il sistema acquifero ad esso collegato un limite a potenziale imposto; il livello idrometrico si deve sempre raccordare alla superficie piezometrica della falda. In sintesi, riguardo ai rapporti fiume falda si possono identificare 2 diverse fasi:

- Fase di scarico (regime normale): in cui i livelli freatici sono costantemente ad una quota superiore ai livelli idrometrici, per cui si ha un flusso dalla falda al fiume. È la situazione più frequente in quanto coincide con i periodi di abbassamento e di stazionarietà prolungata delle quote idrometriche, durante i quali il corso d'acqua costituisce il livello di base della falda.
- Fase di ricarica: in cui si assiste all'inversione del flusso idrico che assume direzione dal fiume alla falda. Tale fase si verifica durante l'arrivo dell'onda di piena quando all'innalzamento dei livelli idrometrici corrisponde una variazione più lenta dei livelli freatici, a causa della perdita di carico indotta dalla filtrazione nelle sabbie. Gli incrementi della quota della falda, risultano, in funzione della distanza dal corso d'acqua, di ampiezza minore e sfasati nel tempo, rispetto a quelli del fiume.

### 2.2.1 Il fiume Po

Il tratto di fiume Po interessato è quello compreso tra la sezione 27 (monte) e 28 (valle) e per la definizione dei livelli idrometrici, in questa fase progettuale, si è utilizzata la sezione 27B.

Il posizionamento delle sezioni di riferimento e i livelli idrometrici corrispondenti sono tratti da “Aggiornamento catasto arginature maestre del fiume Po” dell’Autorità di Bacino del Fiume Po.

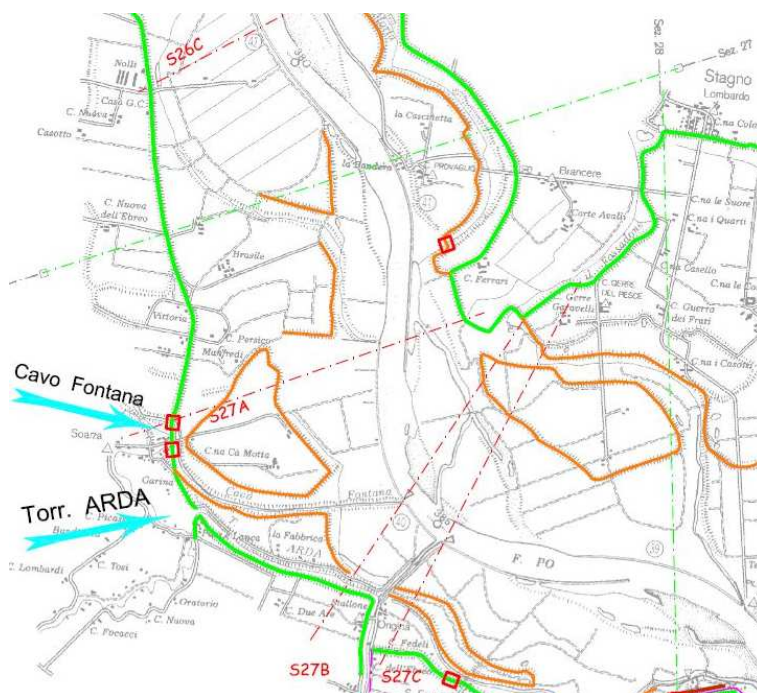


Figura 3: inquadramento sezioni fiume Po nell'area di interesse.

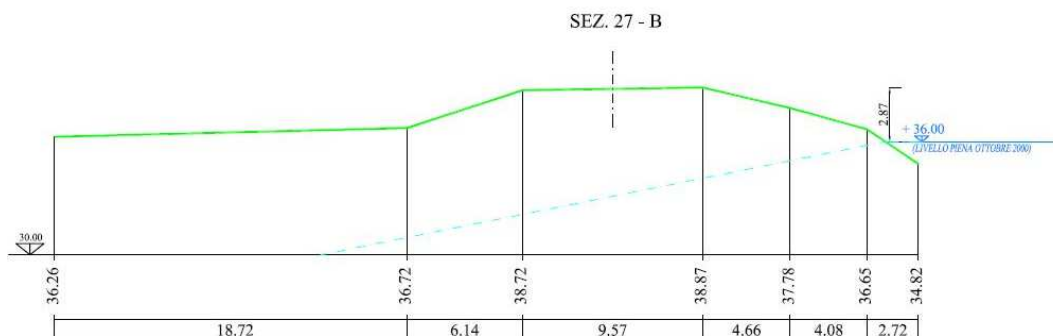


Figura 4: Sezione 27B.

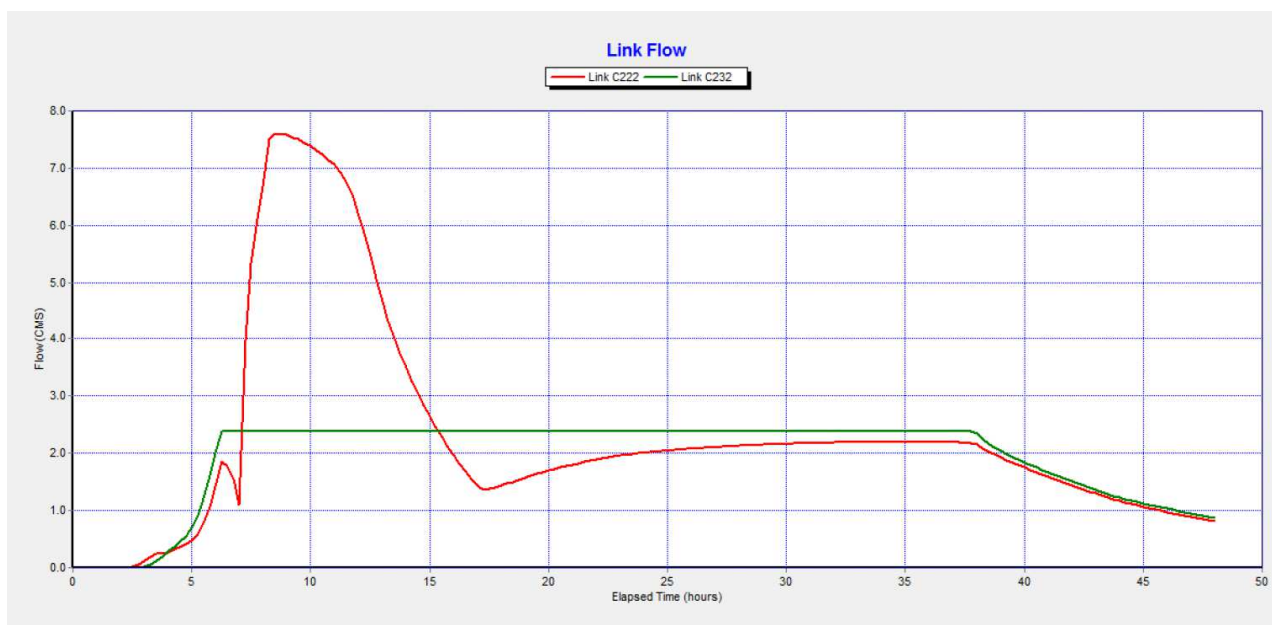
In particolare si riportano di seguito i livelli idrometrici alla sezione 27B:

- 38,10 m s.l.m. (Studio SIMPO 82)
- 38,17 m s.l.m. (PAI TR200)
- 36,00 m s.l.m. (Piena ottobre 2000)

Le verifiche di filtrazione sono state realizzate utilizzando il livello della piena con TR200 anni definito nel PAI.

## 2.2.2 Reticolo idrografico Fregalino-Fossadone

Nell'area del territorio cremonese orientale l'insieme dei corsi d'acqua si configura come una rete idrica collegata tramite innumerevoli opere di presa, scolmatori, confluenze, derivazioni, in buona parte gestiti dal Consorzio Dugali. Il corso d'acqua principale è rappresentato dal cavo Fregalino, che prosegue immettendosi nel cavo Bonetti e quindi nel **Fossadone** per scaricare, infine, le proprie acque nel fiume Po. Il Fossadone scorre prevalentemente sul sedime di vecchi meandri del fiume Po, oggi esterni all'argine maestro, e scarica le proprie acque pochi chilometri più a sud, dopo aver oltrepassato il manufatto chiavicale antirigurgito oggetto di intervento. L'individuazione del reticolo idrografico afferente al cavo Fossadone e la valutazione delle portate transitanti alle sezioni di interesse ha fatto riferimento allo studio di *"Riduzione del rischio idraulico per i territori della Provincia di Cremona afferenti al reticolo idrico principale Fregalino-Fossadone e che coinvolge parte dei comuni del territorio cremonese orientale"*, redatto dallo studio Telò nel Maggio 2012 e in particolare alla *"Relazione idrologica e idraulica"*. Il cavo Fossadone raccoglie i contributi di altri corsi d'acqua tra cui alcuni colli (Fregalinetto, Paloschino, Gambara, Reale, Realino) e altri corsi d'acqua aventi anche funzione irrigua (Palosca, Canziana, Bissolina) oltre ovviamente agli scarichi di troppo pieno di molte altre rogge che distribuiscono l'acqua per l'irrigazione. Il reticolo principale determina allo stato attuale condizioni di rischio idraulico per i territori attraversati, così come testimoniato dalle numerose esondazioni avvenute il 4-5 maggio e 15-16 giugno 2010 che hanno interessato la quasi totalità degli abitati della pianura cremonese orientale. Nella relazione sopra citata, viene definito il bacino idrografico del cavo Fossadone e i bacini dei canali ad esso affluenti, oltre che degli altri corsi d'acqua del reticolo secondario del cremonese, e sono in particolare calcolate, mediante modellazione idraulica condotta con il supporto del software di calcolo afflussi-deflussi SWMM, le portate transitanti nei rispettivi canali in corrispondenza delle sezioni di interesse. Ai fini delle analisi progettuali illustrate nella presente relazione viene in particolare considerata la portata corrispondente ad un evento di pioggia con tempo di ritorno pari a 100 anni, in corrispondenza della sezione denominata FoS10, ovvero in corrispondenza della struttura chiavicale esistente. Tale portata di punta è stata calcolata pari a 7,5 m<sup>3</sup>/s; nella figura seguente, dalla relazione sopra citata, si riporta l'idrogramma di piena (in rosso) calcolato per la sezione considerata e in verde per la sezione di monte in corrispondenza della carraia interpodereale in località Cascina S.Giovanni.



**Figura 5: idrogramma di piena con TR100 anni alla chiavica esistente (rosso) e alla località Cascina S.Giovanni (verde)**

### 3 IL NUOVO MANUFATTO IN PROGETTO

L'esigenza di dotare l'impianto della possibilità di smaltimento delle portate del Fossadone in occasione delle piene del Po, allorché lo scarico a gravità risulti impedito, e la necessità di migliorare sotto il profilo della sicurezza funzionale la gestione del sistema, ha portato ad individuare una pluralità di interventi che di seguito vengono prospettati.

Per migliorare la sicurezza funzionale del nodo idraulico e della chiavica esistente è stata prevista la realizzazione di un nuovo manufatto principale di regolazione e sollevamento posto a monte dell'esistente, comprensivo delle camere di aspirazione delle pompe, in particolare:

1. Nuovo locale per l'alloggiamento di ulteriori tre paratoie in linea con le esistenti, con movimentazione e regolazione a motore, anche da remoto, così da garantire un doppio scudo di compartimentazione sull'arginatura maestra. Il sistema di paratoie esistenti avrà così funzione di riserva per maggiore sicurezza del nodo idraulico del Fossadone.
2. Nuovo locale con impianto di sollevamento delle portate del cavo Fossadone con installazione di una coppia di pompe sommerse (1+1) da 1.000 l/s con piano di manovra di sommità arginale e alloggiate in apposite camere di aspirazione posizionate in sponda sinistra del cavo Fossadone, protette da griglie selettive inclinate;
3. Nuovo edificio di controllo con alloggiamento del gruppo elettrogeno di alimentazione del sistema e delle dotazioni impiantistiche di controllo da remoto;
4. Allestimento di un impianto di monitoraggio dei livelli di Po e di Fossadone con installazione di misuratori di livello corredati da un impianto di trasmissione delle letture;
5. Formazione di un rilevato arginale di ringrosso e rialzo dell'esistente, in affiancamento a quest'ultimo, con deviazione della pista di sommità arginale in corrispondenza del nuovo impalcato carrabile di pertinenza della struttura in progetto e adeguamento in quota al livello idrometrico del PAI per TR200 con franco di 1,0 m.



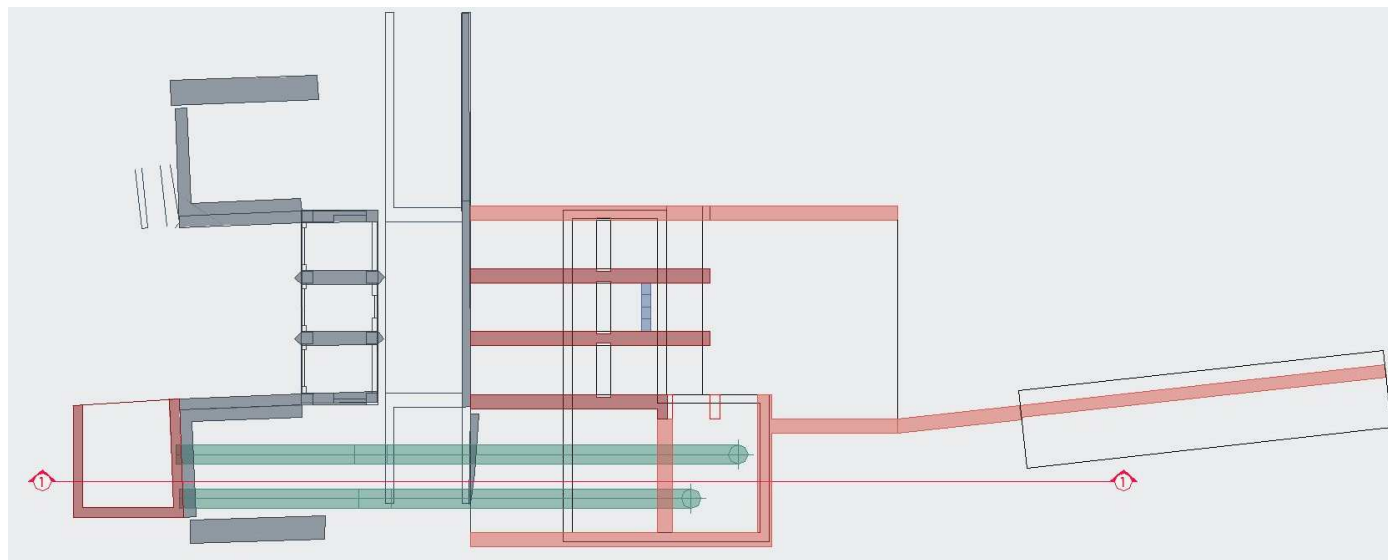
Figura 6: Indicazione delle opere strutturali del complesso principale e manufatti accessori



Il sito d'intervento, come già ricordato, è posizionato in prossimità della sezione 27B del Catasto delle Arginature Maestre del Fiume Po con quota idrometrica di riferimento PAI per TR200 pari a 38,17 m s.l.m..

La sommità arginale adiacente al manufatto presenta, infatti, quota 39,20 m s.l.m. adeguata al livello idrometrico TR200 con 1,0 m di franco.

La soluzione progettuale adottata prevede la camera di aspirazione e l'impianto di sollevamento laterale in sponda sinistra Fossadone con recapito di valle (lato fiume Po) sempre in sinistra idraulica.



**Figura 7: Soluzione progettuale**

Tale scelta, seppure non ottimale per quanto riguarda il livello prestazionale dell'impianto di sollevamento (con particolare riferimento al caso in cui entrambe le pompe lavorino contemporaneamente), è stata giustificata da:

- La non attivazione contemporanea di entrambe le pompe;
- Migliore gestione delle manutenzioni delle griglie selettive con giacitura laterale rispetto al posizionamento frontale;
- Minore ingombro, sia in sezione Fossadone sia lungo l'arginatura maestra di Po, dell'assetto impiantistico.

La scelta progettuale di conservazione del manufatto esistente ha comportato un assetto progettuale della infrastruttura di regolazione e sollevamento in cui:

- Il sistema di paratoie presenti nel manufatto di regolazione attuale serve da presidio di sicurezza in caso di avaria o manutenzione del sistema principale a progetto;
- L'attraversamento su ponte ad arco diventa elemento funzionale al percorso ciclo-pedonale di sommità arginale.

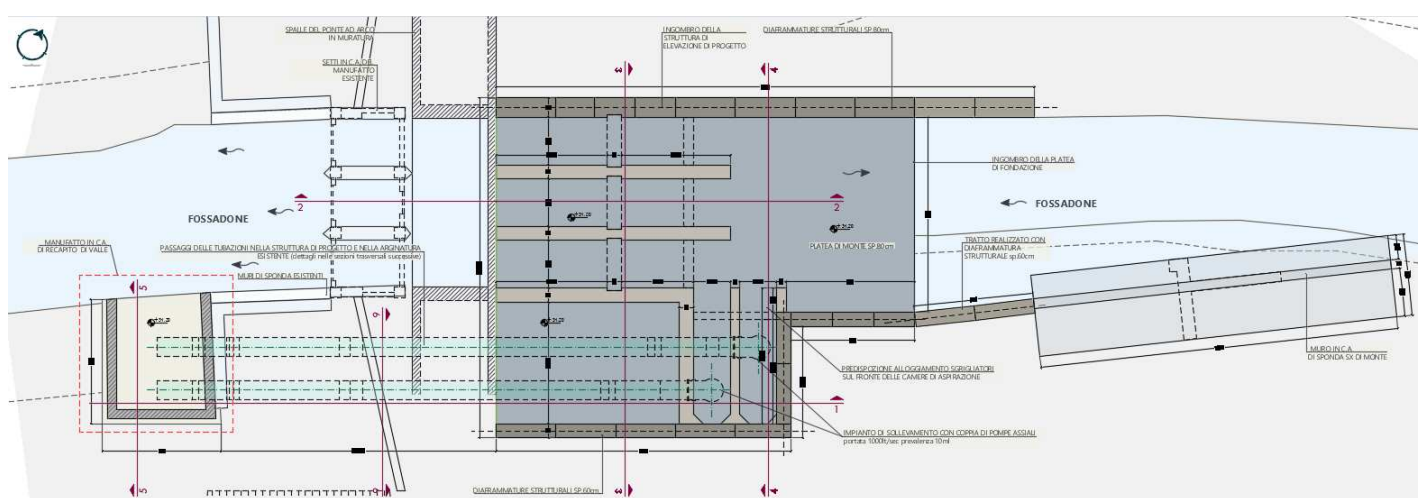
Si riporta nel seguito la descrizione dei principali comparti idraulici.

### 3.1 Struttura di alloggiamento delle paratoie

La struttura di alloggiamento delle paratoie della chiavica è fondata su diaframmi strutturali in conglomerato cementizio armato realizzati in opera con elementi modulari di spessore  $s=0,60-0,80$  m i quali, a partire da piano campagna (quota 34,40 m s.l.m. circa), si spingono fino a -11,20 m al di sotto della quota di fondo del cavo Fossadone (31,20 m s.l.m. circa) per una lunghezza di 15 m, con quota di imposta dei diaframmi pari a 20 m s.l.m..

Poiché tra le funzioni strutturali di tali elementi è anche quella di proteggere e migliorare la sicurezza e la stabilità delle arginature allo sbocco del Fossadone, verrà prestata la massima cura nella realizzazione delle giunzioni tra concio e concio, garantendo al meglio la tenuta idraulica del collegamento (ad es. secondo unioni tipo “maschio-femmina”).

Tali diaframature saranno realizzate da un piano di lavoro provvisorio previsto alla quota del piano campagna di monte, con scavo a vuoto di circa 4 m sino alla formazione della diaframatura dal piano della futura platea di fondo, caratterizzata da una quota di estradosso di 31,20 m s.l.m.



**Figura 8: Organizzazione delle strutture di elevazione**

Completata la realizzazione delle diaframature, si procederà alla formazione per conci (lavorando da sponda destra e da sponda sinistra del Fossadone) della platea di fondazione e dei setti di elevazione con banchinaggio delle travature trasversali d'irrigidimento e dei solai in quota. Questi ultimi potranno quindi essere convenientemente realizzati mediante posa di elementi prefabbricati autoportanti tra i setti di elevazione.

#### 3.1.1 Le nuove paratoie di compartimentazione

Le tre nuove paratoie di compartimentazione hanno dimensioni nette pari a 2000x7600 mm con scorrimento verticale e tenuta su 3 lati. Sono costituite da uno scudo di tenuta monolitico spessore 6 mm con telaio di irrigidimento in UPN200, gargami di scorrimento e telaio in acciaio zincato a caldo. Le paratoie avranno corsa utile di 4,0 m e sono regolate da doppia vite di manovra non saliente in acciaio inox AISI 303, dotate di riduttore e motorizzate. La tenuta laterale e di fondo su battuta rettificata è garantita da profili in teflon e guarnizioni a virgola in neoprene fissati con piatti e viti in acciaio inox AISI 420B. Il trattamento protettivo relativo alle parti non inossidabili mediante sarà tramite sabbiatura delle superfici fino al grado SA 2 secondo ISO 8101-1 e zincatura a caldo con prima mano di primer di interfaccia a base di resine epossidiche e due mani di vernice epossidica bicomponente applicata tramite metodo airless con spessore medio di 70 micron.

### 3.2 Vasca di adduzione delle pompe

Il corpo di fabbrica dedicato all'allestimento dell'impianto di sollevamento sarà adiacente al manufatto centrale di alloggiamento delle paratoie. Il nuovo impianto di sollevamento sarà realizzato in sponda sinistra del Fossadone in prossimità dell'argine del fiume e sarà dimensionato per ospitare 2 elettropompe del tipo sommergibile monoblocco, ognuna della portata di  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ . La vasca di adduzione verrà realizzata presso l'argine sinistro del Fossadone con piano di manovra posto in sommità arginale maestra Po (quota 39,20 m s.l.m.).

Tali dislivelli fanno sì che l'altezza massima del manufatto sia pari a 8,0 m ( $39,20 \div 31,20 \text{ m s.l.m.}$ ) con formazione delle strutture di elevazione "entro" e "fuori" alveo Fossadone con modalità analoghe a quanto descritto per il corpo di fabbrica centrale di alloggiamento delle paratoie.

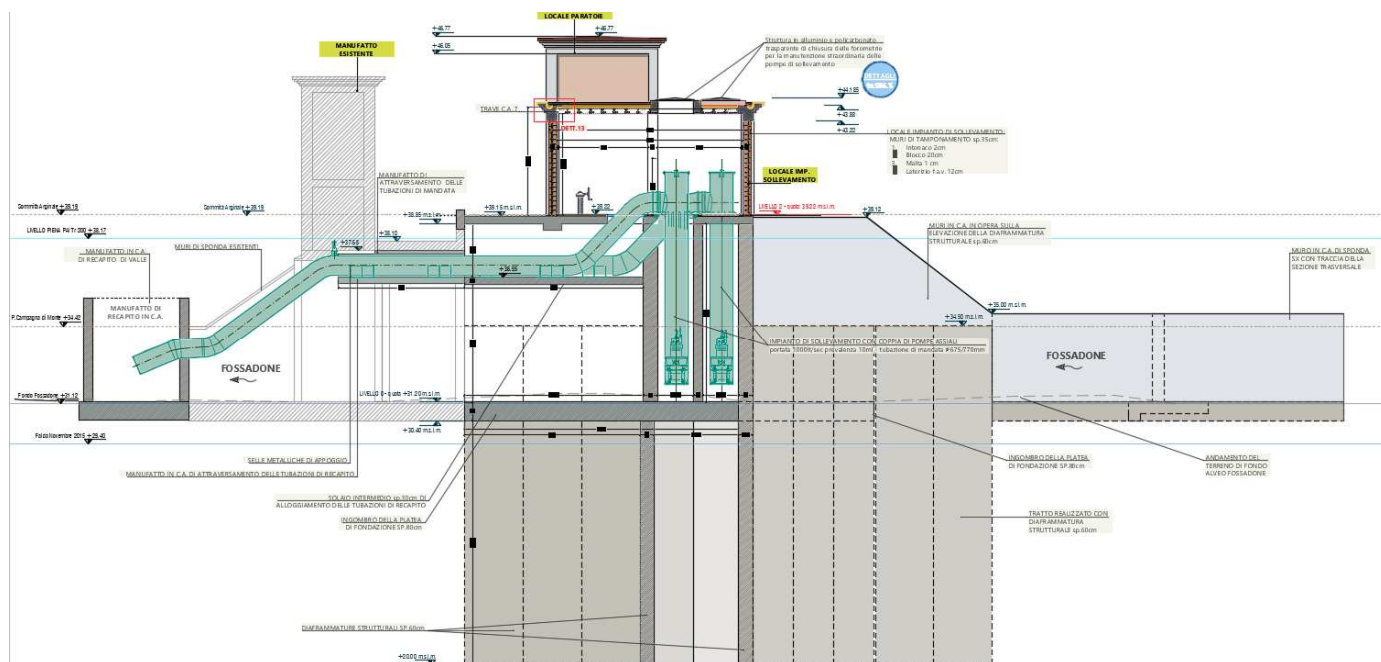
Il fabbricato adiacente verrà, infatti, anch'esso fondato su diaframature strutturali in c.a. dello spessore di 60 cm e di pari quota di fondo. Il diaframma esterno servirà inoltre, come per sponda destra, da contenimento di sponda nel primo tratto di elevazione compresa tra  $8 \div 5 \text{ m}$ . Le pompe saranno collocate in un manufatto in conglomerato cementizio armato le cui caratteristiche d'insieme e di dettaglio sono evidenziate dai disegni allegati.

Il manufatto ha una configurazione a scatola, con ingresso laterale del flusso idrico, ed è suddiviso da un setto in calcestruzzo per la separazione delle celle di contenimento delle pompe. Le celle saranno convenientemente raccordate in corrispondenza della parete frontale, secondo profili da definire in accordo con il Costruttore delle pompe, al fine di evitare dannosi movimenti vorticosi e migliorare le condizioni di aspirazione.

Il manufatto sarà coperto da una soletta in c.a. che fornirà l'appoggio ai tubi di contenimento e sostegno delle pompe. La soletta d'impalcato a quota 39,20 m s.l.m. (estradosso), di spessore pari a 30 cm, è dimensionata per consentire il transito di carichi stradali di 1° categoria e di mezzi pesanti ( $9.000 \text{ daN/m}^2$ ), lungo il tratto di impalcato interessato dalla viabilità arginale, e per azioni accidentali riferibili ad interventi di manutenzione interna il fabbricato di alloggiamento dell'impianto di sollevamento ( $500 \text{ daN/m}^2$ ) atti alla pulizia meccanica della griglia di protezione posta all'imbocco del manufatto.

La condotta di mandata del nuovo gruppo (DN800) avrà la generatrice inferiore del tratto in sommità posta alla quota 39,30 m s.l.m. e, quindi, superiore in ragione di circa 110 cm al livello di piena dell'ottobre 2000.

La condotta, completa di valvola di disadescamento, sarà corredata per sicurezza da una valvola d'intercettazione del tipo a farfalla, completa di manovra manuale d'emergenza. Le tubazioni di mandata, innestate ai tubi contenitori delle pompe sommerse, alloggeranno in appoggio su selle metalliche, in un solaio intermedio "impiantistico" caratterizzato da una quota di estradosso pari a 36,55 m s.l.m. Tale quota permetterà il raccordo con il manufatto di attraversamento delle tubazioni lungo il tratto di arginatura esistente con modalità tale da consentire un efficace raccordo altimetrico con la viabilità di accesso al manufatto esistente.



**Figura 9: Sezione longitudinale dell'aggregato strutturale**

L'organizzazione delle strutture di elevazione del corpo di fabbrica adibito all'alloggiamento delle paratoie e di quello adiacente funzionale all'impianto di sollevamento, garantiranno la quota di sormonto arginale di 39,20 m s.l.m..

Il posizionamento delle tubazioni di mandata sul solaio intermedio di quota 36,55 m s.l.m. avverrà, infatti, mediante forometrie nel piano di manovra di sommità arginale ubicate a valle di setti trasversali di continuità e connessione con il solaio di piano arginale.

### 3.3 Manufatto a protezione delle tubazioni in sommità arginale

La sommità arginale è prevista carrabile, consentendo il transito di traffico pesante. A protezione delle tubature che scavalcano l'argine verrà realizzato un manufatto scatolare in c.a. gettato in opera costituito da due canne (una per ciascuna tubatura). La soletta superiore del manufatto è prevista anch'essa in c.a. ma prefabbricata e removibile, in modo da consentire eventuali ispezioni alle tubazioni. Essa è dimensionata in modo tale da sostenere il traffico di ponti di II categoria.

### 3.4 Manufatto di recapito di valle

Lo scarico a valle delle tubazioni di recapito avverrà in apposito manufatto in c.a. di sbocco, posizionato in sponda sinistra Fossadone, a valle della chiavica.

Tale manufatto, interamente realizzato in c.a. in opera, affiancherà il muro di sponda esistente e servirà a contenere le turbolenze indotte dal flusso di mandata dell'impianto di sollevamento, evitando fenomeno erosivi di sponda o di fondo in prossimità della platea del manufatto chiavicale esistente.

Il manufatto avrà dimensioni interne di 4.70x3.70 m e dimensioni massime esterne di 5.00x4.50 m, altezza di 4.50 m dal piano di estradosso platea (a quota 31.20 m s.l.m.). Lo spessore di platea è stato valutato in 80 cm, mentre lo spessore



delle pareti in 40 cm. La quota di arrivo delle tubazioni di mandata, posizionata a +1.80 m dal fondo garantirà il corretto funzionamento del sistema anche in caso di interrimento del fondo del manufatto, di cui, comunque, dovrà essere prevista una pulizia periodica.

### **3.4.1 Predisposizione dei supporti per le tubazioni DN800**

I supporti delle tubazioni saranno costituiti da piastre e selle in carpenteria metallica fissati agli elementi strutturali in c.a. dell'aggregato principale e del manufatto di attraversamento. Le selle di appoggio garantiranno lo scorrimento delle tubazioni per meglio gestirne le dilatazioni differenziali. Il dimensionamento dei supporti e dei relativi fissaggi strutturali alle parti in c.a. è determinato dalle azioni statiche e dinamiche dell'acqua nei tubi (pressioni/depressione determinate dall'andamento altimetrico delle tubazioni stesse, particolarmente significativo presso il sifone, peso del tubo e dell'acqua, effetti dinamici connessi al moto dell'acqua, ecc), ed è rimandato al dettaglio dei livelli successivi di progettazione.



**Figura 10: Render con vista del nuovo manufatto**

## 4 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO

Il nuovo impianto sarà realizzato sulla banca sinistra del Fossadone in allineamento con il sistema di compartimentazione delle paratoie e con piano di regolazione alla quota di sommità arginale dell'arginatura maestra di Po. Sarà dimensionato per ospitare 2 elettropompe del tipo sommergibile monoblocco, **ognuna della portata di 1.0 m³/s**.

Le pompe saranno collocate in un manufatto in conglomerato cementizio armato le cui caratteristiche d'insieme e di dettaglio sono evidenziate dai disegni allegati al progetto. Il manufatto ha una configurazione a scatola, con ingresso laterale del flusso idrico, ed è suddiviso, nella parte terminale, da un setto in calcestruzzo per la separazione delle celle di contenimento delle pompe.

L'allestimento laterale, seppure non ottimale per la resa delle pompe, in caso di funzionamento contemporaneo, è stato scelto per la minore incidenza manutentiva di pulizia della camera di ingresso ed in ragione del fatto che sull'impianto è previsto il funzionamento di una sola pompa di aspirazione, con utilizzo della seconda "di riserva" solo in caso di guasto meccanico o anomalia di funzionamento della prima.

Le celle di aspirazione saranno convenientemente raccordate in corrispondenza della parete frontale, secondo profili da definire in accordo con il produttore delle pompe, al fine di evitare dannosi movimenti vorticosi e migliorare le condizioni di aspirazione.

Il manufatto scatolare sarà coperto nella parte terminale, da un solettone in c.a., caratterizzato da una quota d'impalcato pari alla sommità arginale maestra di Po, che darà l'appoggio ai tubi di contenimento e sostegno delle pompe. Il solettone è dimensionato per sopportare i carichi d'impalcato interni al fabbricato e "stradali" esterni. All'imbocco delle due camere di aspirazione è prevista la posa in opera della griglia selettiva di protezione in acciaio.

La condotta di mandata del nuovo gruppo di pompaggio (DN800) attraverserà il nuovo manufatto e l'arginatura attuale (raddoppiata ed adeguata nella altimetria dal rilevato di ringrosso a raccordo con il nuovo manufatto).

**La generatrice inferiore del tratto in sommità sarà posta alla quota 39.30 m s.l.m., e quindi superiore in ragione di circa 110 cm al livello di piena TR200 del PAI riscontrato sulla sezione 27B del fiume Po e in corrispondenza dell'intervento in progetto.**

La condotta, completa di valvola di disadescamento del tipo elettromagnetico, sarà corredata per sicurezza da una valvola d'intercettazione del tipo a farfalla comandata da attuatore elettrico, ma con manovra manuale d'emergenza. Il motore elettrico della nuova pompa (potenza nominale circa 100 kW) sarà alimentato a 380 V con avviamento tramite soft-start/inverter. La corrente sarà fornita attraverso un gruppo elettrogeno, le cui caratteristiche sono descritte nel capitolo specifico della presente relazione.

Come accennato, l'alimentazione elettrica del sistema di sollevamento è prevista con gruppo elettrogeno alloggiato in apposito fabbricato adiacente, le cui dimensioni e caratteristiche saranno altresì adeguate e conformi all'allestimento di una cabina MT-BT, nel caso in cui la Stazione Appaltante decida di optare per una fornitura MT del sistema.

Nel merito delle caratteristiche del fabbricato-cabina, delle connesse apparecchiature e dei collegamenti elettrici in genere, si rimanda a quanto al riguardo descritto e illustrato nell'apposito capitolo della presente relazione dedicato agli impianti elettrici.

La realizzazione del controllo a distanza del sistema di pompaggio e misurazione dei livelli idrometrici in aspirazione (Fossadone) e in mandata (Po), prevede l'installazione di una specifica centralina, posta all'interno della nuova chiavica, per la gestione, trasmissione e ricezione dati in collegamento con il Centro Operativo AIPO.

## 4.1 Condizioni di funzionamento – Criteri di dimensionamento

Nel rinviare alle descrizioni particolari riportate nel Capitolato Speciale d'Appalto, oltre che nelle tavole di progetto, per quanto riguarda le caratteristiche costruttive e funzionali delle singole componenti, si riportano di seguito alcune considerazioni specifiche sulle condizioni di funzionamento e sui criteri di dimensionamento adottati.

### 4.1.1 Dati di dimensionamento

Il gruppo sarà del tipo sommergibile, a flusso assiale, e deve rispondere ai seguenti dati dimensionali di progetto:

- Portata 1000 l/s
- Tubo contenitore pompe DN800 acciaio sviluppo L=9 m
- Tubo mandata pompe DN800 acciaio sviluppo L=27 m
- Valvola sezionatrice a farfalla DN800

Per la determinazione della geodetica si sono considerate le seguenti combinazioni di livelli Po/Fossadone:

	LIVELLO PO [m s.l.m.]	FOSSADONE [m s.l.m.]	GEODETICA [m]
MAX	38,20	35,20	3,00
MED	37,00	35,20	1,80
MIN	34,50	35,20	- 0,70
SIFONE	40,00	35,20	4,80
DISADDESCO	35,70	35,20	0,50

	LIVELLO PO [m s.l.m.]	FOSSADONE [m s.l.m.]	GEODETICA [m]
MAX	38,20	35,70	2,50
MED	37,00	35,70	1,30
MIN	34,50	35,70	-1,20
SIFONE	40,00	35,70	4,30
DISADDESCO	36,20	35,70	0,50

**Tabella 1 – Combinazione livelli idrometrici Po/Fossadone.**

Le combinazioni riportate definiscono una geodetica massima di circa 3,0 m.

Le pompe trovano alloggio all'interno di un tubo contenitore in acciaio DN800. La tubazione premente, sempre DN800, si sviluppa per una lunghezza di circa 27,00 m, prevede lungo il percorso curve e spicchi con raggio ed aperture variabili, termina senza un diffusore.

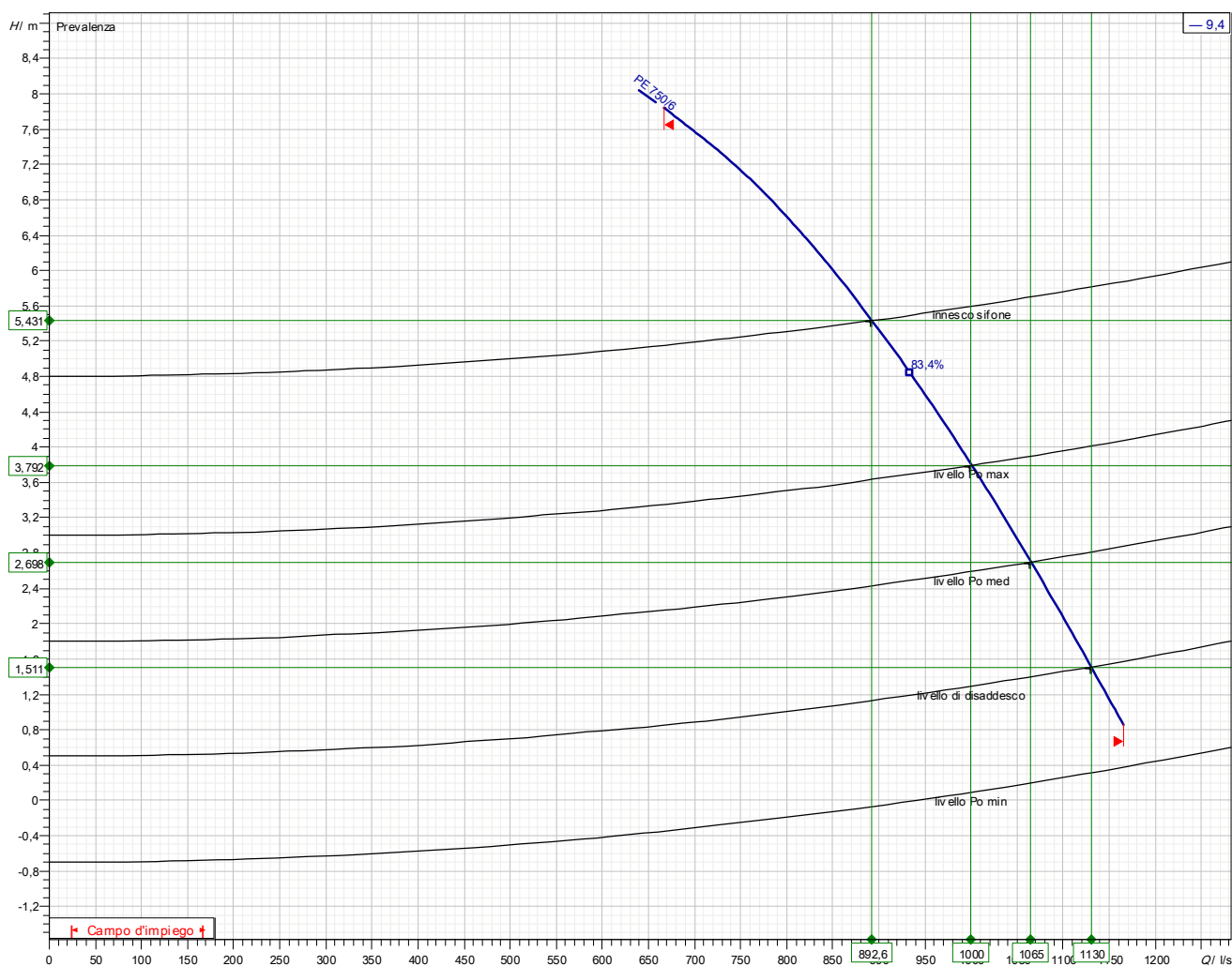
### 4.1.2 Calcolo perdite di carico

A seguire il calcolo delle perdite di carico "teoriche" per la valutazione di macchine idonee per prestazioni e caratteristiche:

Fluido pompato	Acqua	Numero pompe	1
Portata	100 l/s	Tipo impianto	
Prevalenza geodetica	3 m	Condizioni di presentazione	Installazione sommersa
Viscosità	1,005 mm <sup>2</sup> /s	Modello di calcolo	Darcy-Weisbach/Colebrook

PERDITE TUBAZIONE						
Tubazione comune lato mandata						
Tipo	$\varnothing$ / mm	$\xi$ oppure L	Q.tà	V / m/s	K / mm	H / m
Tubazioni: acciaio DN800	798,80	9 m	1	1,995	0,15	0,03249
Tubo ascendente VUP, laterale: DN800	800	0,66	1	1,990		0,1331
Tubazioni: acciaio DN800	798,80	27 m	1	1,995	0,15	0,09747
Curvatura 45° (R/D=1): DN800; R: 800	800	0,6166	4	1,990		0,1334
Uscita: rettilinea	800	1	1	1,990		0,2017
Valvola a farfalla senza filetto: DN800	800	0,9593	1	1,990		0,1935
Perdite di carico totali						<b>0,7918</b>
Perdite di carico (HI(Q))						0,7918 m
Prevalenza geodetica totale						3 m
Prevalenza totale						<b>3,792 m</b>

Il tipologico previsto è del tipo SULZER/ABS sommergibile a flusso assiale ad elevato rendimento, della quale si riportano le curve di funzionamento per i due punti di lavoro considerati:

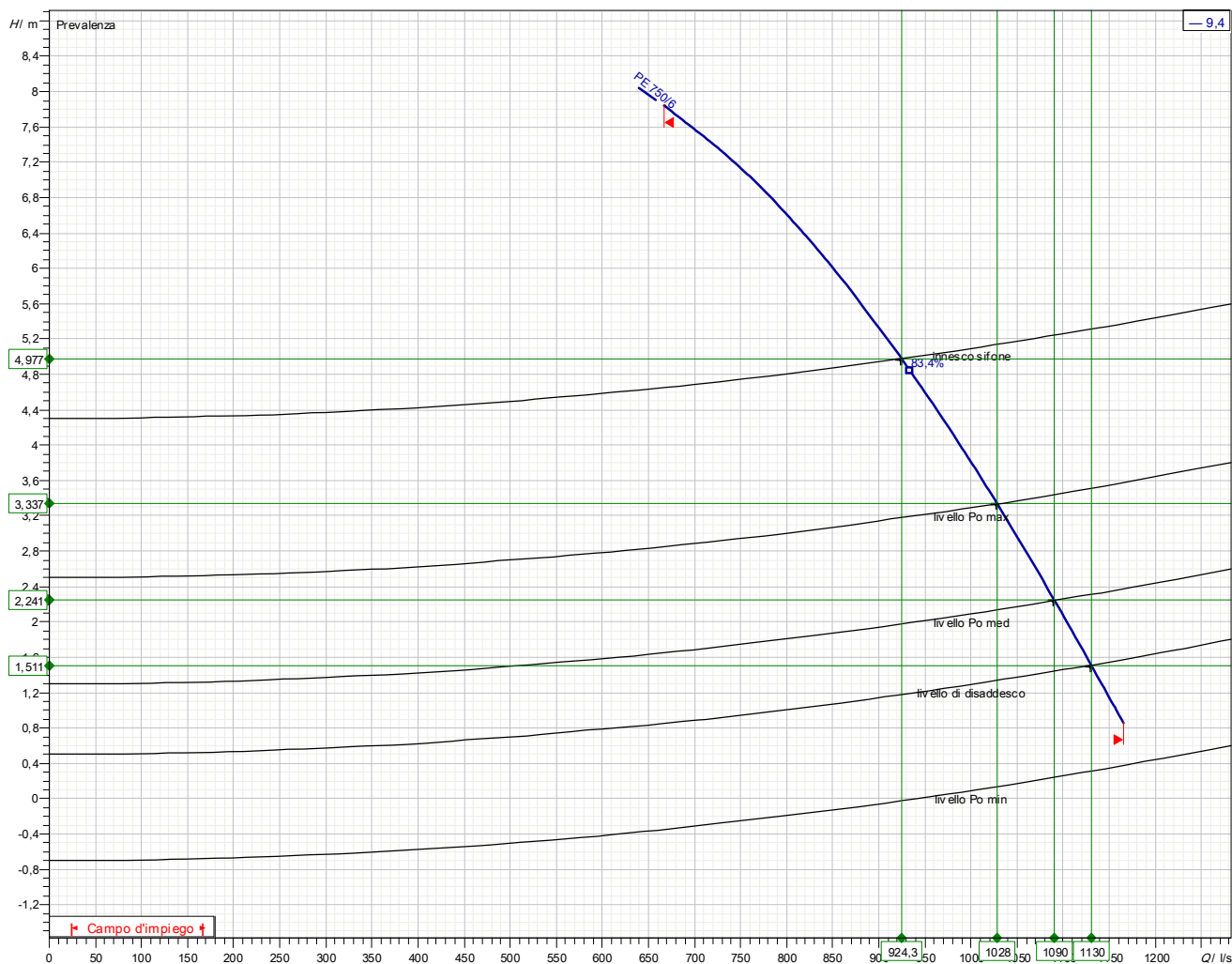


**Figura 11: Curva di funzionamento con Fossadone a quota 35,20 m s.l.m.**



		MAX	MED	DISAD	SIFONE
Portata al punto lavoro	l/s	1000	1065	1130	892.6
Prevalenza al punto di lavoro	m	3.79	2.69	1.51	5.43
Potenza assorbita dalla rete P1	kW	48.42	39.63	29.95	61.00
Potenza nominale resa all'albero P2	kW	45.52	37.05	27.67	57.59
Rendimento idraulico	%	81.79	75.53	60.01	82.89
Rendimento totale	%	76.89	70.61	55.47	78.25

**Tabella 2: Prestazioni al punto di lavoro 35,20 m s.l.m.**



**Figura 12: Curva di funzionamento con Fossadone a quota 35,70 m s.l.m.**

		MAX	MED	DISAD	SIFONE
Portata al punto lavoro	l/s	1028	1090	1130	924.3
Prevalenza al punto di lavoro	m	3.33	2.24	1.51	4.97
Potenza assorbita dalla rete P1	kW	44.73	35.95	29.95	57.54
Potenza nominale resa all'albero P2	kW	41.97	33.48	27.67	54.28
Rendimento idraulico	%	79.85	70.94	60.01	83.37
Rendimento totale	%	74.92	66.1	55.47	78.63

**Tabella 3: Prestazioni al punto di lavoro 35,70 m s.l.m.**

Il sistema è verificato per tutte le condizioni di funzionamento previste in progetto.

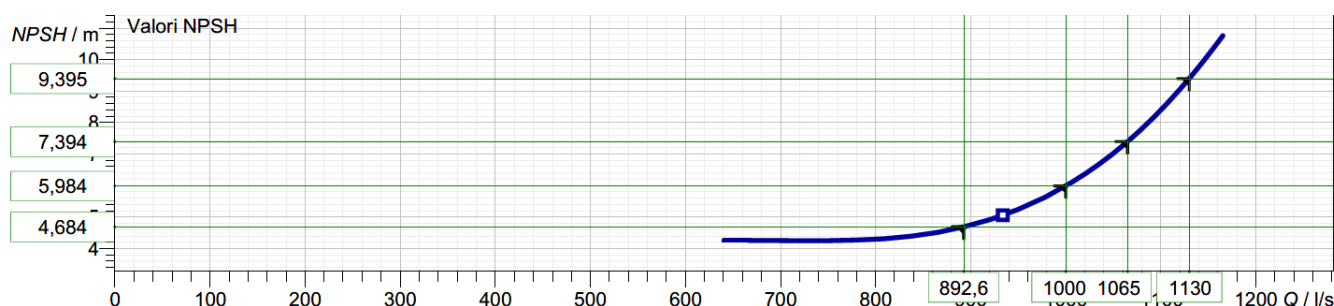
Tuttavia, quando il Po si trova al livello minimo, avremmo una geodetica negativa e le macchine pomperebbero a favore di moto: questo comporta un punto di funzionamento eccedente i limiti della curva. Si è per questo identificata una condizione limite oltre la quale, per lavorare in pressione, è necessario disadescare il sifone (punto di disadescò) aprendo la valvola dedicata. In questo modo lavoreremo con la geodetica massima corrispondente al punto di innesco sifone (vedi curve). In generale la geodetica non deve mai scendere sotto gli 0.5 m. In ogni modo con livelli del Po molto bassi lo scarico avverrà a gravità con l'apertura delle paratoie del Fossadone.

	LIVELLO PO [m s.l.m.]	FOSSADONE [m s.l.m.]	GEODETTICA [m]	PORTATA [l/s]
MAX	38,20	35,20	3,00	1000
MED	37,00	35,20	1,80	1065
MIN	34,50	35,20	- 0,70	*****
SIFONE	40,00	35,20	4,80	892
DISADDESCO	35,70	35,20	0,50	1130

	LIVELLO PO [m s.l.m.]	FOSSADONE [m s.l.m.]	GEODETTICA [m]	PORTATA [l/s]
MAX	38,20	35,70	2,50	1028
MED	37,00	35,70	1,30	1090
MIN	34,50	35,70	-1,20	*****
SIFONE	40,00	35,70	4,30	924
DISADDESCO	36,20	35,70	0,50	1130

**Tabella 4: Prestazioni pompa al variare della geodetica.**

La curva dell'NPSH in corrispondenza dei livelli più bassi presenta dei valori abbastanza elevati.



Se si analizza la condizione peggiorativa, corrispondente punto limite oltre il quale deve avvenire il diadescò, la sommergenza minima complessiva richiesta dalla pompa è di poco superiore a 1,60 m. Considerando che il fondo del vano di alloggiamento pompe si trova a quota +31,12 m s.l.m., che il livello minimo richiesto corrisponde ad una quota di +32,71 m s.l.m., che il livello di stacco delle pompe è a +34,70 m s.l.m., si evince che abbiamo ulteriori 2,0 m di battente a vantaggio di sicurezza al di sopra del minimo consentito.

## 4.2 Elettropompe sommergibili ad elica

Nel seguito verranno esplicitate le caratteristiche tecniche, prestazionali e le dotazioni previste per le elettropompe sommergibili ad elica.

In fase di valutazione progettuale delle caratteristiche di impianto (di cui al precedente paragrafo) sono stati identificati prodotti commerciali coerenti con le esigenze impiantistiche e gestionali di progetto, quali:

- **SULZER VUPX0601-PE750/6.50-10-FM**

E' evidente che i prodotti indicati hanno solo un carattere orientativo delle prestazioni di macchina richieste a progetto, ed ogni altro prodotto commerciale, purché coerente con i livelli prestazionali e di qualità di seguito elencati, ed ulteriormente dettagliati in CSA tecnico, potrà essere accettato dalla Stazione Appaltante.

La elettropompa sommergibile a flusso assiale ad elevato rendimento dovrà essere adatta per l'installazione in tubo contenitore. Dovrà essere fornita completa di unità elettronica di rilevamento anomalie, anello di accoppiamento autocentrante ed antirotazione, pressacavi e calze di sospensione.

### 4.2.1 *Dati caratteristici*

- Motore elettrico ad elevato rendimento in classe di efficienza IE3 secondo norma IEC60034-30 progettati per operare con inverter. Motore elettrico asincrono trifase con rotore a gabbia, protezione IP68, isolato in classe H. Raffreddamento tramite la stessa acqua sollevata.
- Sistema di protezione sovratemperatura con sensori bimetallici (klixon e predisposizione PTC) nell'avvolgimento e sulle sedi dei cuscinetti superiori e inferiori.
- Sistema di protezione umidità con sensori infiltrazione in vano separazione motore/idraulica, vano motore e vano morsettiera.
- Girante ad elica a 3 pale regolabili
- Installazione in tubo contenitore DN800 in acciaio
- Passaggio libero corpi solidi non inferiore a 110 mm
- Aspirazione DN650
- Mandata DN750
- Sommergenza massima 20 m
- Temperatura massima del liquido pompato 40°C

### 4.2.2 *Materiali*

- Carcassa motore ghisa grigia GG25 G
- Corpo pompa ghisa grigia GG25 G
- Girante a 3 pale in acciaio inox 1.4340, mozzo in ghisa sferoidale GGG40
- Albero motore acciaio inox AISI 420 (1.4021)
- Viteria a contatto con il liquido acciaio inox AISI316
- Tenuta inferiore albero meccanica in carburo di silicio (SiC/SiC)
- Tenuta superiore albero meccanica in carburo di silicio (SiC/SiC)
- Ciclo verniciatura primer zincante, finitura resina epossidica bicomponente

### 4.2.3 Accessori

L' idrovora del peso non superiore a 5000 kg deve essere completa di:

- Cavi elettrici sommergibili lunghezza minima 10 m
- Anello di accoppiamento per tubo contenitore DN800 in acciaio al carbonio, da saldare di testa al tubo contenitore. Trattamento superficiale con primer protettivo spessore 40 micron.
- Relè di rilevamento temperatura ed infiltrazione acqua in olio, tensione di alimentazione 110-230 V AC, omologato CE.
- Catena in acciaio legato verniciato, per carichi pesante, diametro 16 mm, Grado 100. Spezzone di lunghezza non inferiore a 10 m. Pesi sino a 5560 kg
- Maglia di giunzione da interporre fra grillo e la catena, in acciaio legato verniciato, diametro 16 mm, Grado 100, pesi sino a 5560 kg
- Grillo dritto per carico pesante, perno 35 mm, in acciaio Alloy zincato a caldo, per il collegamento della maniglia della elettropompa alla maglia di giunzione catena. Pesi sino a 5280 kg
- Pressacavi per coperchio tubo contenitore per cavo elettrico di diametro esterno 10.8 mm

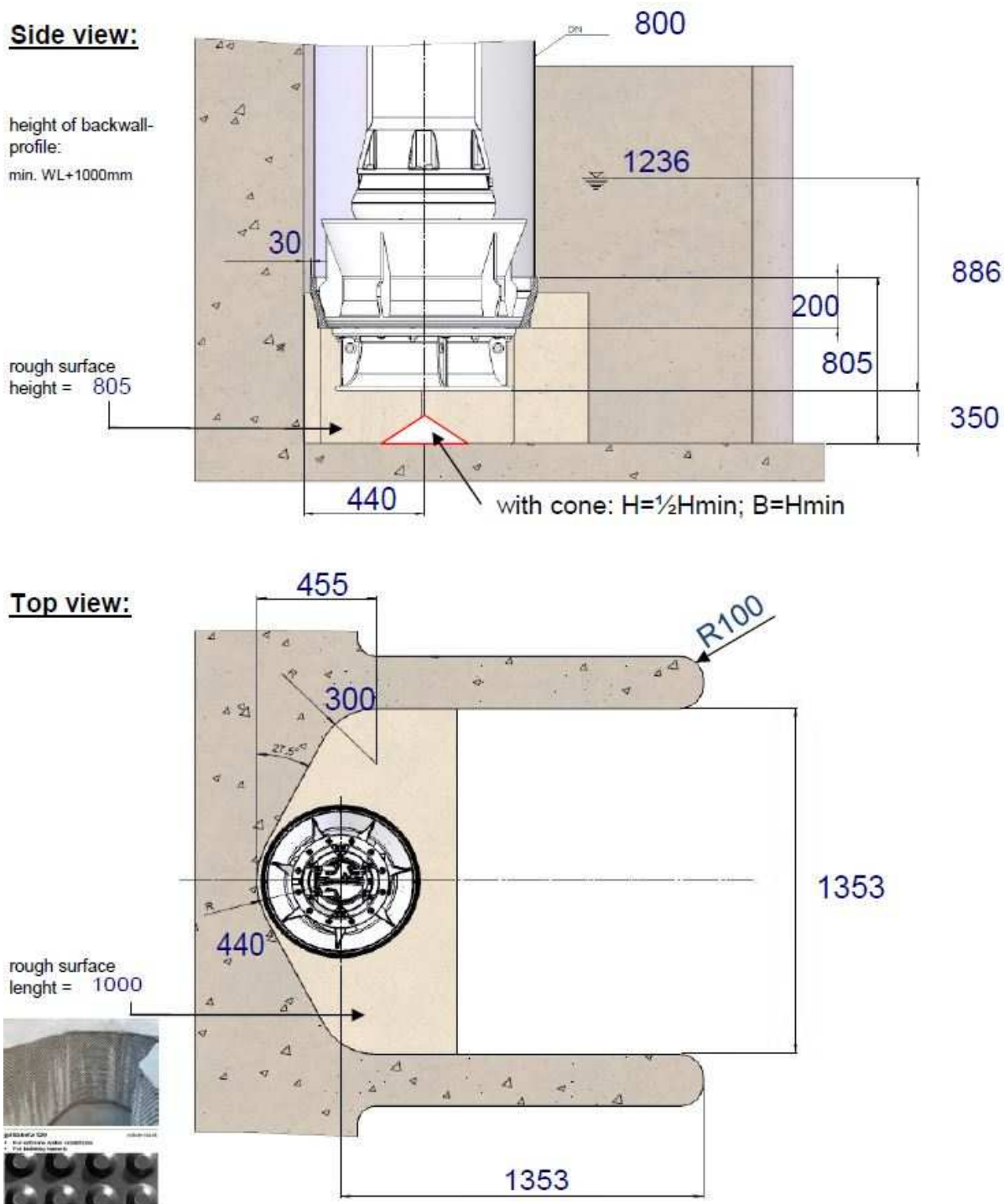
### 4.2.4 Motore elettrico – Dati tecnici

Potenza assorbita dalla rete	kW	100 MAX – 75 MIN
Potenza nominale resa all'albero	kW	80 MAX – 70 MIN
Tensione nominale/Fasi/Frequenza	V/fasi/Hz	400/3/50
Intensità di corrente nominale	A	140.0 MAX
Intensità di corrente allo spunto	A	980 MAX
Modalità di avviamento	tipo	Soft start, inverter
Fattore di potenza al 100% del carico	Cosfi	0.82 MIN
Fattore di potenza al 75% del carico	Cosfi	0.75 MIN
Efficienza motore al 100% del carico	%	95.00 MIN
Efficienza motore al 75% del carico	%	93.00 MIN
Numero di giri nominali	giri min <sup>-1</sup>	980
Grado di protezione	IP	68
Esecuzione motore	tipo	standard
Isolamento statore	Classe	H (140° C)
Cavo elettrico sommergibile	tipo	2x(H07RN8-F4G95) + 1x(H07RN8-F10G1.5)
Lunghezza	m	10
Girante	tipo	Elica a 3 pale regolabili
Diametro esterno	mm	540
Passaggio libero	mm	110
Aspirazione	DN	650
Mandata	DN	750



### 4.3 Allestimento della camera di aspirazione

Al fine di ottimizzare le prestazioni e limitare possibili problemi di ventilazione/cavitazione, i tubi di alloggiamento delle pompe andranno posizionati all'interno di celle di aspirazione in calcestruzzo con dimensioni ben precise. L'allestimento delle macchine all'interno delle camere di aspirazione, dovrà rispettare le dimensioni minime indicate nelle immagini sottoriportate, salvo diversa disposizione supportata da motivazioni tecniche, riferite alla specificità della macchina in fornitura.



**Figura 13: Allestimento delle macchine nelle camere di aspirazione**

#### 4.4 Tubazioni di mandata

Realizzate in acciaio normale in S235JRC (FE 360B) con le seguenti caratteristiche:

Diametro nominale:	800 mm
Flange piane da saldare in sovrapposizione UNI2227-67:	S235 o similari
Spessore minimo circa:	7/8 mm
Lunghezza circa:	27 metri

La tubazione è completa di staffaggi di supporto ed ammarri da fissare a pavimento con tasselli in AISI 304 ove necessario, curva a più spicchi ad ampio raggio di curvatura, flange di accoppiamento PN6, bulloneria in AISI 304 e quant'altro occorre per rendere il lavoro a regola d'arte. Protezione delle superfici esterna con verniciatura epossibituminosa previo sabbiatura SA 2,5.

La tubazione dovrà rispondere alle norme generali e particolari riportate nelle Norme Tecniche (NTC 2018) contenute nel presente Capitolato Speciale alla voce "acciaio per carpenteria".

La tubazione di mandata DN800 avrà andamento e sviluppo come da disegno allegato e sarà completa di:

- Curve a spicchi;
- Flange di accoppiamento PN6 alle pompe complete di giunti di smontaggio;
- Pezzi speciali, staffe;
- Attacco per valvola di disadescamento.

#### 4.5 Valvola di disadescamento sifone

**Valvola disadescamento sifone**, di tipo meccanico di diametro adeguato, da installare sulla sommità del sifone. Il tutto pronto per il montaggio, completo di giunzioni, staffe di ancoraggio, **bulloneria e quant'altro necessario per dare il lavoro a regola d'arte, con le seguenti** caratteristiche tecnico-dimensionali

- Diametro utile di passaggio: 150-200mm
- Diaframma e fungo di chiusura: AISI316
- Complete di controflangia PN6, OR di tenuta e bulloni di fissaggio.

Altre caratteristiche come da Capitolato Speciale d'Appalto.

#### 4.6 Tubo contenitore

Costruzione in acciaio normale realizzato in lamiera calandrata o tubo commerciale S235JR (Fe 360).

Diametro nominale:	800 mm
Spessore minimo circa:	7/8 mm
Lunghezza circa:	9.000 mm

Per dettagli si rimanda alla tavola grafica progettuale **SPM1**

Ogni tubo contenitore sarà completo di:

- Supporto inferiore di appoggio idrovora completo di fazzoletti e fermo antirotazione;
- Telaio di sostegno/appoggio completo di fazzoletti e fori di fissaggio;

- Controtelaio da annegare nel getto completo di zanche;
- Derivazione flangiata DN800;
- Parte superiore completa di flangia fissa e flangia cieca DN800;
- Trave a T o tubo per fissaggio e sostegno cavi elettropompa;
- Piastre di entrata pressacavo complete di flangetta entrata cavo;
- Bulloneria in AISI 304.

Saranno di forma e dimensioni come da disegni allegati ed avranno le seguenti caratteristiche generali:

- Saldature: certificate secondo normativa EN 288
- Verniciatura: interna / esterna epossibituminosa a spessore di 300 $\mu$  previa sabbiatura SA 2,5
- Bulloneria: acciaio cadmiato – guarnizioni in gomma

I tubi saranno dati in opera completi di supporto inferiore di appoggio pompa, telaio di sostegno e controtelaio, staffe.

#### **4.7 Quadro di comando e controllo – Automazione dell'impianto**

Il quadro avrà le caratteristiche generali indicate nel Capitolato Speciale d'Appalto e sarà dimensionato tenendo conto dell'ampliamento che deriverà dall'installazione del secondo gruppo di pompaggio.

Il quadro, posizionato nel nuovo fabbricato alla destra della chiavica, sarà sostanzialmente costituito da una sezione "arrivo generale" e da una sezione "partenza elettropompe", quest'ultima comprendente, tra l'altro, l'avviatore con soft-start, il gruppo di rifasamento e l'unità elettronica per la rilevazione di anomalie dell'elettropompa. Il quadro sarà predisposto per il telecontrollo/telecomando.

Tutte le apparecchiature principali ed ausiliarie comprese nella fornitura saranno realizzate in funzione della gestione automatizzata dell'impianto, ferma restando la possibilità di provvedere alla sua manovra in manuale.

L'automazione della pompa avverrà per mezzo di un misuratore, controllore di livello a microprocessore, completo di sensore ad ultrasuoni posizionato in prossimità della pompa. Un ulteriore sensore ad ultrasuoni verrà collocato con staffe alla parete della chiavica per la misurazione del livello nel Po; il segnale proveniente dalla sonda sarà visualizzato – come per il sensore installato presso la pompa – sul quadro di comando con apposito indicatore digitale.

#### **4.8 Griglia selettiva a protezione del varco pompe**

La griglia, in acciaio S355 zincato a caldo, sarà costituita da piatti di 100x10mm, con luce tra le barre di 40 mm, riuniti in pannelli affiancati facilmente rimovibili e completi di profilati di appoggio superiore ed inferiore. Nella parte al di sopra del piano di appoggio la griglia sarà conformata in modo tale da consentire in futuro l'operatività di un sistema automatizzato di pulizia. Il calcolo per il predimensionamento della griglia, di seguito illustrato, è stato condotto nell'ipotesi di un totale intasamento con carico massimo a monte di 5,0 m d'acqua e controcarico a valle trascurabile. La sollecitazione massima risultante corrisponde di fatto al valore ammissibile.

#### Dati geometrici

• Larghezza	2.0 m
• Altezza (sulla verticale)	3.5 m
• Altezza ostruzione monte	5.0 m
• Controcarico a valle	0 m
• Angolo griglia	18.43°
• Peso Specifico Acqua	1000 daN/m <sup>3</sup>

#### Dati griglia

• Profili trasversi	UPN 80
• Altezza barre	80 mm
• Luce netta	1.85 mm
• N° barre	11
• $W_{\text{singolo piatto}}$	26.50 cm <sup>3</sup>
• $W_{\text{tot}}$	265.0 cm <sup>3</sup>

Sviluppo griglia bagnata: 3.50 m

Sviluppo griglia fra gli appoggi: 1.85 m

Pressione massima sul fondo a monte  $P_{\text{max}} = 6950 \text{ daN/m}^2$

Carico totale sulla griglia della camera di aspirazione  $C = (3450 + 6950) \times 3.5 \times 1.75 \times 0.5 = 31.850 \text{ daN/m}$

Reazioni di appoggio sulla griglia della camera di aspirazione  $S_2 = (31.850) / (11 \times 2) \text{ daN} = 1.448 \text{ daN}$

(calcolata sulla ampiezza di 1.85m)

Azione distribuita sulla UPN80 (calcolata sulla ampiezza di 1,85m)  $S_q = (31.850) / (11 \times 1.75) \text{ daN} = 1.654 \text{ daN/m}$

$M_{\text{max tot.}} =$  (calcolato sulla griglia di ampiezza 1,85 m) 633 daNm

$f_{\text{tmax}} = 63.000 / 26.5 = 2390 \text{ daN/cm}^2$   $\sigma_{\text{adm.}} = 2.400 \text{ daN/cm}^2$

**La verifica è soddisfatta.**



## 5 ANALISI RISCHIO IDRAULICO

L'area in oggetto è soggetta a condizioni di pericolosità idraulica relativa alla possibilità di allagamento dovuto principalmente ai fenomeni di rigurgito che si possono instaurare in corrispondenza del manufatto chiavicale esistente e di progetto, in occasione di livelli di piena del fiume Po.

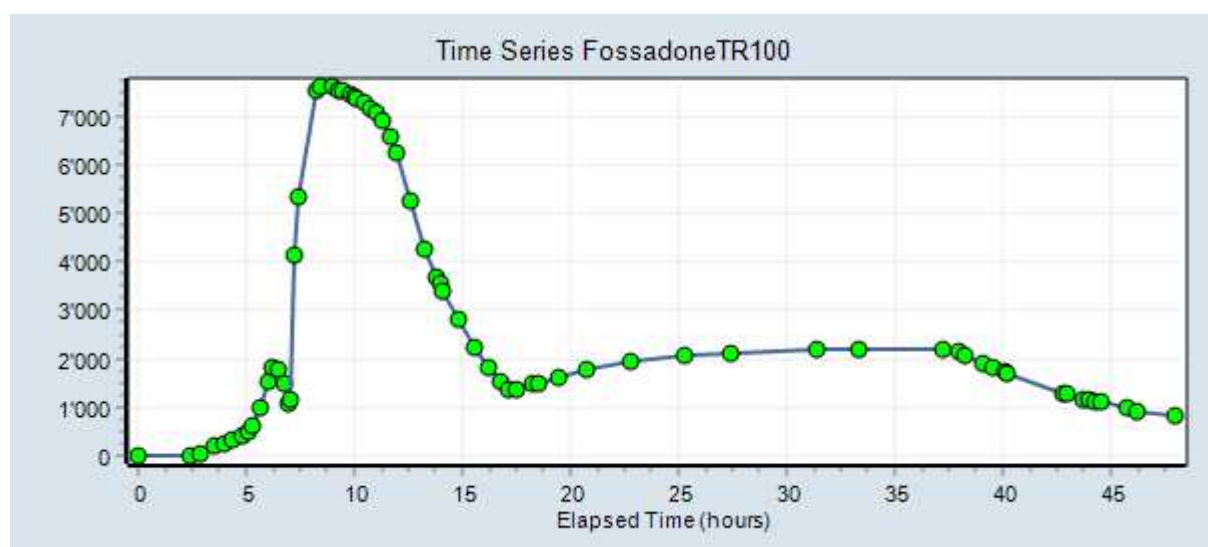
Sono state quindi condotte, ai fini della valutazione e verifica del rischio idraulico, apposite simulazioni mediante modello idraulico per un tratto adeguatamente esteso del cavo Fossadone, in particolare dal ponte della SP50 fino a 50 m a valle della chiavica, sia allo stato di fatto che allo stato di progetto.

Le simulazioni sono state eseguite imponendo un tirante idrometrico all'area di interesse pari a 34,66 m s.l.m., valore riportato dalla "Relazione idrologica e idraulica" dello Studio Telò del Maggio 2012 corrispondente al tirante per un evento di piena del fiume Po con tempo di ritorno pari a 1 anno.

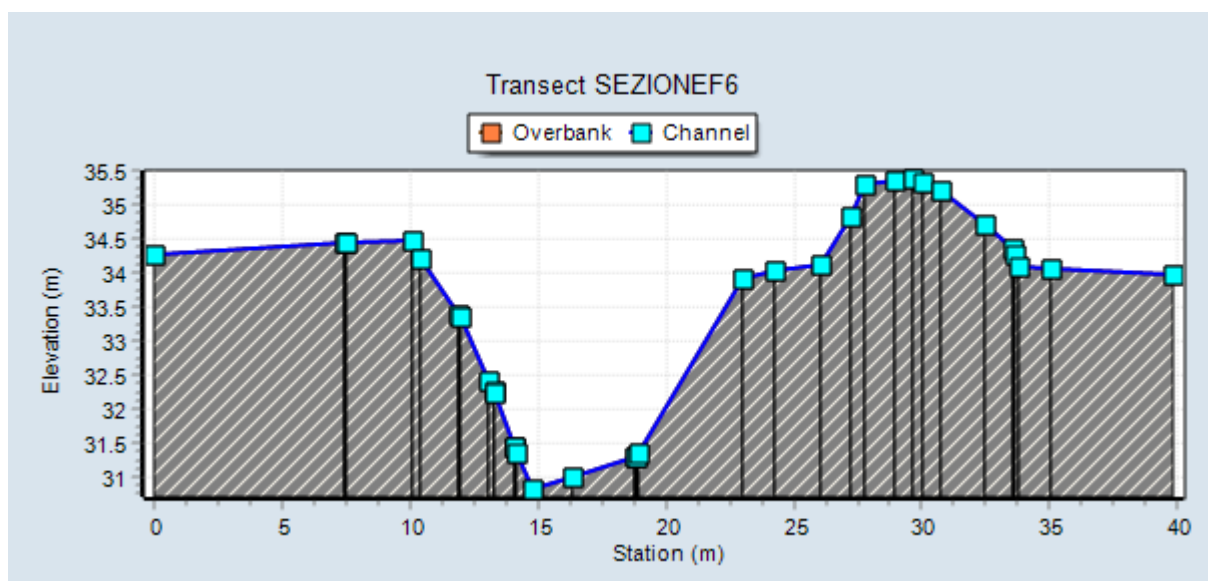
È stato, in particolare, analizzato lo scenario con piena del fiume Po e chiavica chiusa e contemporanea piena del Fossadone, in modo tale da valutare l'effetto che l'installazione sistema di sollevamento composto da 1+1 pompe da 1 m<sup>3</sup>/s ciascuna avrebbe sulla dinamica del tratto del cavo Fossadone analizzato. Sono state condotte simulazioni per tre differenti scenari di piena del Fossadone - facendo riferimento alla relazione sopra citata – rispettivamente: per un evento di piena in occasione di una pioggia con TR100 anni; per tale piena centennale limitata alla massima portata transitabile alla sezione di interesse; per lo stesso idrogramma di piena limitato alla massima portata transitabile alla sezione di monte in corrispondenza della carraia interpodereale in località Cascina S.Giovanni.

### 5.1 TR100 – Portata 7,5 m<sup>3</sup>/s

Si riportano di seguito l'idrogramma di piena del cavo Fossadone impiegato nel modello, pari all'idrogramma di riferimento calcolato nella relazione sopra citata per piogge con tempo di ritorno pari a 100 anni, la sezione del Fossadone in corrispondenza della chiavica e i profili di rigurgito del tratto del cavo Fossadone analizzato nell'istante di massimo riempimento, per lo stato di fatto e per lo stato di progetto sia nel caso di una sola pompa attiva sia per il funzionamento contemporaneo di entrambe.



**Figura 14: idrogramma di piena, come da "Relazione idrologica e idraulica" dello Studio Telò del Maggio 2012, per una pioggia con TR100 anni alla sezione FoS10 in corrispondenza della chiavica esistente**

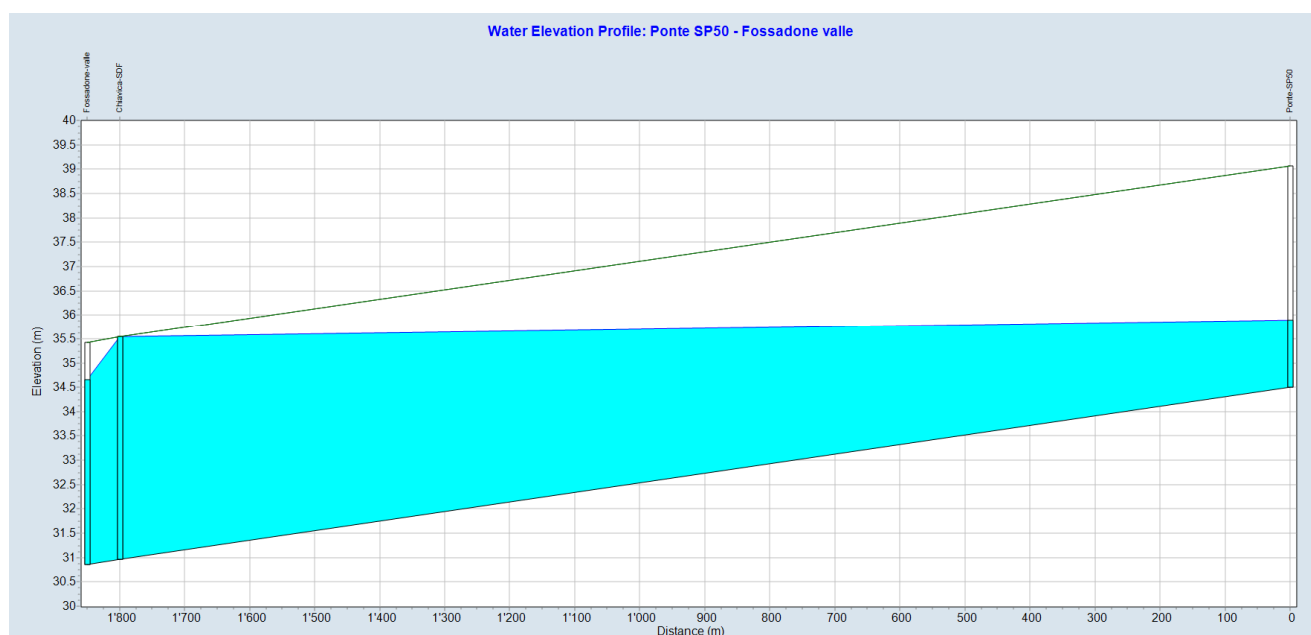


**Figura 15: sezione trasversale del cavo Fossadone impiegata ai fini della modellazione idraulica in corrispondenza della chiavica**

Si riportano inoltre, nella tabella seguente, i risultati delle simulazioni relativi alle portate transanti e ai volumi fuoriusciti in corrispondenza della chiavica, sia per lo stato di fatto che per lo stato di progetto.

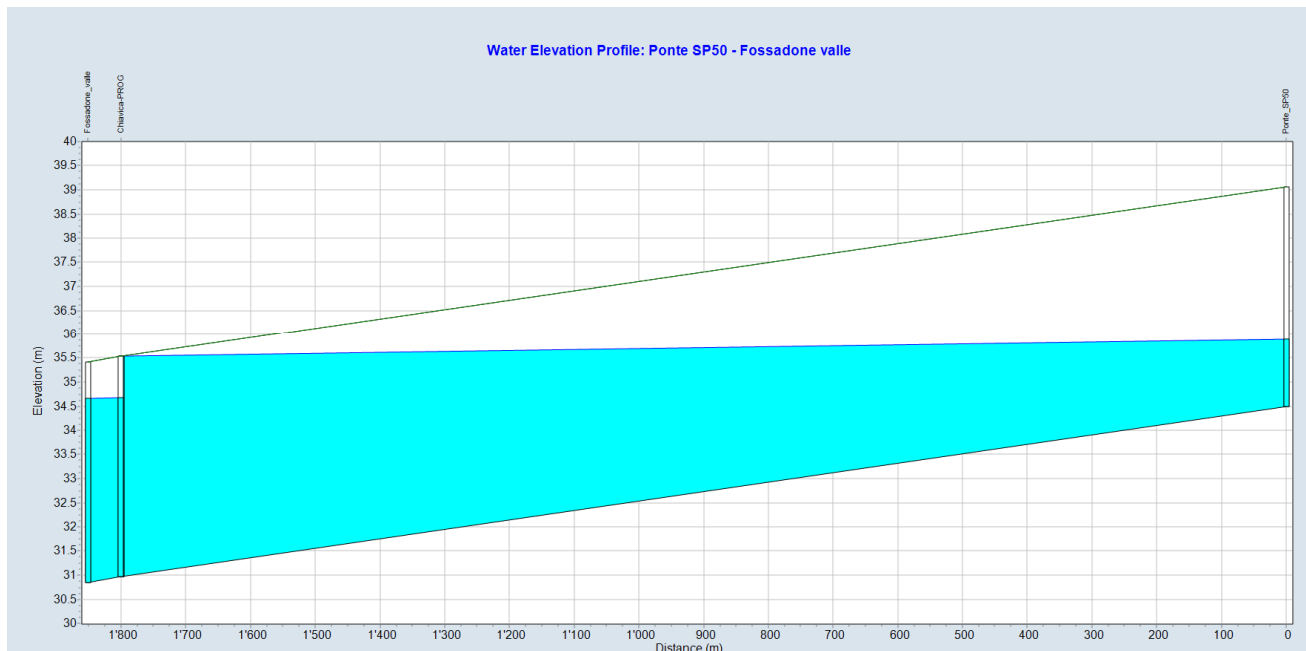
	Qmax Fossadone (l/s)	Total Volume (m³)	Tirante SP50 (m)	Total flooding (m³)
SDF	7.500	397.000	1,44	340.844
PROG. 1 pompa	7.500	397.000	1,41	189.862
PROG. 2 pompe	7.500	397.000	1,41	69.646

**Tabella 5: Risultati delle simulazioni per il tratto di cavo Fossadone analizzato**

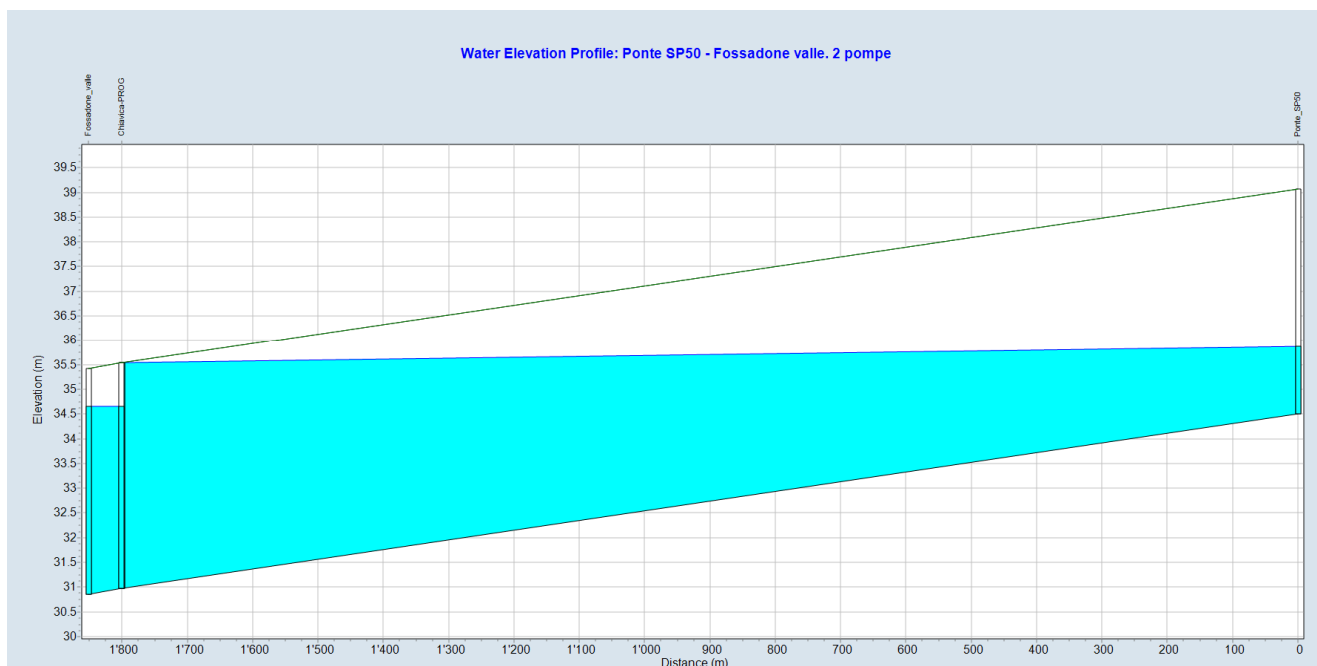


**Figura 16: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica esistente all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata di piena centennale nel cavo Fossadone**

I risultati dimostrano che la chiusura della chiavica esistente, in occasione della piena del fiume Po e di una piena centennale nel cavo Fossadone, comporta inizialmente il rigurgito e l'invaso dei volumi in ingresso fino al raggiungimento di un tirante massimo pari a circa 1,40 m in corrispondenza del ponte stradale della SP50 e la fuoriuscita, nello stato di fatto, di oltre 341.000 m<sup>3</sup>.



**Figura 17: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica di progetto all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata di piena centennale nel cavo Fossadone. Funzionamento di 1 pompa da 1 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 18: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica di progetto all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata di piena centennale nel cavo Fossadone. Funzionamento contemporaneo di entrambe le pompe da 1 m<sup>3</sup>/s ciascuna.**

L'installazione delle due pompe previste per il nuovo manufatto, ciascuna di portata di esercizio pari a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , permette il rilancio di parte dei volumi in ingresso a valle della chiavica in progetto, consentendo di diminuire il carico idraulico e, quindi, minori volumi fuoriusciti in corrispondenza della sezione di sbarramento.

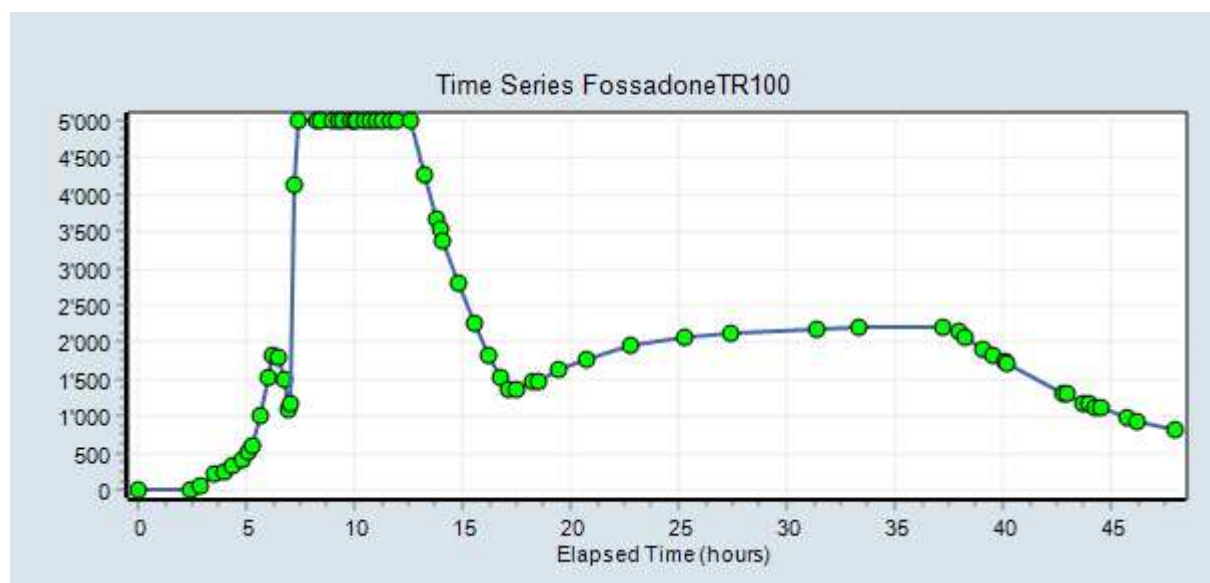
Nel caso di funzionamento di una singola pompa il volume complessivo sollevato nell'arco delle 48 ore di durata dell'idrogramma di piena è pari a circa  $151.000 \text{ m}^3$ , per un volume fuoriuscito pari a circa  $190.000 \text{ m}^3$ .

Nel caso di funzionamento contemporaneo di entrambe le pompe, vedi figura 18, si ottiene invece un volume sollevato complessivo pari a circa  $271.000 \text{ m}^3$ , per un volume fuoriuscito pari a circa  $70.000 \text{ m}^3$ .

I risultati sopra riportati dimostrano che, a chiavica chiusa e in occasione di un livello di piena del fiume Po elevata e di una piena centennale del cavo Fossadone, sebbene persista il rischio di fuoriuscite per il superamento della quota arginale, le pompe previste riducono i volumi esondati di oltre  $270.000 \text{ m}^3$ , ovvero di circa l'80% rispetto allo stato di fatto.

## 5.2 TR100 – Portata $5 \text{ m}^3/\text{s}$

Si riportano di seguito l'idrogramma di piena del cavo Fossadone impiegato nel modello, ovvero l'idrogramma di riferimento calcolato nella relazione sopra citata, limitato al picco di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , valore pari alla massima portata transitabile in corrispondenza della chiavica. Vengono inoltre riportati i profili di rigurgito del tratto analizzato nell'istante di massimo riempimento, per lo stato di fatto e per lo stato di progetto sia nel caso di una sola pompa attiva sia per il funzionamento contemporaneo di entrambe.

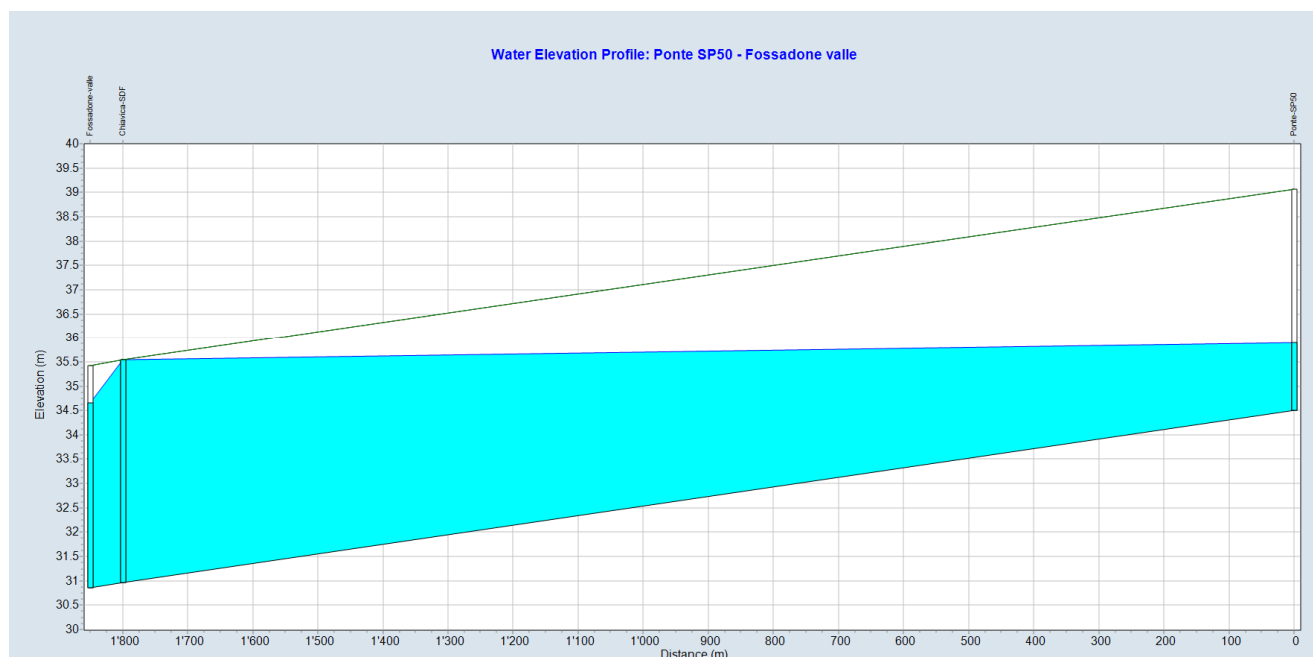


**Figura 19: idrogramma di piena, come da “Relazione idrologica e idraulica” dello Studio Telò del Maggio 2012, per una portata massima transitabile di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$**

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle simulazioni relativi alle portate transittanti e ai volumi fuoriusciti in corrispondenza della chiavica, sia per lo stato di fatto che per lo stato di progetto.

	Qmax Fossadone (l/s)	Total Volume (m³)	Tirante SP50 (m)	Total flooding (m³)
SDF	5000	361000	1,36	304513
PROG. 1 pompa	5000	361000	1,31	153695
PROG. 2 pompe	5000	361000	1,31	33345

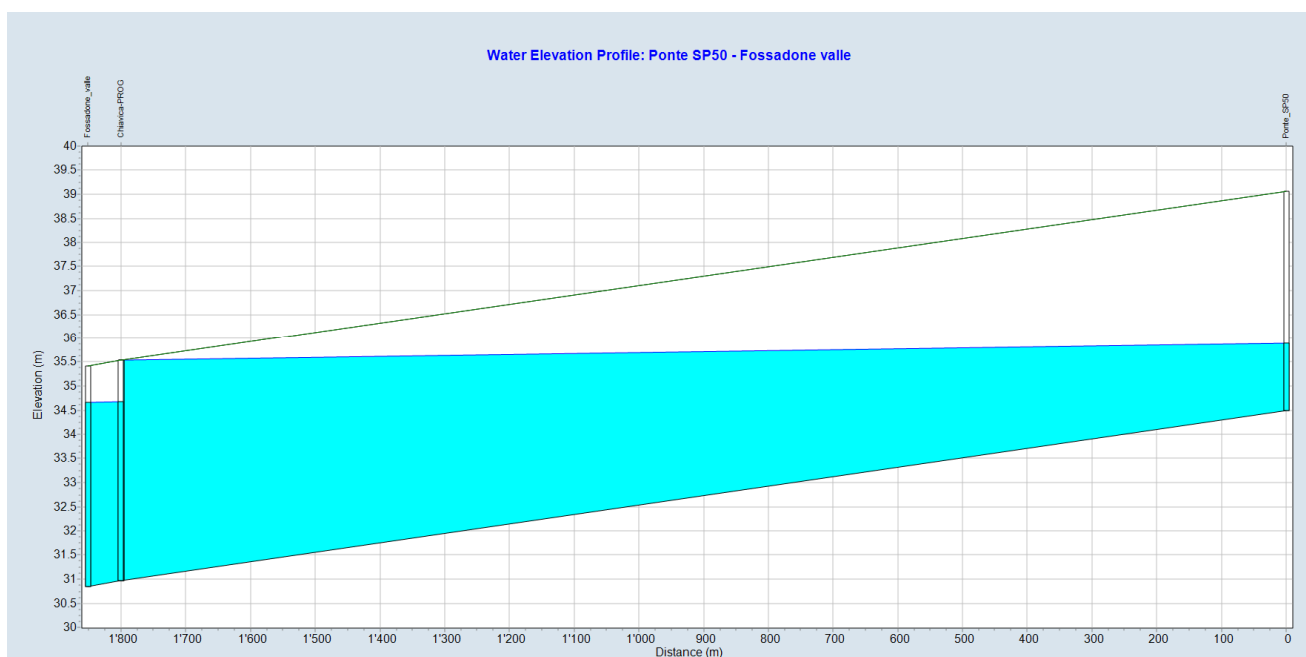
**Tabella 6: Risultati delle simulazioni per il tratto di cavo Fossadone analizzato**



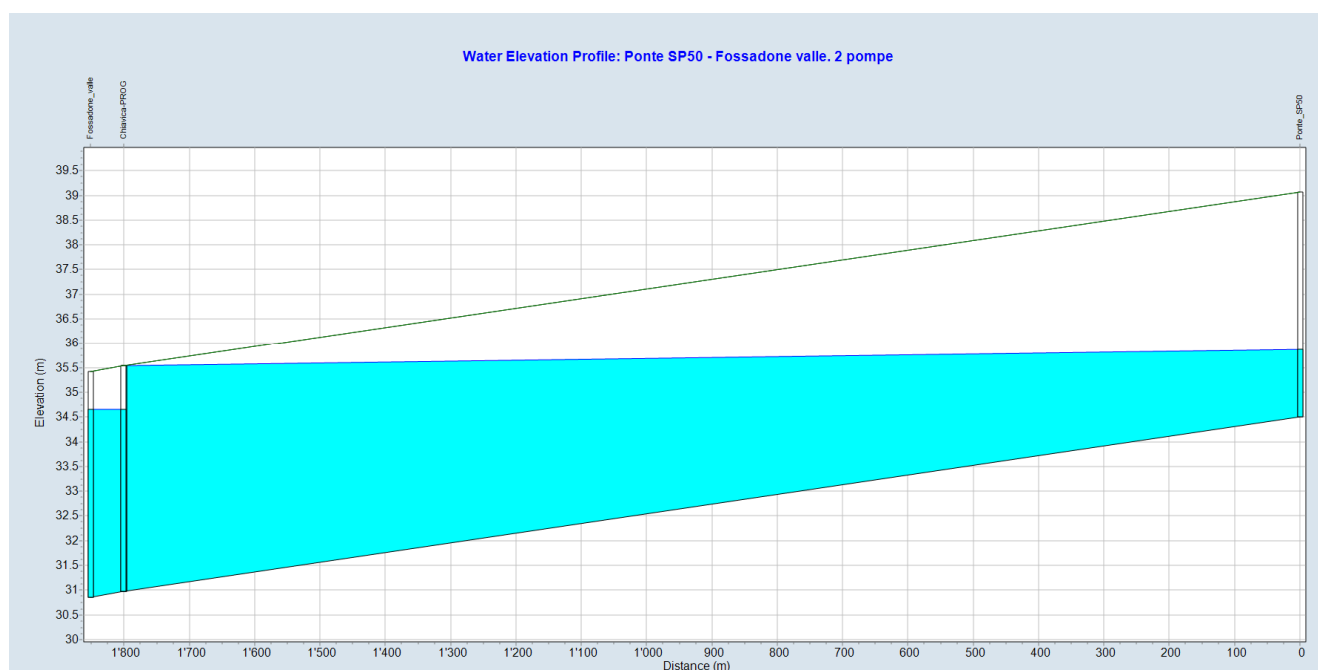
**Figura 20: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica esistente all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata massima transitabile di 5 m³/s**

I risultati dimostrano che, anche in questo scenario, la chiusura della chiavica esistente in occasione della piena del fiume Po e di una piena centennale nel cavo Fossadone, comporta inizialmente il rigurgito e l'invaso dei volumi in ingresso fino al raggiungimento di un tirante pari a circa 1,40 m in corrispondenza del ponte stradale della SP50 e la fuoriuscita, nello stato di fatto, di circa 305.000 m³.





**Figura 21: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica di progetto all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata massima transitabile di 5 m<sup>3</sup>/s. Funzionamento di 1 pompa da 1 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 22: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica di progetto all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata massima transitabile di 5 m<sup>3</sup>/s. Funzionamento contemporaneo di entrambe le pompe da 1 m<sup>3</sup>/s ciascuna.**

L'installazione delle due pompe previste per il nuovo manufatto, ciascuna di portata di esercizio pari a 1 m<sup>3</sup>/s, permette il rilancio di parte dei volumi in ingresso a valle della chiavica in progetto, consentendo di diminuire il carico idraulico e, quindi, minori volumi fuoriusciti in corrispondenza della sezione di sbarramento.

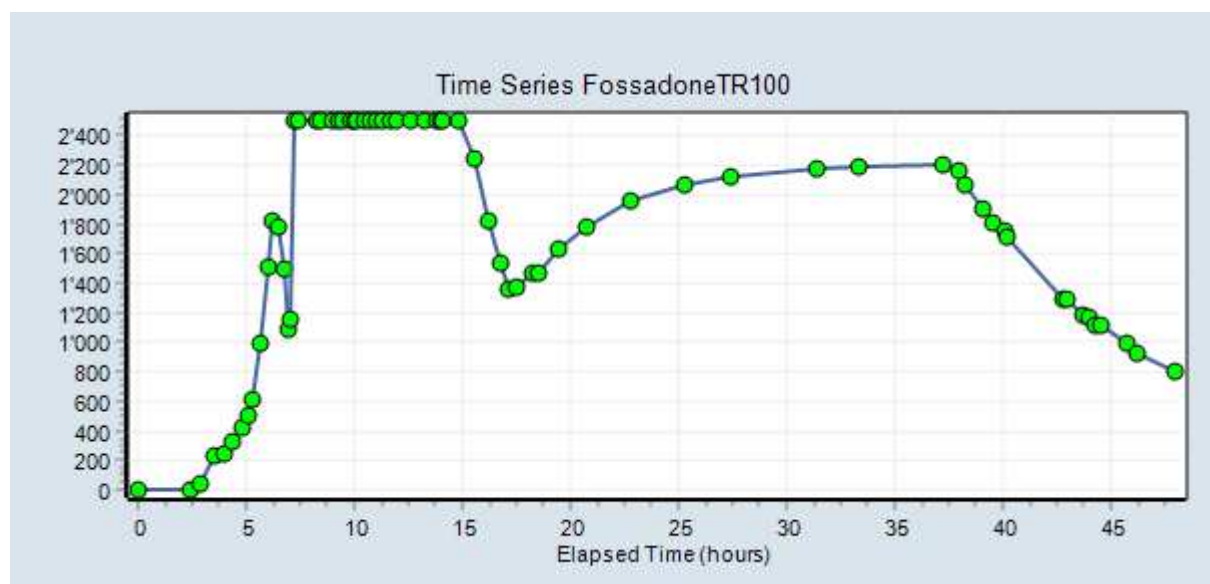
Nel caso di funzionamento di una singola pompa il volume complessivo sollevato nell'arco delle 48 ore di durata dell'idrogramma di piena è pari a circa 151.000 m<sup>3</sup> ed il volume fuoriuscito è pari a circa 154.000 m<sup>3</sup>.

Nel caso di funzionamento contemporaneo di entrambe le pompe, vedi figura 22, si ottiene invece un volume sollevato complessivo pari a circa 271.000 m<sup>3</sup>, per un volume fuoriuscito pari a circa 33.000 m<sup>3</sup>.

I risultati sopra riportati dimostrano che, **a chiavica chiusa e in occasione di un livello di piena del fiume Po elevata e di una piena centennale del cavo Fossadone**, sebbene persista il rischio di fuoriuscite per il superamento della quota arginale, le pompe previste riducono i volumi esondati di oltre 271.000 m<sup>3</sup>, ovvero di circa l'89% rispetto allo stato di fatto.

### 5.3 TR100 – Portata 2,5 m<sup>3</sup>/s

Si riportano di seguito l'idrogramma di piena del cavo Fossadone impiegato nel modello, ovvero l'idrogramma di riferimento calcolato nella relazione sopra citata, **limitato al picco di 2,5 m<sup>3</sup>/s, valore pari alla massima portata transitabile a monte della chiavica in corrispondenza della carraia interpoderale in località Cascina S.Giovanni**. Vengono inoltre riportati i profili di rigurgito del tratto analizzato nell'istante di massimo riempimento, per lo stato di fatto e per lo stato di progetto sia nel caso di una sola pompa attiva sia per il funzionamento contemporaneo di entrambe.

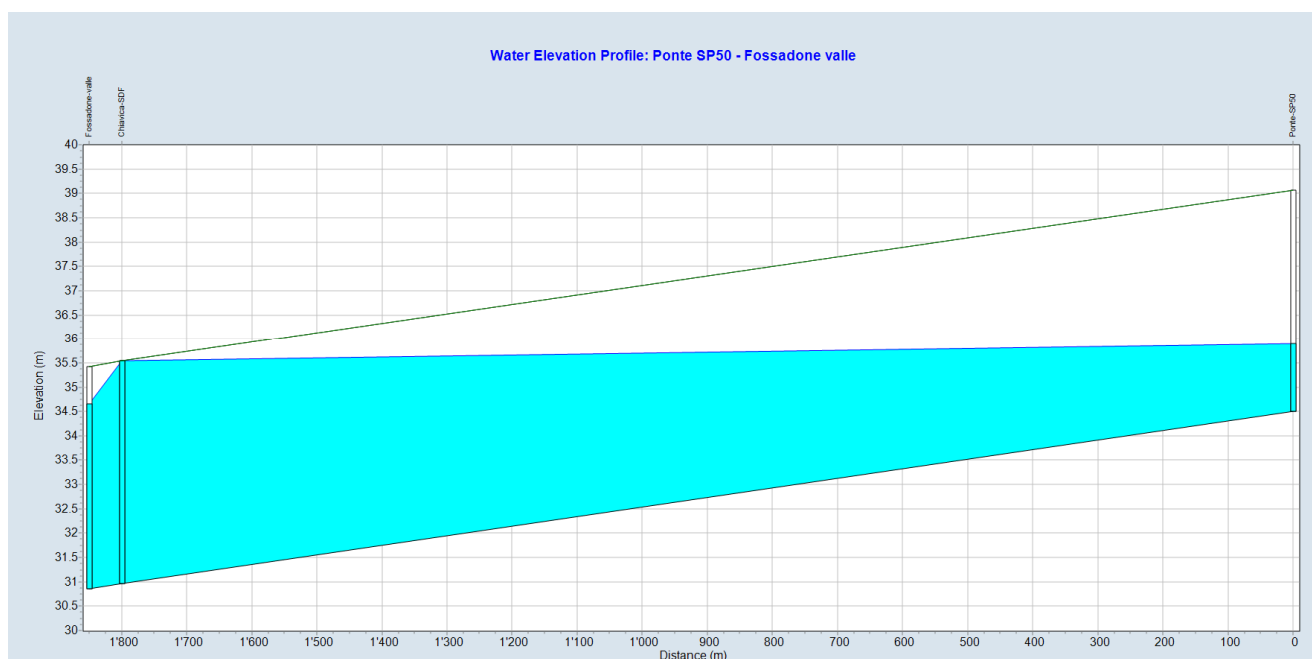


**Figura 23: idrogramma di piena, come da “Relazione idrologica e idraulica” dello Studio Telò del Maggio 2012, per una portata massima transitabile di 2,5 m<sup>3</sup>/s**

Si riportano nella tabella seguente i risultati delle simulazioni relativi alle portate transitive e ai volumi fuoriusciti in corrispondenza della chiavica, sia per lo stato di fatto che per lo stato di progetto.

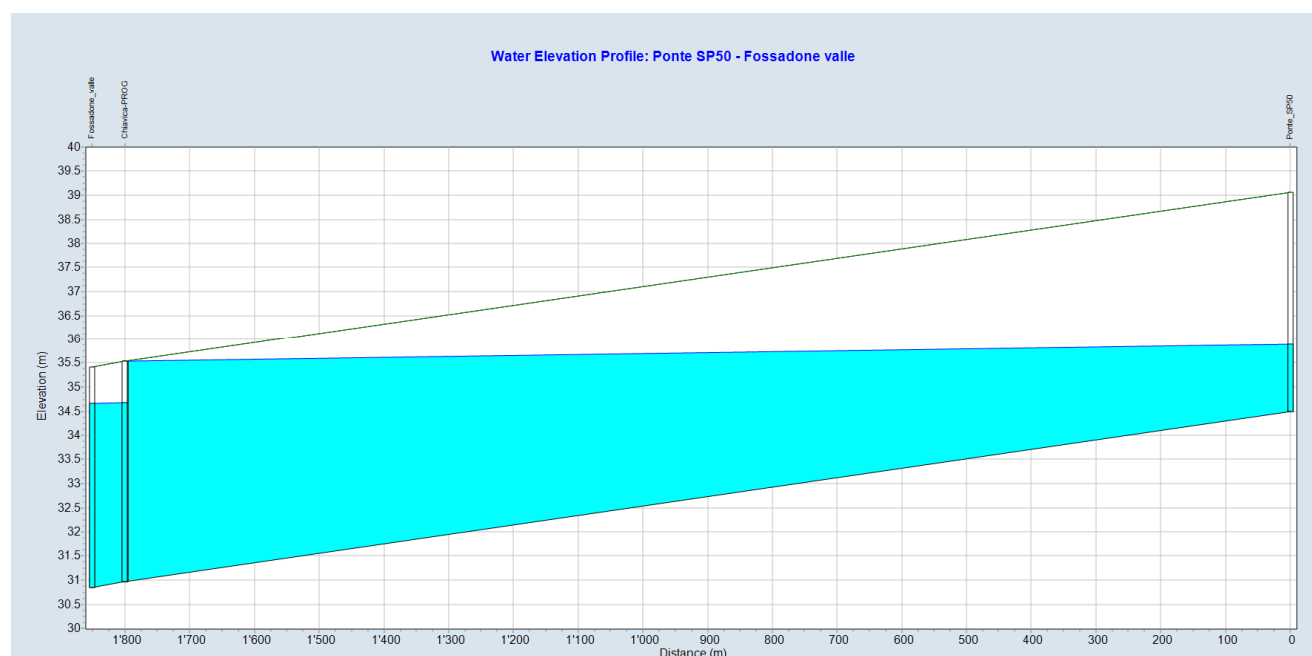
	Qmax Fossadone (l/s)	Total Volume (m <sup>3</sup> )	Tirante SP50 (m)	Total flooding (m <sup>3</sup> )
SDF	2.500	301.000	1,09	245.090
PROG. 1 pompa	2.500	301.000	1,06	94.209
PROG. 2 pompe	2.500	301.000	1,06	0

**Tabella 7: Risultati delle simulazioni per il tratto di cavo Fossadone analizzato**

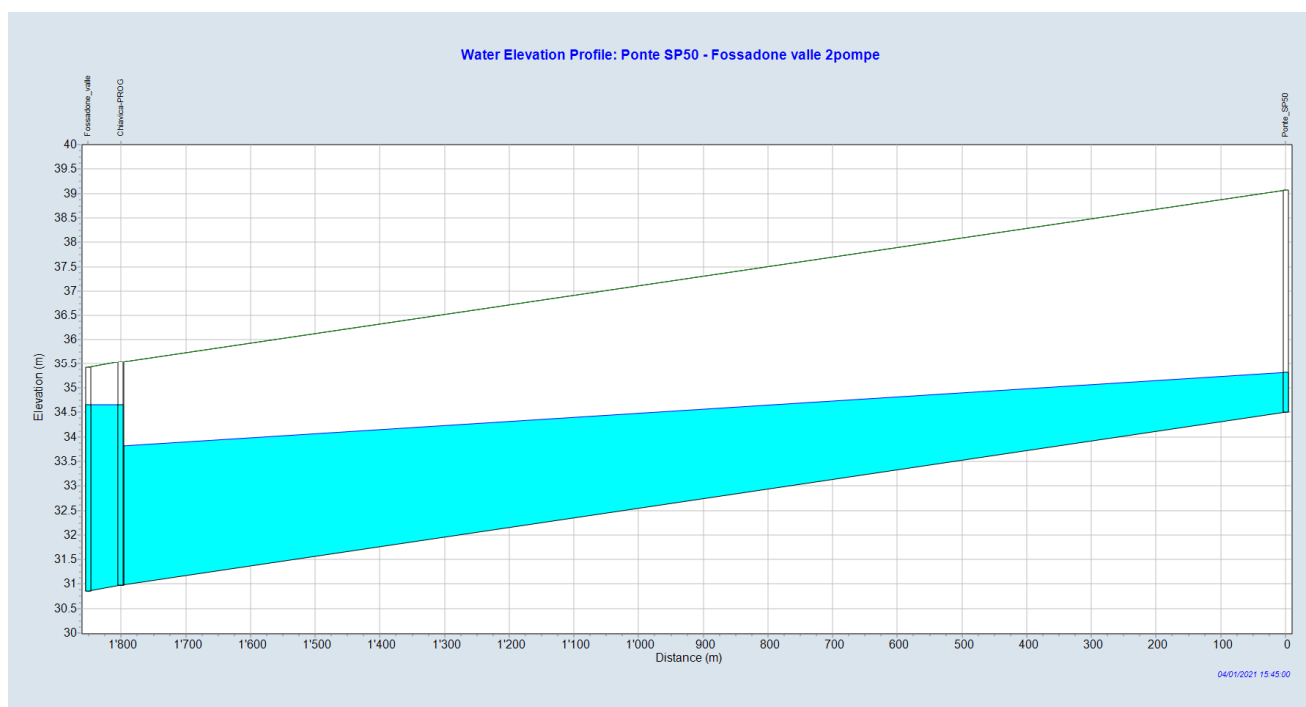


**Figura 24: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica esistente all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata massima transitabile di 2,5 m<sup>3</sup>/s**

I risultati dimostrano che, anche in questo scenario, la chiusura della chiavica esistente in occasione della piena del fiume Po e di una piena centennale nel cavo Fossadone, comporta inizialmente il rigurgito e l'invaso dei volumi in ingresso fino al raggiungimento di un tirante pari a circa 1,10 m in corrispondenza del ponte stradale della SP50 e la fuoriuscita, nello stato di fatto, di circa 245.000 m<sup>3</sup>.



**Figura 25: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica di progetto all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata massima transitabile di 2,5 m<sup>3</sup>/s. Funzionamento di 1 pompa da 1 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 26: profilo di rigurgito dalla SP50 fino a valle della chiavica di progetto all'istante di massimo riempimento per un livello di piena del fiume Po di 34,66 m s.l.m. e una portata massima transitabile di 2,5 m<sup>3</sup>/s. Funzionamento contemporaneo di entrambe le pompe da 1 m<sup>3</sup>/s ciascuna.**

L'installazione delle due pompe previste per il nuovo manufatto, ciascuna di portata di esercizio pari a 1 m<sup>3</sup>/s, permette il rilancio di parte dei volumi in ingresso a valle della chiavica in progetto, consentendo di diminuire il carico idraulico e, quindi, minori volumi fuoriusciti in corrispondenza della sezione di sbarramento.

Nel caso di funzionamento di una singola pompa il volume complessivo sollevato nell'arco delle 48 ore di durata dell'idrogramma di piena è pari a circa 151.000 m<sup>3</sup> ed il volume fuoriuscito è pari a circa 94.000 m<sup>3</sup>.

**Nel caso di funzionamento contemporaneo di entrambe le pompe, vedi figura 26, si ottiene invece un volume sollevato complessivo pari a circa 245.000 m<sup>3</sup>, permettendo il sollevamento delle portate in arrivo prima del raggiungimento della quota sponale e senza comportare quindi fuoriuscite e allagamenti.**

I risultati sopra riportati dimostrano che, a chiavica chiusa e in occasione di un livello di piena del fiume Po elevata e di una piena centennale del cavo Fossadone, l'attivazione delle due pompe in progetto permettono di evitare la fuoriuscita delle portate in corrispondenza del manufatto.

## 6 OPERE PROVVISORIALI

Durante i lavori per la realizzazione del nuovo manufatto di progetto, si rendono necessarie opere di cantierizzazione in alveo per garantire lo svolgimento in sicurezza dei lavori sia per quanto riguarda l'incolumità degli operai sia per la conservazione di materiali e mezzi evitando interazioni negative con le acque superficiali.

Scopo della analisi idraulica illustrata nel presente capitolo è la verifica delle opere di supporto previste, ed in particolare la verifica che le sezioni di deflusso in progetto per le opere provvisorie siano adeguate alle portate che possono transitare durante le fasi di cantiere per tutta la durata dei lavori.

### 6.1 Calcolo della portata di deflusso

Da progetto si prevede, durante le fasi di realizzazione delle opere, la posa di una condotta circolare di diametro DN1700 e sviluppo pari a circa 33 m in corrispondenza della sezione di deflusso della chiavica (sezioni di rilievo Fossadone 9-8-7). Il calcolo della portata massima sostenibile viene fatto impiegando la formula di Chezy, riportata di seguito, per una condotta circolare a pelo libero in moto permanente:

$$Q = k \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

dove:

Q = portata massima sostenibile (m<sup>3</sup>/s)

k = coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (m<sup>1/3</sup>/s)

A = superficie della sezione della condotta (m<sup>2</sup>)

R = raggio idraulico (m)

i = pendenza media (m/m)

Considerando una pendenza della condotta pari a circa 0,3‰ e un coefficiente di scabrezza pari a circa 100 m<sup>1/3</sup>/s per tubi in acciaio ed ipotizzando un grado di riempimento della condotta pari a 90%, mantenendo così un franco di sicurezza, si ottiene una portata massima transitabile pari a circa 7,49 m<sup>3</sup>/s. Valore analogo a quello calcolato nella "Relazione idrologica e idraulica" dello Studio Telò del Maggio 2012 per la portata al colmo del cavo Fossadone in occasione di eventi di pioggia con tempo di ritorno pari a 100 anni.

Considerato che la vita utile dell'opera è pari a 200 anni e che la durata dei lavori è prevista in circa 12 mesi, il tempo di progetto per le opere provvisorie, secondo le indicazioni della "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B" approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n°2 dell'11 Maggio 1999 e fatte proprie dalle Norme di Attuazione e Direttive del Piano del PAI di recente pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale (Settembre 2001), imponendo un tempo di ritorno di riferimento pari a 200 anni è calcolato mediante la formula seguente:

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - (1 - 1/TR)^{V/c}}$$

dove:

TR tempo di ritorno di riferimento = 200 anni;

V durata dell'opera = 200 anni;

c durata delle lavorazioni in alveo = 12 mesi;



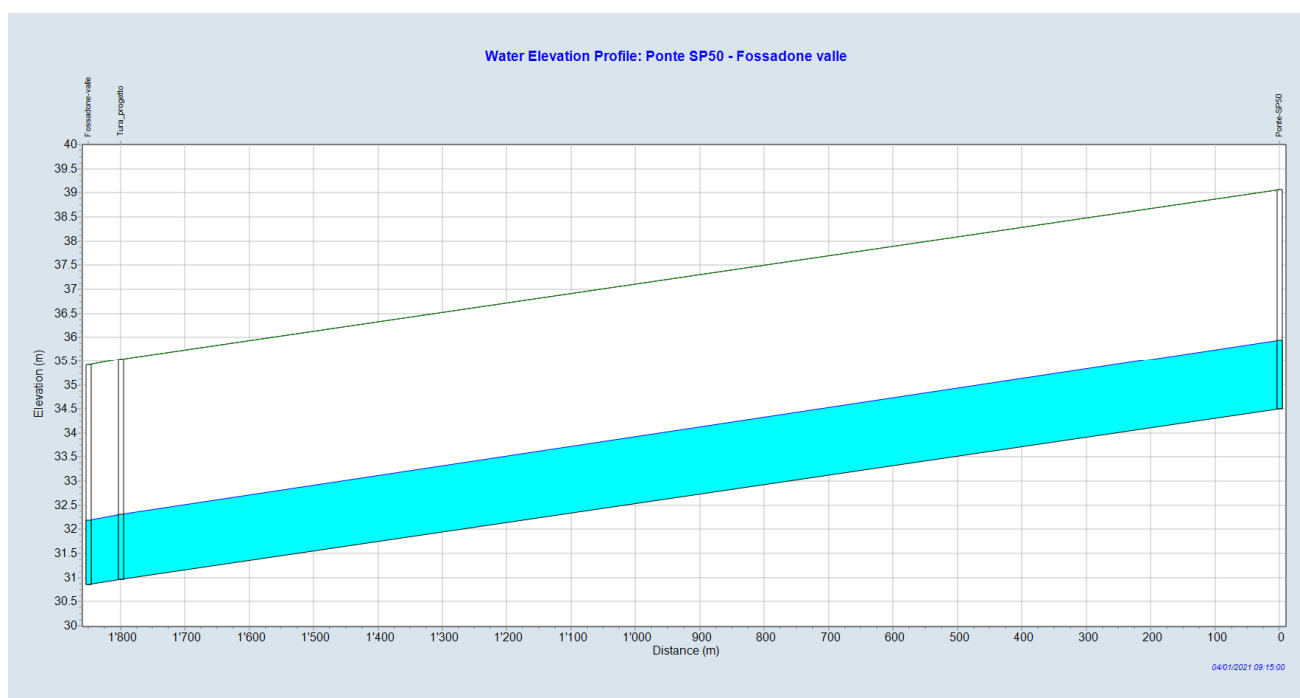
Tpr tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali (anni);

Si ricava che, per una durata delle lavorazioni pari a 12 mesi il Tpr = 1.58 anni. La condotta circolare DN1700 prevista per le fasi di cantierizzazione, permettendo il deflusso di portate superiori alla portata al colmo calcolata per piene con TR 100 anni, è verificata per garantire la sicurezza idraulica durante i lavori di realizzazione della chiavica per il tempo di ritorno di progetto. Si evidenzia inoltre che durante i lavori, per circa 4 mesi sarà presente una condotta circolare aggiuntiva, anch'essa di diametro DN1700, permettendo dunque il deflusso di una portata doppia rispetto a quella calcolata nelle pagine precedenti.

## 6.2 Dimensionamento della tura

Durante le fasi di cantierizzazione è prevista la realizzazione di una tura di altezza adeguata a garantire la sicurezza idraulica di personale e mezzi per i livelli idrometrici di riferimento. Ai fini di un corretto dimensionamento del manufatto è stata condotta una simulazione idraulica mediante il medesimo modello impiegato per le analisi riportate nei paragrafi precedenti, considerando in questo caso un livello di magra del fiume Po e il transito dell'idrogramma di piena di riferimento del Fossadone per TR100 anni in corrispondenza della chiavica in progetto.

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del tratto considerato del cavo Fossadone, all'istante di massimo riempimento.



**Figura 27: profilo longitudinale dalla SP50 fino a valle dei manufatti in progetto all'istante di massimo riempimento per un livello magra del Po e una portata con TR100 anni nel cavo Fossadone**

Dai risultati ottenuti si riporta un livello massimo, raggiunto in corrispondenza del cantiere, pari a circa 1,34 m, corrispondente ad una quota di 32,31 m s.l.m.. Il manufatto previsto è dimensionato per una quota imposta di 32,70 m s.l.m., superiore alla massima quota raggiunta in occasione della portata di piena centennale di riferimento per il cavo Fossadone, come desunta dalla "Relazione idrologica e idraulica" dello Studio Telò del Maggio 2012.