REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI CUNEO

COMUNE DI SANTO STEFANO BELBO

POTENZIAMENTO DEPURATORE DI S.STEFANO BELBO
2° LOTTO – 1° STRALCIO
VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

IL COMMITTENTE

Società Intercomunale Servizi Idrici S.r.l.

P.zza Risorgimento, 1 – 12051 ALBA (CN)

IL TECNICO

Dott. Ing. FEDERICO GATTI

Via Damillano, 4 – 12062 CHERASCO (CN)

Via Serra 63/70 – 17028 SPOTORNO (SV)

Tel: 329-0089766

Mail: gatti.ingegneria@gmail.com

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CUNEO
A2060 Dott. Ing. Federico Gatti

ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

COMMESSA	***LIVELLO***	***TIPOLOGIA***	***ALLEGATO***
IFG_19_04	-	TXT	1
		SCALA	
		-	

00	**08/03/2019**	Emissione per consegna	F.G.	F.G.	F.G.
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato

Questo documento è di proprietà dell'Ing. Federico Gatti e non può essere modificato, copiato, duplicato, riprodotto o divulgato senza l'autorizzazione scritta di quest'ultimo.

Sommario

Premessa 3
Descrizione degli interventi ed obiettivi della presente analisi 4
Riferimenti normativi 6
Contenuti dello studio di compatibilità idraulica 6
Assetto geometrico dell'alveo 8
Caratteristiche morfologiche dell'alveo 8
Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo 14
Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale 14
Portate di piena e dati idrologici 15
Caratteristiche idrologiche 15
Stima delle precipitazioni intense 16
Metodo della Direttiva PAI 17
Metodo TCEV 18
Portate di piena 26
Opere di difesa idraulica 27
Manufatti interferenti 28
Modalità di deflusso della piena 28
Metodo di calcolo e condizioni al contorno 28
Condizioni fisiche di riferimento 29
Analisi del rischio idraulico 30
Prescrizioni 30
Portata di piena di progetto 31
Rischio idraulico accettabile 31
Franco idraulico 31
Piano di emergenza 31
Raccomandazioni 31
Contenuti dell'analisi del rischio idraulico 32
Interventi di riduzione del rischio idraulico 33
Risultati delle analisi idrauliche 33
Commento ai risultati di calcolo 55
Effetti degli interventi in progetto 59
Analisi degli eventi di piena rispetto al rischio idraulico dell'impianto 60
Stima della portata di piena di inizio inondazione 60

Aree inondabili e caratteristiche cinematiche delle correnti di inondazione 61
Analisi della vulnerabilità dell'impianto 61
Descrizione dell'impianto di trattamento 61
Valutazione dell'interferenza tra gli eventi di piena e l'impianto di trattamento 67
Analisi della funzionalità dell'impianto durante gli eventi di piena 69
Identificazioni delle parti dell'impianto vulnerabili rispetto agli eventi di piena 70
Conclusioni 70
Proposte di interventi di riduzione del rischio idraulico 72
Rischio idraulico residuo 75
Descrizione degli interventi per la riduzione del rischio idraulico 76
Installazione di valvole a clapèt e paratoie di sezionamento e regolazione sulle condotte in ingresso ed in uscita dal depuratore 76
Costruzione di una nuova stazione di sollevamento per il rilancio dello scarico dell'impianto al di sopra dei livelli di piena del torrente Belbo 78
Installazione di un gruppo elettrogeno per l'alimentazione dei dispositivi volti alla protezione idraulica dell'impianto 81
Ulteriori lavorazioni 81
Quadro economico degli interventi 82
Appendice: calcoli idraulici relativi agli impianti in progetto 84
Appendice: calcolo sommario della spesa per la realizzazione degli interventi di riduzione del rischio idraulico 86

Premessa

La presente relazione illustra le analisi idrologiche ed idrauliche volte alla valutazione della compatibilità idraulica del depuratore di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda, e delle relative arginature.

Dette analisi sono state sviluppate in riferimento alle 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" (Direttiva n.4) del Piano per l'Assetto Idrogeologico (nel seguito, PAI).

Sulla scorta delle medesime analisi, è stato inoltre valutato il rischio idraulico del depuratore, in accordo alla "Direttiva per la riduzione del rischio idraulico degli impianti di trattamento delle acque reflue e delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti ubicati nelle fasce fluviali "A" e "B" e nelle aree in dissesto idrogeologico "Ee" ed "Eb"" (Direttiva n.1).

Tali attività hanno consentito di individuare i più opportuni interventi di adeguamento dell'impianto nell'ottica di ridurre entro limiti accettabili il suddetto rischio idraulico ed hanno altresì costituito la base conoscitiva necessaria alla redazione del Piano di Emergenza del depuratore.

Conformemente agli strumenti normativi sopra citati, nei successivi paragrafi si procederà alla caratterizzazione idrologica del sottobacino del torrente Belbo chiuso alla sezione del depuratore, definendo le portate di piena per diversi tempi di ritorno. Saranno quindi analizzate le modalità di deflusso di dette portate, quantificandone i livelli idrici in corrispondenza degli argini a protezione del depuratore e stimando il rischio idraulico associato al verificarsi degli eventi di piena oggetto di studio.

Al termine delle summenzionate valutazioni, saranno trattati i possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico, selezionando quelli più convenienti sotto il profilo del rapporto costi-benefici.

La società SISI S.r.l., Società Intercomunale Servizi Idrici S.r.l., gestore del depuratore di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda, ha affidato allo scrivente professionista, Dott. Ing. Federico Gatti, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo al n. A2060, l'incarico di redigere la presente Relazione Idrologica e Idraulica con provvedimento del 12/02/2019 e relativo ordine del 20/02/2019.

Descrizione degli interventi ed obiettivi della presente analisi

L'impianto di depurazione di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda, è stato realizzato negli anni '80 del secolo scorso e sorge sulla sponda sinistra del torrente Belbo, in un'area golenale racchiusa tra il corso d'acqua e le pendici dei vicini rilievi collinari, ricompresa nelle fasce fluviali "A" e "B" individuate dal PAI.

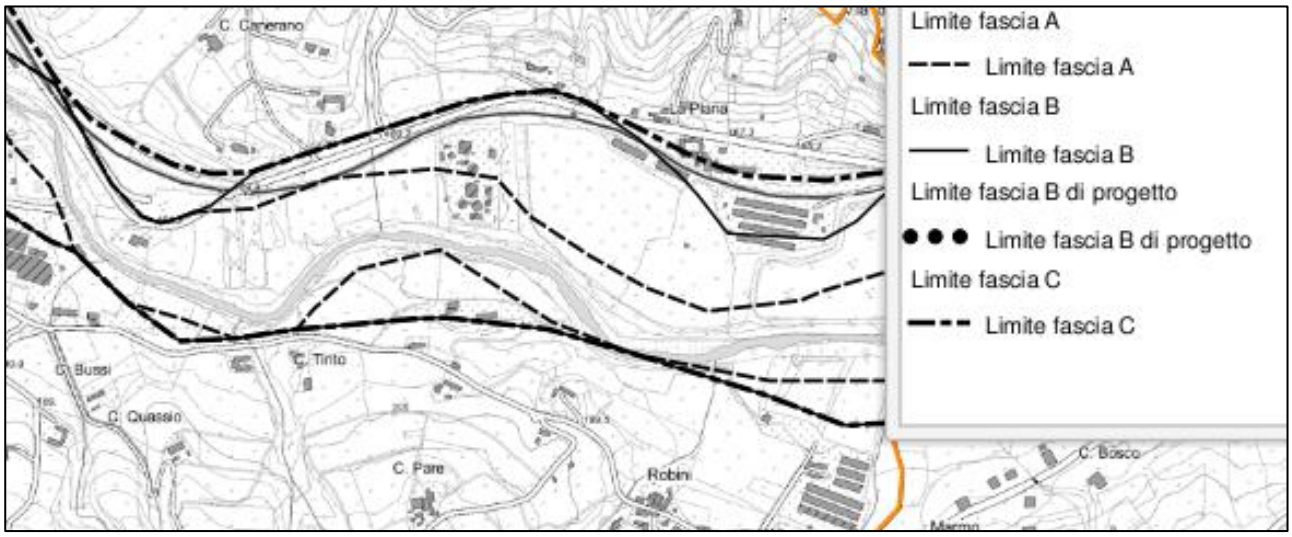

Figura 1 – Le fasce fluviali delimitate nell'ambito del PAI per il tratto di torrente Belbo in cui sorge il depuratore in esame

Al fine di salvaguardare il depuratore dai fenomeni alluvionali, successivamente agli eventi calamitosi del 1994, quest'ultimo è stato protetto con nuove arginature appositamente realizzate sulla base del progetto redatto dall'Ing. Fulvio Bernabei dello Studio DIZETA Ingegneria.
Negli anni il depuratore è stato più volte sottoposto ad interventi di adeguamento e potenziamento, aventi ad oggetto la sostituzione, la ricostruzione o l'ampliamento di comparti impiantistici sempre compresi all'interno del perimetro delle suddette arginature.
Alla data odierna, risulta in fase di approvazione da parte degli Enti Competenti un ulteriore progetto di potenziamento di alcune sezioni di trattamento. Nel dettaglio, tale progetto, denominato "Potenziamento depuratore di S.Stefano Belbo – 2° lotto – 1° stralcio" e redatto dall'Ing. Fabrizio Saglietto della Società Saglietto Engineering S.r.l., prevede:

- la realizzazione di un nuovo comparto di dissabbiatura, mediante l'installazione di un nuovo dissabbiatore prefabbricato;
- la rimozione di un setto in calcestruzzo all'interno del reattore biologico della linea di ossidazione "A";

- la costruzione di un nuovo chiarificatore finale costituito da una vasca circolare in calcestruzzo armato, parzialmente interrata;
- l'installazione di una nuova unità di filtrazione finale;
- la posa dei necessari collegamenti idraulici ed elettrici e la realizzazione di opere complementari (pozzetti interrati per l'alloggiamento di strumenti di misura e delle pompe di alimentazione del nuovo filtro, opere di miglioramento dell'illuminazione esterna, adeguamento dell'impianto di terra).

Anche in questo caso, gli interventi interessano aree racchiuse dai rilevati arginali del depuratore.

Ciò premesso, tenuto conto del fatto che alcuni dei nuovi manufatti in progetto ricadono all'interno della fascia "A" (vasca di sedimentazione) e della fascia "B" (comparto di dissabbiatura), in sede di Conferenza dei Servizi del 05/11/18, l'Agenzia Interregionale per il Po (AIPO) ha richiesto, in primo luogo, di valutare la possibilità di una localizzazione alternativa delle nuove opere al di fuori delle fasce fluviali.

Questa ipotesi è stata scartata dal Gestore, SISI S.r.l., con specifica dichiarazione resa in data 04/12/18. Con riferimento a tale evenienza, la stessa AIPO ha subordinato l'espressione del parere di propria competenza in ordine all'approvazione del citato progetto alla redazione di un idoneo studio di compatibilità idraulica, da effettuarsi in conformità alla "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B" del PAI, facendo riferimento, in particolare, ai profili di piena del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA). Detto studio è inteso a verificare l'effettiva adeguatezza delle odierne arginature a contenere i livelli di piena in corrispondenza del deflusso della portata di progetto con tempo di ritorno pari a duecento anni.

L'AIPO ha inoltre richiesto che il Gestore provveda alla predisposizione di un Piano di Emergenza per tenere conto dell'eventuale insufficienza delle arginature o della possibile perdita di funzionalità di queste ultime.

Ciò considerato, in attuazione delle suddette prescrizioni formulate dall'AIPO, lo scrivente professionista è stato chiamato all'elaborazione del presente studio le cui finalità sono di seguito riassunte:

- verificare la compatibilità idraulica delle arginature esistenti, le quali racchiudono interamente i manufatti del depuratore, compresi quelli di nuova costruzione previsti nel progetto in fase di approvazione;
- determinare i livelli di rischio idraulico per l'impianto e gli operatori in corrispondenza degli eventi di piena di differente tempo di ritorno;

- individuare e caratterizzare, anche economicamente, gli eventuali interventi di adeguamento del depuratore utili alla riduzione del rischio idraulico;
- fornire gli elementi conoscitivi necessari alla redazione del Piano di Emergenza del depuratore.

Riferimenti normativi

Il tratto del torrente Belbo interessato dalla presente analisi è soggetto alla delimitazione delle fasce fluviali nell'ambito del PAI ed è inoltre ricompreso nelle mappe di pericolosità predisposte nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

Ai fini della presente verifica di compatibilità idraulica e per la valutazione del rischio idraulico del depuratore, si assumeranno come riferimento per i contenuti e per le modalità di analisi le seguenti Direttive del PAI:

- "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica".
- "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B";
- "Direttiva per la riduzione del rischio idraulico degli impianti di trattamento delle acque reflue e delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti ubicati nelle fasce fluviali "A" e "B" e nelle aree in dissesto idrogeologico "Ee" ed "Eb"".

Le indicazioni derivanti dai suddetti strumenti normativi saranno integrate con i più recenti elementi conoscitivi contenuti nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

Contenuti dello studio di compatibilità idraulica

L'art. 38 delle Norme di Attuazione del PAI riassume i criteri generali per la valutazione della compatibilità idraulica di opere interferenti con le aree interessate dal deflusso delle piene, prescrivendo che le stesse "*non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di*

invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo". Al riguardo, per quel che concerne gli interventi oggetto della progettazione in fase di approvazione, risultando interni al perimetro delle esistenti arginature a protezione dell'odierno impianto, essi soddisfano le condizioni sopra richiamate. L'obiettivo principale del presente studio è pertanto costituito dall'analisi delle condizioni di rischio idraulico dell'intero depuratore, analisi che comprende tanto le opere esistenti quanto quelle in progetto.

Ciò premesso, la citata Direttiva sulla compatibilità idraulica prevede che gli studi debbano identificare e quantificare i seguenti effetti degli interventi in progetto sul corso d'acqua rispetto alle condizioni fisiche ed idrologiche precedenti alla realizzazione degli stessi:

- E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena;
- E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
- E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti;
- E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento;
- E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena;
- E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

La medesima Direttiva, al capitolo 2, definisce l'articolazione degli studi di compatibilità idraulica:

"lo studio si compone dei seguenti punti, che costituiscono la caratterizzazione conoscitiva del sistema fluviale e la valutazione degli effetti ascrivibili al progetto di intervento:

- *assetto geometrico dell'alveo;*
- *caratteristiche morfologiche dell'alveo;*
- *caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo;*
- *caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale;*
- *portate di piena;*
- *opere di difesa idraulica;*
- *manufatti interferenti;*
- *modalità di deflusso in piena;*
- *effetti degli interventi in progetto.*

L'ampiezza e l'approfondimento delle indagini e delle valutazioni relative a ciascuno dei punti sopra indicati devono essere commisurati all'importanza dell'intervento e alla rilevanza delle interazioni indotte con l'assetto idraulico del corso d'acqua interessato."

Conformemente alle prescrizioni sopra riportate, gli aspetti di interesse elencati saranno singolarmente analizzati ai successivi paragrafi.

Assetto geometrico dell'alveo

La descrizione geometrica dell'alveo del torrente Belbo nel tratto di interesse è stata effettuata sulla base della Cartografia Tecnica Regionale e delle sezioni trasversali topografiche ricavate attraverso apposito rilievo topografico, al fine di disporre di una rappresentazione aggiornata della morfologia del corso d'acqua.

In particolare, le sezioni trasversali sono distribuite tra la traversa fluviale presente in corrispondenza della cassa di laminazione di Canelli (estremo di valle) ed il ponte della S.P. 592 (estremo di monte) e presentano un'estensione tale da comprendere l'intero alveo di piena, almeno sino al limite della Fascia B.

L'inquadramento planimetrico dell'area di indagine e le suddette sezioni topografiche sono riportati negli elaborati grafici allegati.

Caratteristiche morfologiche dell'alveo

Il tratto del torrente Belbo oggetto della presente indagine si sviluppa attraverso un'area a prevalente destinazione agro-silvicola, poco più a valle del centro abitato di Santo Stefano Belbo.

L'alveo inciso appare sostanzialmente stabile sia sotto il profilo planimetrico (non sono riscontrabili, localmente, evidenze di alvei abbandonati o forme fluviali riattivabili) sia in termini altimetrici (non sono stati osservati, anche in corrispondenza degli ultimi eventi alluvionali più gravosi, significativi fenomeni di alterazione delle quote del fondo alveo).

Il tratto di corso d'acqua è inoltre caratterizzato dalla presenza di arginature (prevalentemente in sponda sinistra) che tendono a mantenere il deflusso delle piene ordinarie entro i limiti spaziali dell'alveo inciso. In particolare, all'estremo di valle dell'area in esame, è stata realizzata una cassa di laminazione con l'obiettivo di attenuare l'onda di piena in ingresso al vicino abitato di Canelli. L'opera è corredata di un manufatto regolatore che, operando una contrazione della sezione fluviale ed il conseguente locale innalzamento dei livelli idrici, permette di deviare un'aliquota delle portate affluenti verso un invaso ricavato sulla sponda sinistra del Belbo e delimitato da un apposito rilevato

arginale. Tali volumi idrici temporaneamente accumulati sono restituiti al corso d'acqua in una fase successiva, permettendo così la riduzione della portata al colmo transitante a valle della cassa.

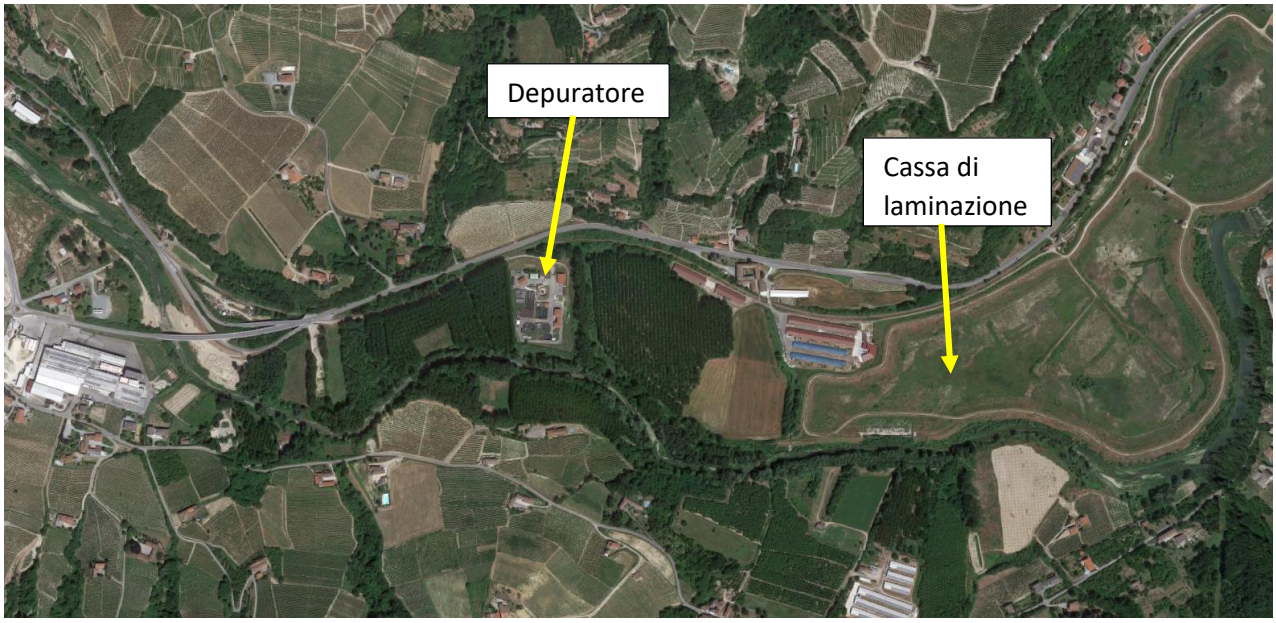

Figura 2 – Immagine aerea del tratto del torrente Belbo oggetto di indagine

Figura 3 – Il torrente Belbo a valle del ponte della S.P. 592 (estremo di monte del tratto oggetto di indagine)

Figura 4 – Il torrente Belbo a monte del depuratore

Figura 5 – L'area golenale in sponda sinistra a monte del depuratore. Sullo sfondo è visibile l'impianto protetto dal relativo argine

Figura 6 – L'area del depuratore protetta dalle relative arginature.

Figura 7 – Il manufatto di scarico del depuratore. La tubazione di diametro maggiore è relativa allo sfioro a monte dell'impianto, quella di diametro minore è relativa allo scarico del refluo trattato.

Figura 8 – Il torrente Belbo nel tratto compreso tra il depuratore e la cassa di laminazione di Canelli

Figura 9 – Il torrente Belbo nel tratto a valle del manufatto regolatore della cassa di laminazione di Canelli

Figura 10 – Il manufatto regolatore e lo sfioratore laterale di alimentazione della cassa di laminazione di Canelli

Figura 11 – La traversa fluviale all'estremo di valle del tratto di corso d'acqua oggetto di indagine.

Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo

Il materiale d'alveo, almeno superficialmente, è di natura prevalentemente fine, sabbiosa-limosa, in conseguenza delle caratteristiche litologiche dei versanti del bacino drenato e della ridotta pendenza dell'alveo nel tratto di fondo-valle in esame. Occasionalmente, al di sotto della suddetta coltre di materiali fini, emergono depositi ghiaiosi e ciottolosi e formazioni rocciose.

Ai fini della valutazione dei fenomeni di interesse per la presente indagine (che non comprendono analisi sulla capacità di trasporto solido nel tratto di corso d'acqua interessato o su fenomeni erosivi localizzati), non risulta necessario procedere ad una più approfondita caratterizzazione del materiale d'alveo mediante specifiche analisi granulometriche.

Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale

L'area oggetto di studio è caratterizzata da un uso del suolo principalmente agro-silvicolo. L'elemento antropico più rilevante e caratterizzato dal maggiore impatto ambientale (sia sotto il profilo paesaggistico sia in termini di emissioni verso il corpo idrico) è rappresentato dal depuratore di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda. Come già detto, all'estremo di valle del tratto di corso d'acqua analizzato, sulla sponda sinistra, è inoltre presente la cassa di espansione di Canelli, la quale ha determinato una significativa alterazione delle caratteristiche ambientali e paesistiche preesistenti.

L'alveo inciso è sostanzialmente sgombro da vegetazione naturale, la quale si concentra prevalentemente lungo la fascia ripariale e si caratterizza per ampi tratti per la presenza di alberi di alto fusto. Le aree golenali sono occupate per estese porzioni (in particolare in sponda sinistra, a monte e valle del depuratore) da piantagioni arboree sempre di alto fusto.

L'ambiente fluviale è stato moderatamente alterato dalle attività antropiche (edifici, viabilità, opere di difesa spondale). In ogni caso, le opere in progetto, ricadenti all'interno dell'area del depuratore, non arrecheranno apprezzabili impatti negativi sulle diverse componenti naturali, ambientali e paesistiche circostanti. Per maggiori dettagli al riguardo, si rimanda agli specifici elaborati progettuali.

Portate di piena e dati idrologici

Le portate di piena così come i valori dei principali parametri idrologici alla base del presente Studio sono state ricavate sulla scorta delle indicazioni metodologiche e dei dati contenuti nella *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"* del PAI e nei relativi allegati nonché negli elaborati del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni. Nei successivi paragrafi saranno riassunte le analisi effettuate ai fini della determinazione delle portate di progetto e di altri parametri significativi.

Dal punto di vista del regime idrologico, i fenomeni di piena in esame si osservano tipicamente nei mesi primaverili (Marzo-Aprile) ed autunnali (da Ottobre-Novembre).

Caratteristiche idrologiche

Le caratteristiche dimensionali e morfologiche del bacino del torrente Belbo, chiuso alla sezione del depuratore sono riassunte nella seguente tabella. Esse sono state ricavate dai dati contenuti nel PAI e nel PGRA nonché dall'esame della Cartografia Tecnica Regionale.

Parametro	**U.d.m.**	**Valore**
Area del bacino	km^2	271,5
Lunghezza asta principale	km	53,7
Quota alla sezione di chiusura del bacino	m s.l.m.	154,3
Quota massima del bacino	m s.l.m.	891
Quota media del bacino	m s.l.m.	452

A partire dai dati sopra riportati, è possibile calcolare il tempo di corrivazione del bacino attraverso la formula di Giandotti (applicabile per bacini di estensione superiore a 170 km^2):

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.54L}{0.8\sqrt{(\overline{H} - H_{\min})}}$$

dove S è la superficie totale del bacino, L è la lunghezza dell'asta fluviale principale, $\overline{H}$ è la quota media del bacino e H_{min} è la quota della sezione di chiusura.

Si ottiene:

T_c = 10,76 h

È stata inoltre utilizzata la formula di Kirpich:

$$T_C = 0{,}000325 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0{,}77}$$

in cui i_a è la pendenza dell'asta principale, ricavando:

T_c = 7,96 h

Altre formulazioni valide per il bacino in esame forniscono dati analoghi nell'intorno dei due valori sopra riportati. Le differenze tra i risultati delle varie relazioni dipendono dai parametri morfologici sintetici (pendenza e lunghezza dell'asta principale, superficie del bacino, pendenza dei versanti, etc.) che vengono di volta in volta considerati.

In ogni caso, soprattutto nell'ottica della successiva redazione del Piano di Emergenza del depuratore, si può dunque concludere che il bacino in esame, alla sezione di chiusura posta immediatamente a monte dell'impianto di Santo Stefano Belbo, presenta tempi di corrivazione dell'ordine di 8 ÷ 11 h.

Ai fini delle successive valutazioni, sarà considerato un tempo di corrivazione medio di 9,36 h.

Stima delle precipitazioni intense

Come si vedrà meglio nel seguito, gli strumenti di pianificazione territoriale (PAI, PGRA) forniscono stime di riferimento per le portate di piena del torrente Belbo a monte della cassa di laminazione di Canelli. Ai fini della redazione del Piano di Emergenza del depuratore di Santo Stefano Belbo, risulta comunque necessario caratterizzare gli eventi di piena anche rispetto agli associati afflussi meteorici. Nei successivi paragrafi, si procederà quindi ad una valutazione delle precipitazioni relative ad eventi meteoclimatici di elevato tempo di ritorno, corrispondenti alle portate di piena di cui si valuterà l'interazione con il depuratore e con le relative opere di protezione idraulica.

Metodo della Direttiva PAI

La *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"* del PAI contiene una serie di indicazioni metodologiche e di dati idrologici utili alla determinazione delle portate di piena. Per alcune sezioni dei principali corsi d'acqua, tali portate sono già state calcolate; in generale, è poi possibile ricavare queste ultime a partire dalla stima delle precipitazioni intense e dall'associata trasformazione afflussi-deflussi.

In quest'ottica, gli allegati alla Direttiva contengono i parametri *a* ed *n* delle curve di probabilità pluviometrica,

$$h(t) = a\, t^n$$

associate a diversi tempi di ritorno.

I parametri tabulati derivano da un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging, secondo un reticolo di 2 km di lato.

È quindi possibile, per le diverse aree del bacino di interesse, ricavare il valore dell'altezza di pioggia *h,* riferita ad una specifica areola del bacino ed associata ad un evento di tempo di ritorno T_R e di durata *t*. La somma delle altezze di pioggia relative alle singole aree elementari in cui risulta suddiviso il bacino permette di ricavare il volume complessivo di pioggia riversato al suolo nel corso dell'evento meteorico di progetto.

La trasformazione di tale volume idrico nella portata defluente può essere effettuata con l'applicazione del Metodo Razionale, espresso dalla relazione:

$$Q = C \cdot i_r \cdot S$$

dove *C* è il coefficiente di deflusso, *S* è la superficie del bacino e i_r è l'intensità della pioggia ragguagliata all'area del bacino, costante sul tempo *t,* che si definisce come:

$$i = \frac{h_r}{t}$$

con l'avvertenza di porre h_r pari all'altezza di pioggia ragguagliata e *t* pari al tempo di corrivazione sopra determinato in quanto, in virtù delle ipotesi che stanno alla base del metodo razionale, l'evento di precipitazione che risulta più gravoso ai fini del deflusso è proprio quello di durata pari al tempo di corrivazione del bacino. Per durate inferiori, infatti, non tutte le aree del bacino riescono a contribuire contemporaneamente, in termini di portata, al deflusso complessivo attraverso la sezione

di chiusura mentre, per durate superiori, come è facile dedurre dalla curva di possibilità pluviometrica, l'intensità della precipitazione tende a diminuire.

La formulazione cui effettivamente ci si riconduce è quindi:

$$Q = C \cdot \frac{h \cdot S}{T_c}$$

Venendo ora alla stima delle precipitazioni e delle portate per la sezione del torrente Belbo in corrispondenza del depuratore di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda, sono state condotte le seguenti operazioni:

- suddivisione del bacino del Belbo, chiuso alla sezione del depuratore, in aree elementari a cui sono state associate le curve di possibilità pluviometrica riportate nella citata Direttiva del PAI;
- calcolo, per ciascuna area elementare, dell'altezza di precipitazione associata ad un evento meteorico di durata pari al tempo di corrivazione del bacino T_c e di tempo di ritorno T_R;
- stima della portata defluente alla sezione di chiusura del bacino attraverso l'applicazione del metodo razionale.

La seguente tabella riassume i valori dei parametri utilizzati ed i risultati ottenuti:

Tempo di ritorno T_R [anni]	Altezza di pioggia ragguagliata h_r [mm]	Coefficiente di deflusso C [-]	Portata al colmo Q [m^3/s]
20	81,6	0,50	326
100	102,8	0,60	497
200	111,8	0,65	581
500	123,8	0,70	703

Metodo TCEV

Negli ultimi decenni si è affermata la tendenza a condurre la stima delle precipitazioni o delle portate di piena di assegnato tempo di ritorno mediante un'analisi statistica su scala regionale, pervenendo a relazioni sintetiche valide per limitate aree omogenee.

Alla base del metodo in esame, è l'applicazione della legge di distribuzione TCEV a scala regionale (Two Component Extreme Value), per la regolarizzazione delle serie dei massimi annuali delle portate al colmo o delle altezze di precipitazione di durata prestabilita.[1]

Il procedimento che, in generale, si applica per giungere alla formulazione di espressioni delle portate al colmo o di altezze di precipitazione di determinato tempo di ritorno, si fonda su di una cosiddetta procedura "gerarchica", articolata in tre livelli successivi, che sarà qui brevemente descritta.

Il modello TCEV, come proposto da Rossi e altri (Rossi F,Fiorentino M., Versace P. Two component extreme value distribution for flood frequency analysis in Water Resources Research (1984)), permette di considerare la provenienza, da differenti popolazioni, dei massimi ordinari e straordinari della variabile di interesse, mediante una legge di distribuzione di probabilità ottenuta come prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel, tipologia di distribuzione già normalmente in uso, in quanto distribuzione asintotica di valori massimi e quindi utile alla regolarizzazione di serie di estremi idrologici.

L'espressione della legge di distribuzione TCEV risulta:

$$P(x) = \exp\left[-\exp(-\alpha_1(x-u_1)) - \exp(-\alpha_2(x-u_2))\right]$$

con *P(x)*, la probabilità di non superamento del valore *x*, e α e *u*, parametri della legge di Gumbel.

La suddetta distribuzione si può ancora riformulare come:

$$P(x) = \exp\left[-\lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\vartheta_1}\right) - \lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\vartheta_2}\right)\right]$$

avendo posto:

$$\lambda_i = \exp(\alpha_i u_i)$$

$$\vartheta_i = \frac{1}{\alpha_i}$$

$\lambda_1,\lambda_2,\theta_1,\theta_2$ sono i quattro parametri della distribuzione.

In pratica, la concreta esplicazione del metodo si attua mediante una stima regionale dei parametri ottenuta considerando tutti i dati storici rilevati nella regione idrologica in esame.

Introducendo la variabile standardizzata y definita con l'espressione:

[1] *F.Gatti, Analisi idrologica del bacino del fiume Stura di Demonte e verifica idraulica del ponte della S.P. n. 6 nel Comune di Cherasco, Tesi di laurea.*

$$y = \frac{x}{\vartheta_1} - \ln \lambda_1$$

si può scrivere

$$P(y) = \exp\left[-\exp(-y) - \Lambda^* \exp\left(-\frac{y}{\Theta^*} \right) \right]$$

ove si è posto:

$$\Theta^* = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1}$$

$$\Lambda^* = \frac{\lambda_2}{\lambda_1^{1/\Theta^*}}$$

La determinazione dei parametri della distribuzione viene condotta attraverso una procedura "gerarchica" di regionalizzazione, articolata in tre livelli successivi, in ognuno dei quali è possibile considerare costanti alcune statistiche.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico G delle serie dei massimi annuali della variabile *x* sia costante su di un'ampia porzione di territorio, denominata zona omogenea, caratterizzata da due valori costanti dei parametri Λ^* e Θ^*.

Il secondo livello di regionalizzazione porta alla definizione di sottozone omogenee, interne alle aree omogenee principali individuate al primo livello, nelle quale risultino costanti, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica, il che implica la costanza, per tutte le serie campionarie appartenenti ad una certa sottozona, dei parametri Λ^*, Θ^* e λ_1 del modello TCEV.

A questo punto, introducendo la variabile adimensionale $x'=x/\mu$, con μ momento del primo ordine della distribuzione, si perviene alla legge di distribuzione TCEV della variabile x':

$$P(x') = \exp\left[-\lambda_1 \left(\exp\left(\frac{\mu}{\vartheta_1} \right) \right)^{-x'} - \Lambda^* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left(\exp\left(\frac{\mu}{\Theta^* \vartheta_1} \right) \right)^{-x'} \right]$$

distribuzione che, quanto a espressione della legge di probabilità, compete quindi ad ogni sottozona omogenea.

Col terzo livello di regionalizzazione si ricercano, infine, le relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità e alcune grandezze generalmente geografiche (altitudine, distanza dal mare, etc.) che caratterizzano i siti di osservazione.

Venendo ora al caso specifico della regione Piemonte, la distribuzione TCEV è stata applicata alle serie delle precipitazioni massime annuali e, quindi, oggetto delle relazioni ricavate è un valore di altezza di precipitazione di assegnato tempo di ritorno. L'indagine è stata condotta su 157 stazioni e 4474 osservazioni di altezze di pioggia.

Al primo livello di regionalizzazione il Piemonte risulta così caratterizzato:

Zona omogenea	**N°stazioni**	**Λ***	**Θ***
1	157	0.3014	1.5051

È quindi evidente come per l'intero territorio regionale si possano assumere costanti i valori di Λ* e Θ*, definendo così una sola zona pluviometrica omogenea.

Al secondo livello di regionalizzazione, indagando anche la variabilità di λ_1, si è ottenuto:

Sottozona omogenea	**N°stazioni**	**CV_1**	**λ_1**
1	13	0.384	15.81
2	129	0.357	20.38
3	15	0.296	43.35

Il territorio regionale è stato pertanto suddiviso in tre sottozone pluviometriche, per ciascuna delle quali è stata ottenuta la funzione di distribuzione di probabilità della variabile $x'=h'=h/h_m$ (essendo h ed h_m rispettivamente l'altezza di precipitazione massima ed il suo valore medio).

Si ottiene:

Sottozona omogenea	**λ_1**	$\frac{\mu}{\vartheta_1}$	$\exp\left(\frac{\mu}{\vartheta_1}\right)$	$\exp\left(\frac{\mu}{\Theta * \vartheta_1}\right)$	$\Lambda * \cdot \lambda_1^{\frac{1}{\Theta *}}$
1	15.81	2.968	19.452	7.179	1.885
2	20.38	3.222	25.078	8.498	2.231
3	43.35	3.977	53.350	14.210	3.684

Sostituendo i valori di quest'ultima tabella nella distribuzione *P(x')*, si ottengono le seguenti relazioni, rappresentanti le curve di crescita relative alle tre sottozone definite al secondo livello di regionalizzazione:

$$\begin{cases} P(h')_{SZ1} = \exp(-15.81 \cdot 19.452^{-h'} - 1.885 \cdot 7.179^{-h'}) \\ P(h')_{SZ2} = \exp(-20.38 \cdot 25.078^{-h'} - 2.231 \cdot 8.498^{-h'}) \\ P(h')_{SZ3} = \exp(-43.35 \cdot 53.350^{-h'} - 3.684 \cdot 14.210^{-h'}) \end{cases}$$

Inoltre, ricordando la definizione del tempo di ritorno:

$$T_R = \frac{1}{1-P(h')}$$

e la relazione inversa:

$$P(h') = 1 - \frac{1}{T_R}$$

è immediato esprimere T_R in funzione di *h'* o, viceversa, ricavare *h'* da T_R.

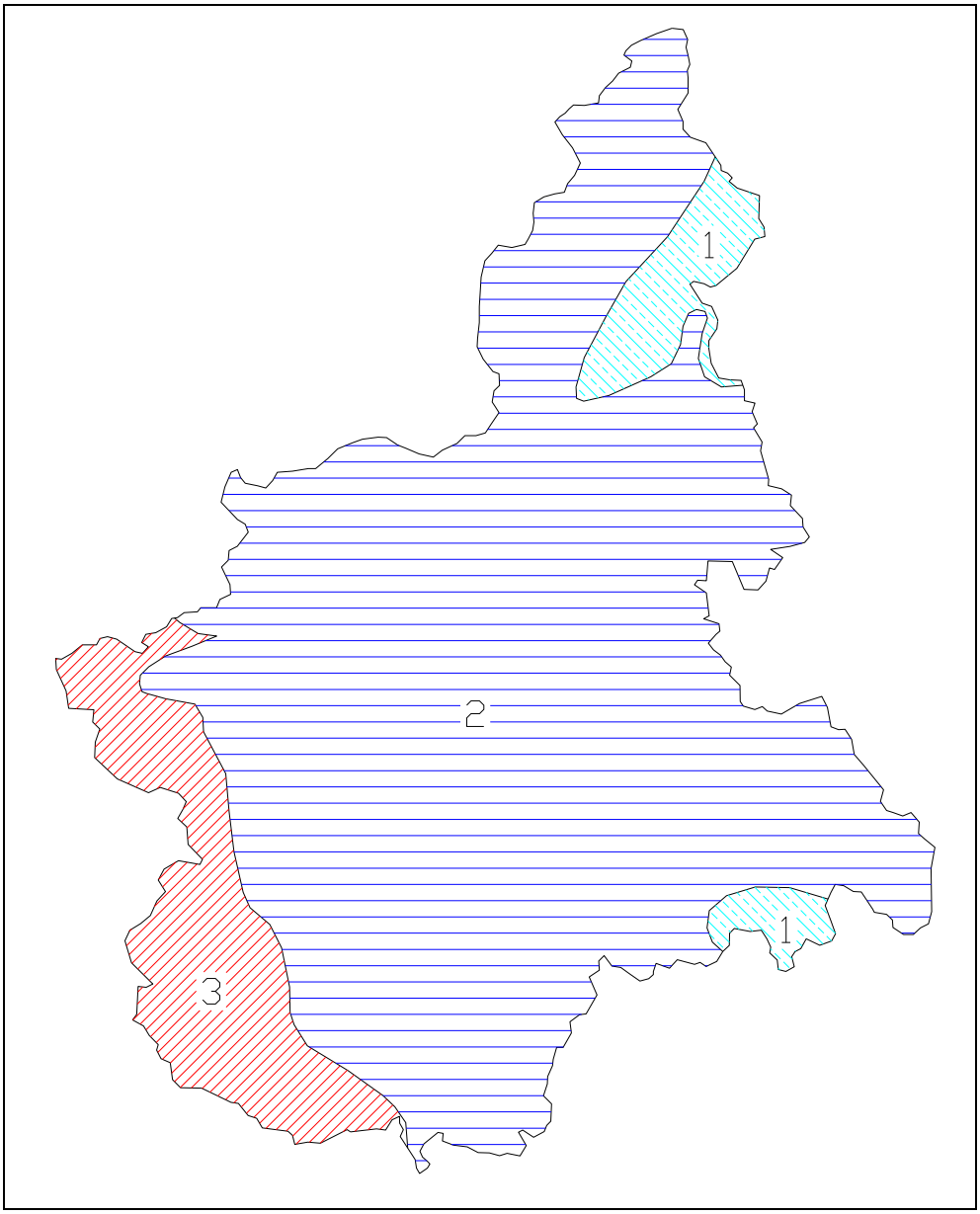

Figura 12 - Secondo livello di regionalizzazione: sottozone pluviometriche omogenee

Al terzo livello di regionalizzazione, il Piemonte è stato suddiviso in 6 aree omogenee, per ciascuna delle quali è stata ricavata una relazione biunivoca tra la media delle precipitazioni massime registrate nelle stazioni pluviometriche sul territorio e la quota sul livello del mare essendo l'orografia, nel caso di ambiti pedemontani, un fattore di significativa influenza sull'entità dei fenomeni meteorici. Queste relazioni sono costituite da curve di possibilità pluviometrica espresse nella forma

$$h = a \cdot t^n$$

ove però il valore di *n* è dato in funzione della quota della stazione in esame.

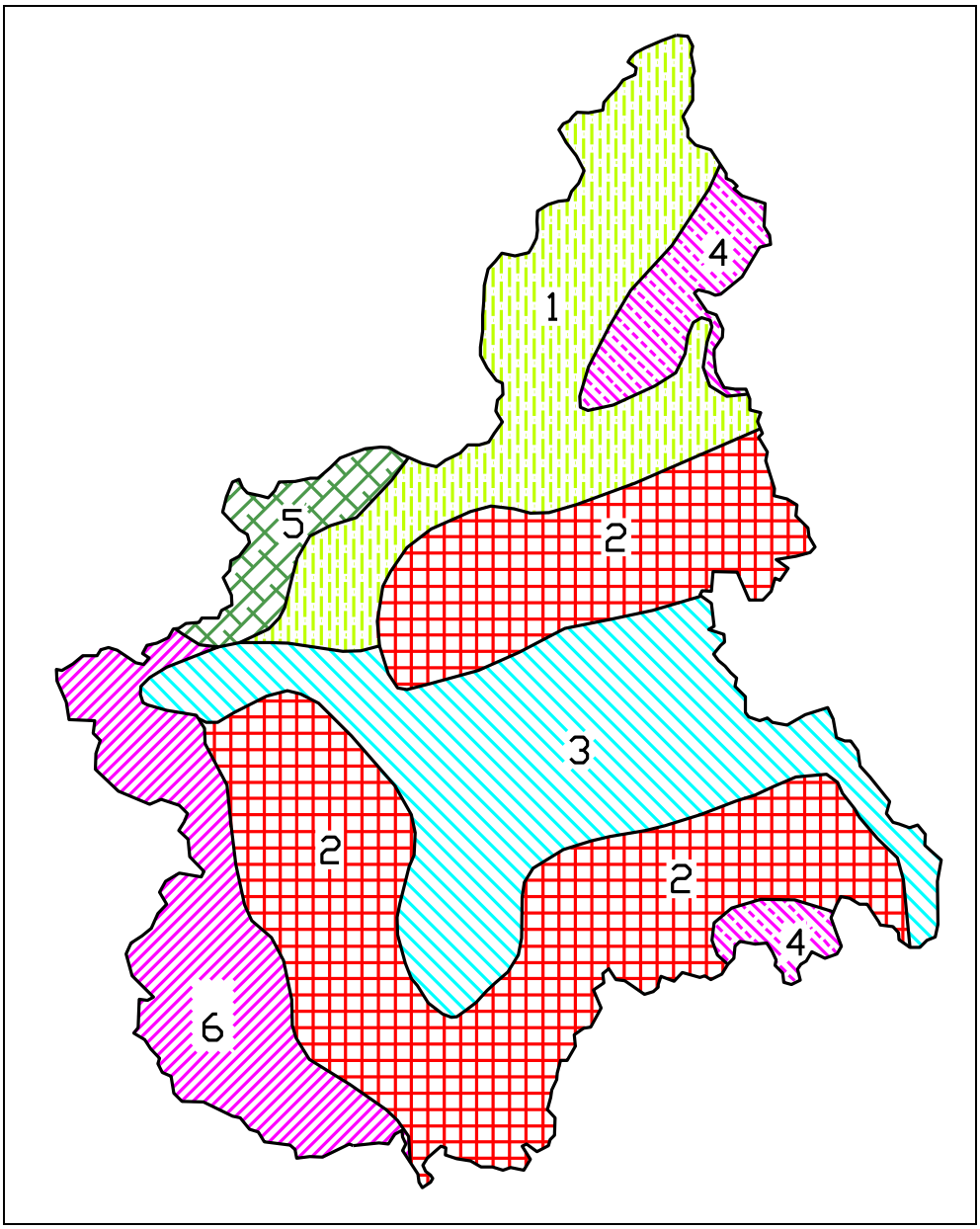

Figura 13 - Terzo livello di regionalizzazione: aree pluviometriche omogenee

Si ha:

$$\begin{cases} h_{m\,AO1} = 30.86 \cdot t^{\frac{(0.4120+0.000240 \cdot H)}{1.38}} \\ h_{m\,AO2} = 25.37 \cdot t^{\frac{(0.4690+0.000230 \cdot H)}{1.38}} \\ h_{m\,AO3} = 22.62 \cdot t^{\frac{(0.3377+0.000178 \cdot H)}{1.38}} \\ h_{m\,AO4} = 36.58 \cdot t^{\frac{(0.5040+0.000186 \cdot H)}{1.38}} \\ h_{m\,AO5} = 18.37 \cdot t^{\frac{(0.8270-0.000075 \cdot H)}{1.38}} \\ h_{m\,AO6} = 16.07 \cdot t^{\frac{(0.6900+0.000070 \cdot H)}{1.38}} \end{cases}$$

dove *t* è la durata della precipitazione, *H* è la quota della stazione in esame e h_m è l'altezza di pioggia media.

Note queste relazioni, si procede come segue.

In primo luogo si determina la collocazione geografica (e quindi la zona, le sottozone e le aree omogenee interessate) e la quota della località in cui si vuole calcolare un'altezza di precipitazione di durata *t* e tempo di ritorno T_R. È così possibile ricavare h_m. Dato poi il tempo di ritorno T_R, si calcola il valore di *P(h')*, cioè della funzione di distribuzione di probabilità in corrispondenza di *h'*, e *h'* stessa, da cui attraverso la relazione

$$h = h_m \cdot h'$$

si ottiene il valore dell'altezza di pioggia massima di assegnato tempo di ritorno.

Si può a questo punto applicare il metodo al bacino del torrente Belbo chiuso in corrispondenza del depuratore di Santo Stefano Belbo, considerando che esso risulta compreso nella sottozona 2 e nell'area omogenea 2. Ai fini della determinazione dell'altezza di pioggia media, nelle formule sopra riportate è stata considerata la quota media del bacino precedentemente individuata.

Si calcolano inoltre le corrispondenti altezze di pioggia ragguagliate alle regioni di interesse, tramite la relazione:

$$h_r = h \cdot R$$

dove R è un coefficiente di riduzione funzione della durata della precipitazione e dell'area della regione oggetto di indagine. Per il caso in esame, si assume R = 0,85.

Analogamente a quanto indicato al paragrafo precedente, il dato di precipitazione massima di assegnato tempo di ritorno viene convertito nella portata defluente di ugual tempo di ritorno attraverso l'applicazione del metodo razionale. Anche in questo caso, si considera allo scopo una precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione.

In definitiva, l'applicazione del metodo TCEV e del metodo razionale al bacino del torrente Belbo chiuso alla sezione del depuratore di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda conduce ai seguenti risultati:

Tempo di ritorno T_R [anni]	Altezza di pioggia ragguagliata h_r [mm]	Coefficiente di deflusso C [-]	Portata al colmo Q [m^3/s]
20	112,9	0,50	453
100	147,2	0,60	715
200	162,6	0,65	849
500	183,5	0,70	1'047

Portate di piena

Il PAI, per la sezione di calcolo in corrispondenza del ponte della ferrovia a monte dell'abitato di Canelli (circa 3 km più a valle del depuratore), riporta i seguenti dati di portata associati a diversi tempi di ritorno:

T_R[anni]	Q_{PAI} [m^3/s]
20	560
100	820
200	940
500	1'090

Tali dati non tengono conto dell'effetto di laminazione della cassa di espansione di Canelli.

Le suddette portate sono poi state oggetto di aggiornamento nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni. Quest'ultimo, per una sezione di calcolo poco più a monte del depuratore, indica:

T_R[anni]	Q_{PGRA} [m^3/s]
20	520
100	-
200	840
500	-

All'esito delle attività di revisione dei dati idrologici condotta per il torrente Belbo nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, si può quindi osservare una generale riduzione delle portate di piena stimate per il corso d'acqua in riferimento ai tempi di ritorno considerati.

Interpolando ed estrapolando i dati di portata anche per i tempi di ritorno di 100 e 500 anni, si può quindi ricavare:

T_R[anni]	Q_{PGRA} [m^3/s]
20	520
100	744
200	840
500	967

Tali dati sono in sostanziale accordo con quelli ricavati con applicazione del metodo TCEV sopra descritto e saranno pertanto assunti come riferimento per le odierne analisi idrauliche.

Le arginature a protezione del depuratore sono state dimensionate in riferimento ad una portata con tempo di ritorno di duecento anni stimata in circa 930 m^3/s (portata analoga a quella indicata dal PAI e superiore a quella ora prevista dal PGRA) e nell'ipotesi di assenza della cassa di laminazione di Canelli.

Opere di difesa idraulica

Il tratto di corso d'acqua oggetto di studio vede la presenza di opere di difesa idraulica costituite da arginature sviluppate prevalentemente sulla sponda sinistra. In particolare, il depuratore di Santo Stefano Belbo, loc. Piana Bauda, come già detto, è protetto da argini sulla quasi totalità del proprio perimetro. Poco più a valle, sempre in sponda sinistra, si trovano altre arginature a protezione di aree coltivate e gli argini della cassa di laminazione di Canelli cui si è già accennato in precedenza.

Le opere di difesa sopra menzionate appaiono caratterizzate da un discreto stato di conservazione (benché talune porzioni degli argini a valle del depuratore siano ricoperte da una folta vegetazione arbustiva).

Per quanto riguarda la funzionalità idraulica delle stesse in relazione al contenimento delle piene (in termini di franco di sicurezza), se ne fornirà una rappresentazione nel quadro delle successive analisi idrauliche, le quali tuttavia non possono rendere conto di eventuali fenomeni localizzati di

danneggiamento (erosioni localizzate, fenomeni di sifonamento, etc.). Tali eventualità saranno comunque considerate nell'ambito della redazione del Piano di Emergenza del depuratore.

Manufatti interferenti

Per effetto della conformazione dell'alveo e della presenza di arginature, nell'ambito della regione fluviale corrispondente alle Fasce A e B definite dal PAI, non si riscontrano manufatti interferenti con le correnti di piena nel tratto del corso d'acqua in esame: unica eccezione è costituita dal manufatto regolatore della cassa di laminazione di Canelli, appositamente realizzato per generare, attraverso una riduzione locale della sezione di deflusso, l'innalzamento dei livelli idrici necessario all'attivazione dello sfioratore laterale di alimentazione della cassa stessa.

All'estremo di valle del tratto di corso d'acqua in esame è presente una traversa fluviale, attraverso la quale si realizza un significativo salto nelle quote di fondo alveo, con effetto di disconnessione idraulica ai fini della valutazione del comportamento delle piene.

A monte dell'area oggetto di indagine è presente il ponte della S.P. 592, il quale non è stato tuttavia considerato nel presente studio in quanto gli interventi in progetto, come si vedrà meglio nel seguito, non presentano influenza alcuna sulla sicurezza idraulica di tale manufatto.

Modalità di deflusso della piena

Definiti il contesto territoriale, antropico ed ambientale in cui ricade l'intervento in esame nonché gli elementi determinanti i principali fenomeni idraulici di interesse, si procede alla quantificazione delle caratteristiche del moto della corrente in condizioni di piena, rappresentate dai valori dei livelli idrici e delle velocità di corrente all'interno dell'alveo inciso e delle aree golenali o inondate.

Metodo di calcolo e condizioni al contorno

Considerati gli obiettivi del presente studio, la natura delle opere di cui si deve valutare la compatibilità idraulica, le dimensioni delle stesse e l'entità degli impatti attesi sul deflusso delle piene, si ritiene sufficiente un'analisi in moto stazionario monodimensionale, non dovendo quantificare valori locali della velocità di corrente nell'ottica di una stima accurata della capacità

erosiva della stessa o valutare fenomeni di laminazione dell'onda di piena associati alle opere in progetto.

Allo scopo, è stato utilizzato il software HEC-RAS 5.0.6 del U.S.A.C.E..

Conformemente alle indicazioni della Direttiva PAI sulla verifica di compatibilità idraulica, la portata di progetto è stata assunta pari alla portata con tempo di ritorno 200 anni. Le analisi sono state estese anche ad altre portate con tempi di ritorno inferiori e superiori (20, 100 e 500 anni), tutte ricavate con le modalità precedentemente descritte. Tali portate sono riassunte nella seguente tabella:

Tempo di ritorno T_R [anni]	Portata al colmo Q [m^3/s]
20	520
100	744
200	840
500	967

Quale condizione al contorno, all'estremo di valle, è stata imposta l'altezza critica della corrente in corrispondenza della traversa fluviale. È stato comunque verificato che eventuali rigurgiti provenienti da valle (fino a quote prossime alla sommità dello sfioratore di sicurezza del secondo comparto della cassa di laminazione), in virtù della distanza, non presentano ripercussioni sulla diversione delle portate in corrispondenza dell'ingresso alla cassa (di cui si è tenuto debitamente conto) né, tantomeno, sui livelli idrici in prossimità del depuratore.

In accordo ai precedenti studi idraulici relativi al tratto di torrente Belbo in esame, per le sezioni fluviali è stata assunta una scabrezza di Strickler pari a 30 $m^{1/3}/s$, valore che la Direttiva n.4 del PAI riferisce per "sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva ed arborea" nonché per aree golenali "coltivate" e "con vegetazione arborea coltivata".

Condizioni fisiche di riferimento

I calcoli idraulici sono stati condotti con riferimento alle condizioni attuali della regione fluviale di interesse. Gli interventi in progetto si inseriscono infatti all'interno del perimetro delle arginature dell'impianto di depurazione e non determinano quindi un maggiore ostacolo al deflusso delle piene rispetto alla situazione odierna.

Analisi del rischio idraulico

La Direttiva n.1 del PAI definisce le prescrizioni e le raccomandazioni tecniche per la riduzione del rischio idraulico a cui sono soggetti gli impianti di trattamento delle acque reflue nelle fasce fluviali A e B e nelle aree in dissesto idrogeologico Ee e Eb. Il depuratore di Santo Stefano Belbo ricade quindi nell'ambito di applicazione della citata Direttiva essendo in parte ricompreso, come già detto, all'interno delle fasce fluviali A e B localmente delimitate per il torrente Belbo.

La Direttiva n.1, all'art. 3, evidenzia la necessità, per alcune particolari opere quali i depuratori, di analizzare non solo gli effetti della presenza dei manufatti sul deflusso della piena di progetto ma anche i potenziali impatti della piena sull'operatività del sito di trattamento.

In quest'ottica, la Direttiva n. 1 richiede di integrare la verifica di compatibilità idraulica con ulteriori analisi volte all'esame della funzionalità degli impianti rispetto ai potenziali danni derivanti da un evento alluvionale, al fine di assicurare adeguati livelli di sicurezza sanitaria ed ambientale per il contesto locale.

La Direttiva detta una serie prescrizioni, ovvero obblighi che devono essere rispettati da Proprietari e Gestori degli impianti di trattamento delle acque reflue; la medesima Direttiva contiene poi raccomandazioni tecniche, che esprimono invece i criteri (non vincolanti) per la verifica del rischio idraulico a cui uno specifico impianto è sottoposto nonché per la predisposizione di eventuali interventi di riduzione del rischio idraulico stesso.

Prescrizioni

Nel dettaglio, le prescrizioni derivanti dalla Direttiva n.1 riguardano:

1. i parametri di progetto per l'analisi del rischio idraulico e per la definizione degli eventuali interventi di riduzione del rischio stesso;
2. il rispetto di una soglia di rischio idraulico accettabile;
3. la redazione di un piano di emergenza per gestire il rischio idraulico residuo.

La presente Relazione, conformemente alle indicazioni della Direttiva n.1, integra la Verifica di Compatibilità Idraulica con l'analisi degli effetti delle piene sul depuratore, recependo le prescrizioni di cui ai precedenti punti 1 e 2 e fornendo gli elementi per la predisposizione del Piano di Emergenza al punto 3 (oggetto di specifico elaborato). Tutto ciò premesso, l'analisi che sarà condotta ai paragrafi successivi valuterà, tra l'altro, le condizioni di sicurezza sanitaria ed ambientale del sito di trattamento

e definirà i possibili interventi volti a ridurre i tempi di fermo dell'impianto in concomitanza di eventuali fenomeni alluvionali.

Portata di piena di progetto

Ai fini dell'applicazione della Direttiva n.1 del PAI, per il depuratore di Santo Stefano Belbo (depuratore esistente), la portata di piena di progetto rispetto alla quale devono essere soddisfatti i requisiti di rischio idraulico accettabile è individuata nella portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.

La presente Relazione analizzerà comunque diversi scenari associati a vari tempi di ritorno (20, 100, 200 e 500 anni), al fine di valutare l'operatività dell'impianto rispetto ad eventi caratterizzati da probabilità di accadimento più o meno elevate.

Rischio idraulico accettabile

Per gli impianti esistenti di trattamento di acque reflue urbane e industriali, ubicati nelle fasce A e B e di potenzialità superiore a 2000 A.E., la Direttiva n.1 prescrive che le strutture civili, gli impianti elettrici e le attrezzature elettromeccaniche debbano essere protetti dal danneggiamento durante eventi di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Franco idraulico

I requisiti di rischio idraulico accettabile devono essere verificati aumentando la quota idrometrica relativa alla piena di progetto di un franco non inferiore a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e, comunque, non inferiore a 1,00 m.

Piano di emergenza

Un impianto di depurazione come quello in esame, con potenzialità superiore a 2000 A.E. ed ubicato nelle fasce A e B, deve essere dotato di un piano di emergenza per gli eventi di piena. Tale piano sarà oggetto di uno specifico elaborato che si gioverà delle risultanze della presente analisi.

Raccomandazioni

La Direttiva n.1 fornisce una serie di raccomandazioni tecniche riguardanti:

- i contenuti dell'analisi del rischio idraulico a cui sono sottoposti gli impianti di trattamento ubicati nelle aree inondabili;
- la progettazione degli interventi di riduzione del rischio idraulico eventualmente necessari per soddisfare i requisiti precedentemente descritti.

La stessa Direttiva n.1 ribadisce che tali raccomandazioni non sono vincolanti e non impediscono l'individuazione di soluzioni alternative e più adatte alle configurazioni dei singoli impianti di trattamento.

Contenuti dell'analisi del rischio idraulico

L'analisi del rischio idraulico si può articolare su due livelli:

- la verifica degli effetti della presenza degli impianti sul deflusso della piena di progetto;
- la verifica degli effetti del deflusso della piena di progetto sul funzionamento degli impianti.

Il primo livello di analisi è oggetto della valutazione di compatibilità idraulica i cui contenuti sono stabiliti dalla già citata Direttiva n.4 "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B". Tali contenuti sono stati ampiamente descritti ai precedenti paragrafi.

Il secondo livello di analisi, oggetto della Direttiva n.1, muovendo dalle ipotesi e dai dati associati alle verifiche idrauliche del suddetto primo livello, si propone di stimare il rischio idraulico cui è sottoposto il depuratore di Santo Stefano Belbo. Tale rischio sarà confrontato con il "rischio idraulico accettabile" descritto in precedenza per valutare il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza igienico-ambientale dell'impianto in esame.

Condizioni di riferimento

Sarà analizzato il rischio idraulico dell'impianto di trattamento nella configurazione attuale, tenuto conto della presenza delle nuove opere in progetto. Queste ultime, di dimensioni contenute in rapporto all'estensione dell'intero depuratore e racchiuse all'interno delle arginature del depuratore, non introducono infatti significative alterazioni delle condizioni di rischio idraulico del sito.

Studio degli eventi di piena

Sulla base dei dati idrologici ed idraulici calcolati nell'ambito della generale verifica di compatibilità idraulica del depuratore, si procederà all'ulteriore determinazione della portata di inizio esondazione,

del limite delle aree esondabili, della velocità di crescita dell'onda di piena nonché delle altezze e delle velocità della corrente.

In particolare, la portata di piena di inizio esondazione è definita come il minimo valore di portata in corrispondenza del quale sono allagate parti essenziali per il funzionamento dell'impianto di trattamento. Il tempo di ritorno dell'evento consentirà di quantificare la probabilità che l'impianto di trattamento sia allagato durante la sua vita utile così come di valutare l'efficacia degli eventuali interventi di riduzione del rischio idraulico.

Analisi della vulnerabilità dell'impianto di trattamento

L'analisi della vulnerabilità dell'impianto individuerà gli effetti dell'evento di piena sul depuratore. Essa comprenderà:

- la descrizione delle componenti strutturali ed impiantistiche rilevanti ai fini della valutazione della vulnerabilità;
- la definizione delle interferenze tra la piena e i manufatti (in termini di altezze e velocità dell'acqua);
- l'analisi della funzionalità dell'impianto durante gli eventi di piena;
- l'identificazione delle parti dell'impianto vulnerabili rispetto agli eventi di piena.

Interventi di riduzione del rischio idraulico

Qualora il rischio idraulico calcolato sulla scorta delle precedenti analisi risulti superiore alla soglia del "rischio idraulico accettabile", saranno adottati provvedimenti volti ad un'appropriata riduzione del rischio stesso. A seguito degli studi condotti, in base alle condizioni idrodinamiche locali ed alle caratteristiche del sito di trattamento in esame, saranno valutati gli interventi più idonei tra quelli individuati dalla stessa Direttiva n.1.

Risultati delle analisi idrauliche

Si riportano di seguito i risultati delle simulazioni di calcolo sopra descritte.
Per ogni scenario analizzato sono stati calcolati i profili idraulici ed i principali parametri idrodinamici della corrente.

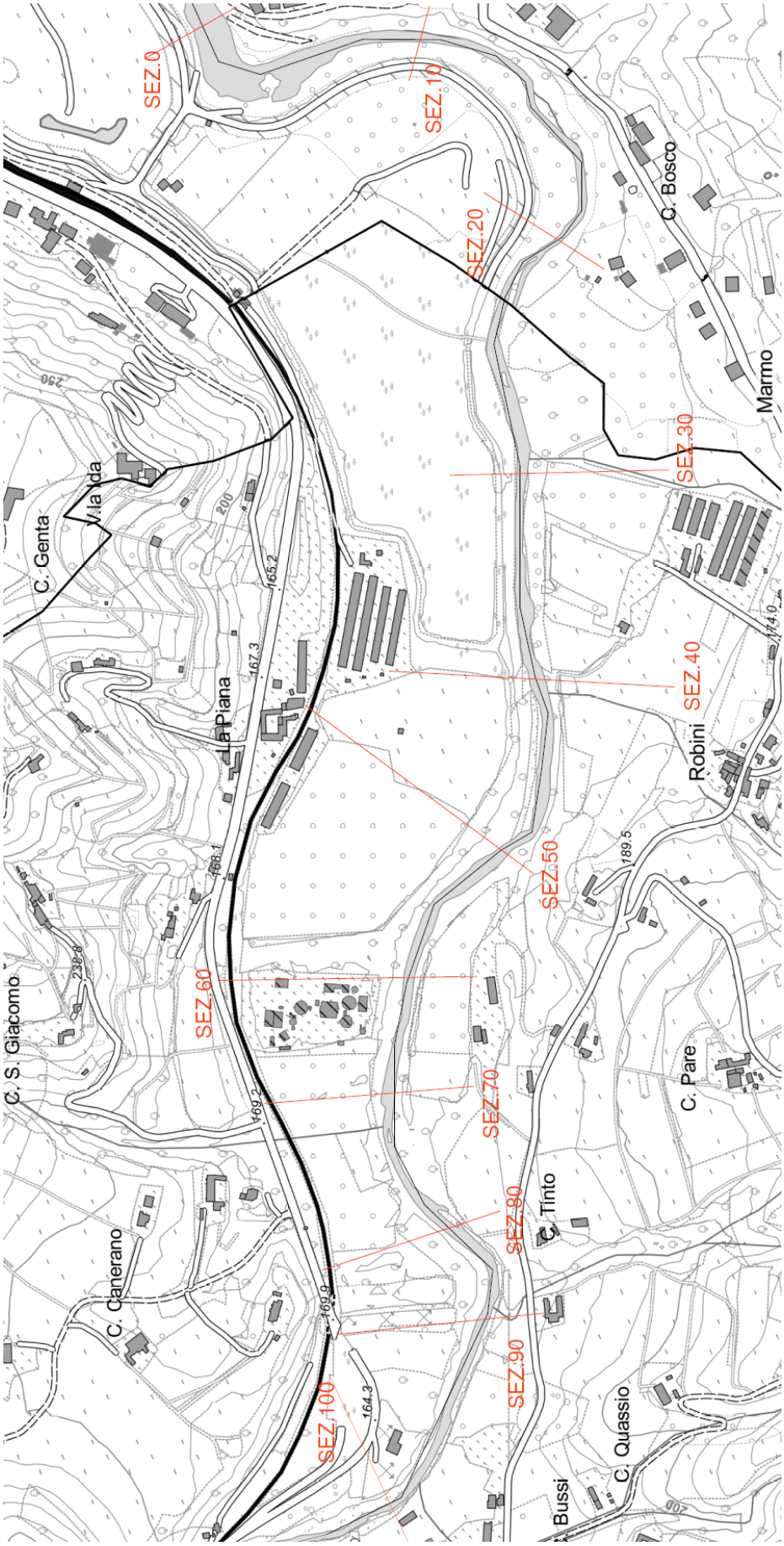

Figura 14 – Estratto cartografia tecnica regionale con indicazione delle sezioni di calcolo utilizzate nelle analisi idrauliche

Scenario 1: Portata T_R = 20 anni

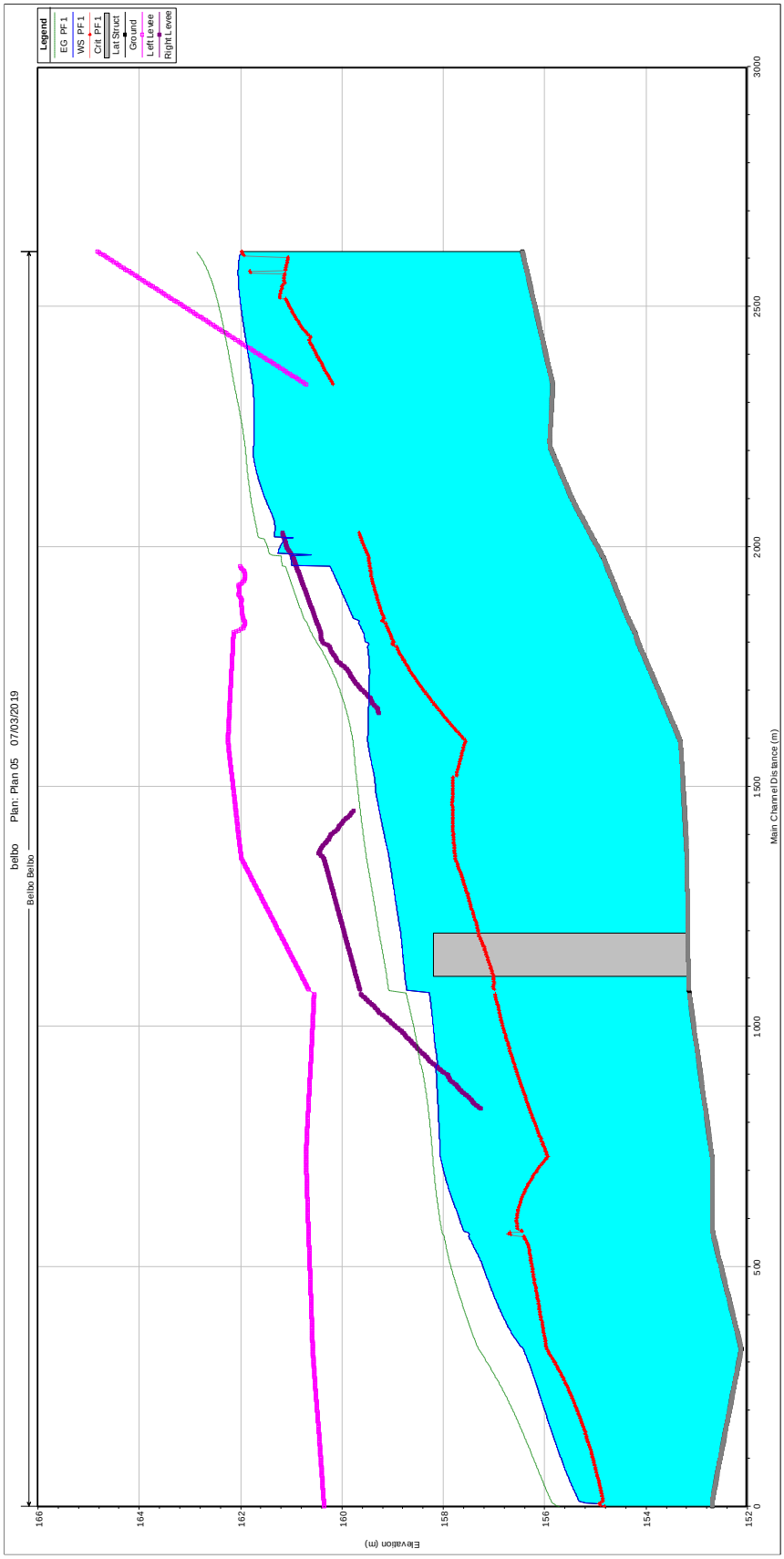

Figura 15 – Profilo di piena T_R = 20 anni. La linea viola chiaro indica la quota della sommità delle arginature sulla sponda sinistra; la linea viola scuro rappresenta la quota della sommità delle arginature sulla sponda destra.

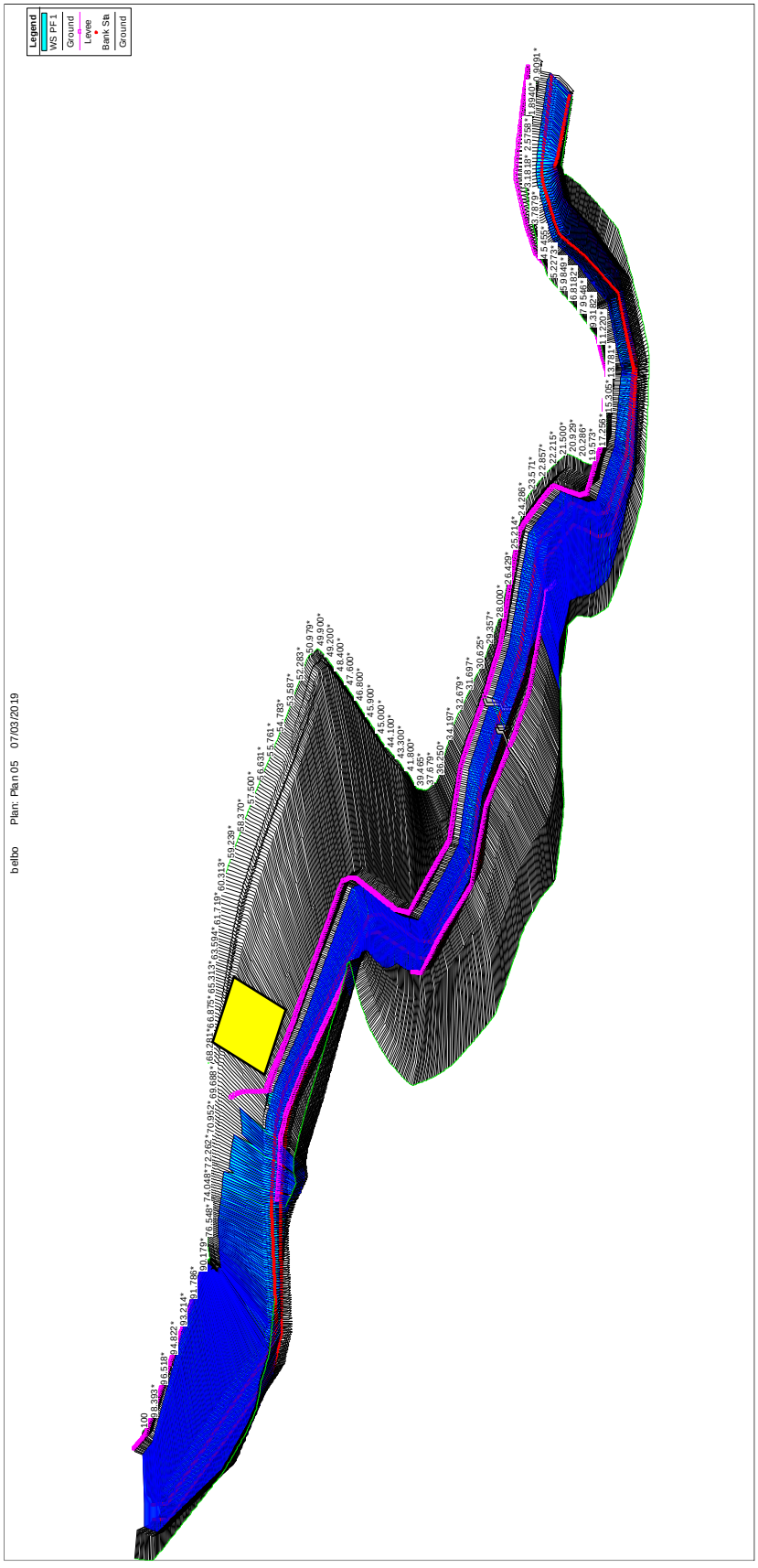

Figura 16 – Aree inondate per piena T_R = 20 anni (il sito del depuratore è indicato con colore giallo).

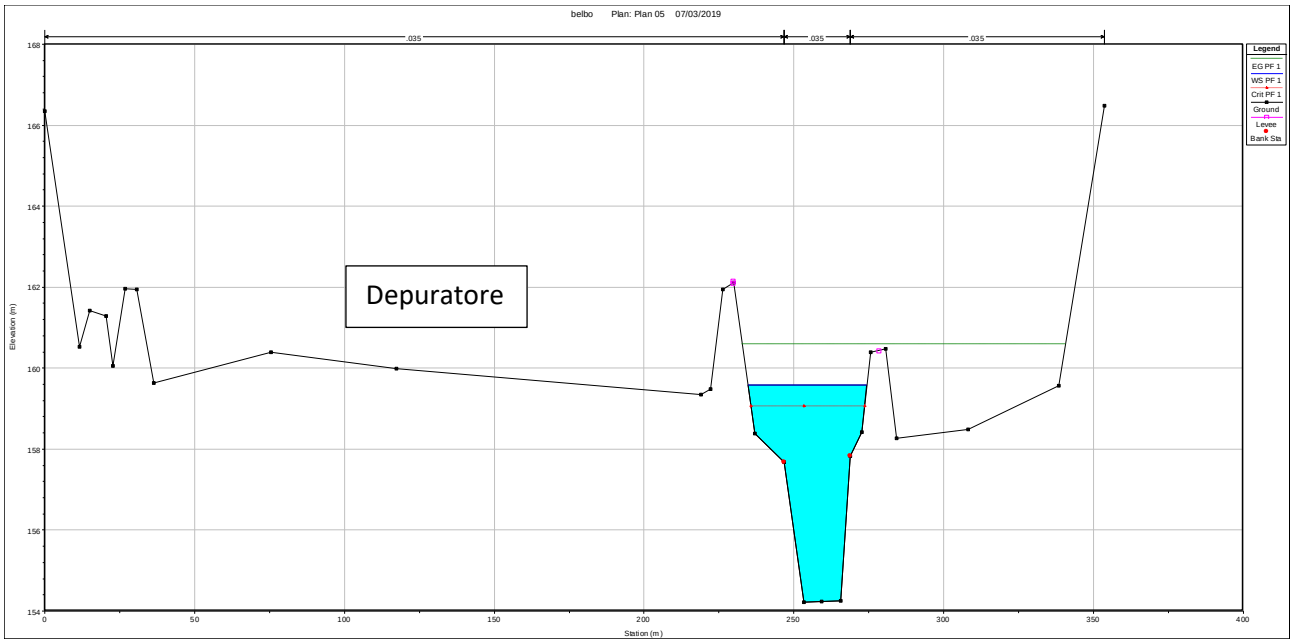

Figura 17 – Piena T_R = 20 anni. Sezione fluviale del depuratore (n. 60).

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	20
Portata	m^3/s	520
Quota livello idrico sezione 100	m s.l.m.	161,98
Quota livello idrico sezione 90	m s.l.m.	161,76
Quota livello idrico sezione 80	m s.l.m.	161,75
Quota livello idrico sezione 70	m s.l.m.	161,01
Quota livello idrico sezione 60	m s.l.m.	159,58
Quota livello idrico sezione 50	m s.l.m.	159,49
Quota livello idrico sezione 40	m s.l.m.	159,07
Portata (a valle dello sfioratore della cassa)	m^3/s	473
Quota livello idrico sezione 30	m s.l.m.	158,72
Quota livello idrico sezione 20	m s.l.m.	158,06
Quota livello idrico sezione 10	m s.l.m.	156,42
Quota livello idrico sezione 0	m s.l.m.	154,82

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	20
Portata	m^3/s	520
Quota livello idrico sezione depuratore (60)	m s.l.m.	159,58
Quota sommità argine depuratore	m s.l.m.	162,12
Franco	m	2,54
Velocità media della corrente	m/s	4,18
Altezza cinetica della corrente	m	1,02
Franco > 1 m		sì
Franco > 0,5 altezza cinetica		sì

Scenario 2: Portata T_R = 100 anni

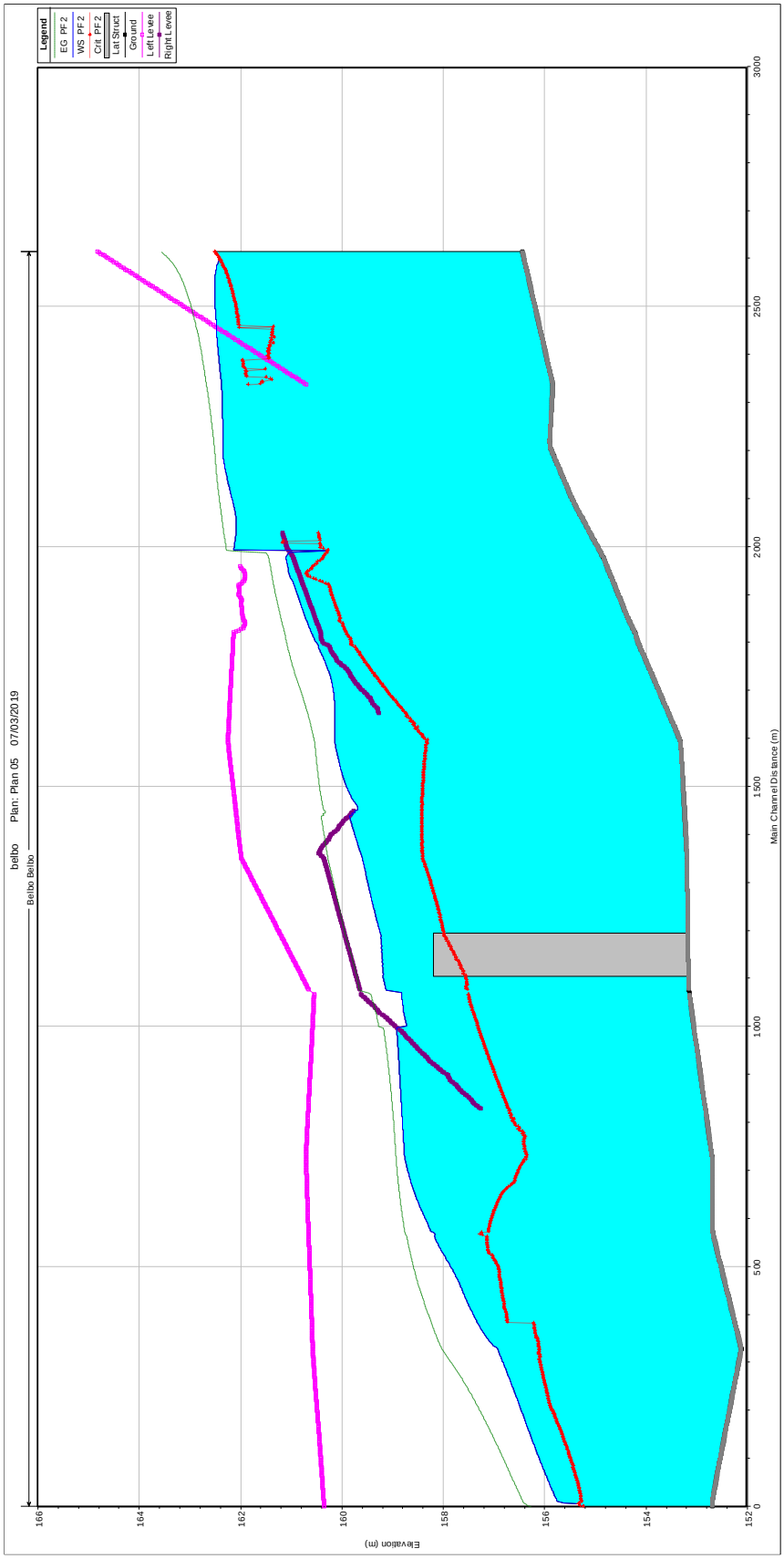

Figura 18 – Profilo di piena T_R = 100 anni. La linea viola chiaro indica la quota della sommità delle arginature sulla sponda sinistra; la linea viola scuro rappresenta la quota della sommità delle arginature sulla sponda destra.

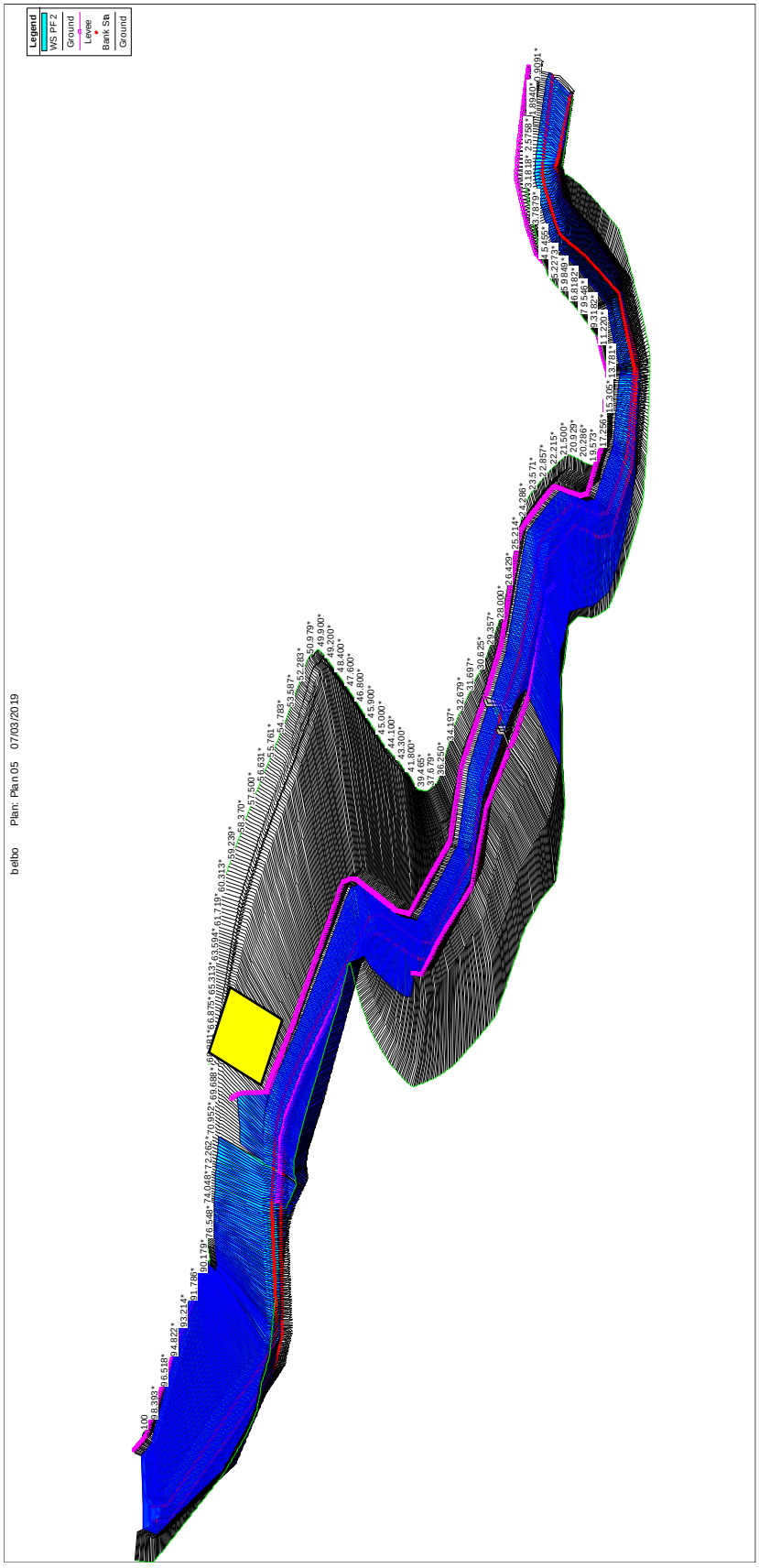

Figura 19 – Aree inondate per piena T_R = 100 anni (il sito del depuratore è indicato con colore giallo).

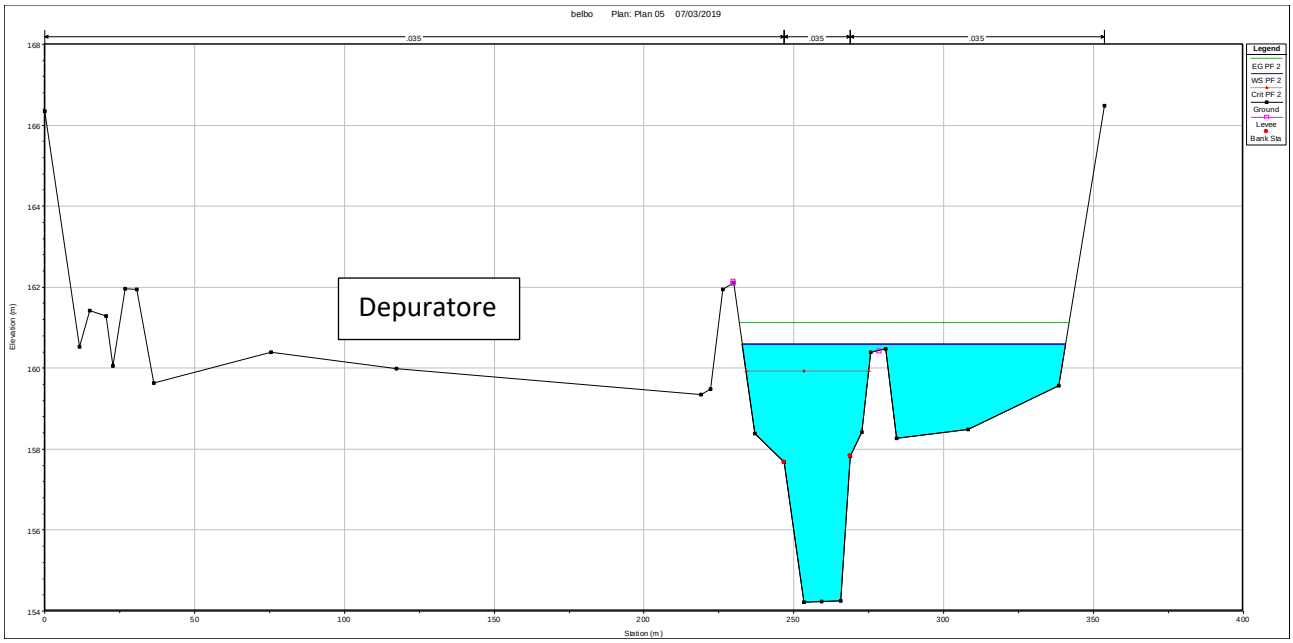

Figura 20 – Piena T_R = 100 anni. Sezione fluviale del depuratore (n. 60).

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	100
Portata	m^3/s	744
Quota livello idrico sezione 100	m s.l.m.	162,51
Quota livello idrico sezione 90	m s.l.m.	162,37
Quota livello idrico sezione 80	m s.l.m.	162,35
Quota livello idrico sezione 70	m s.l.m.	161,11
Quota livello idrico sezione 60	m s.l.m.	160,60
Quota livello idrico sezione 50	m s.l.m.	160,15
Quota livello idrico sezione 40	m s.l.m.	159,60
Portata (a valle dello sfioratore della cassa)	m^3/s	637
Quota livello idrico sezione 30	m s.l.m.	159,14
Quota livello idrico sezione 20	m s.l.m.	158,77
Quota livello idrico sezione 10	m s.l.m.	156,93
Quota livello idrico sezione 0	m s.l.m.	155,24

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	100
Portata	m^3/s	744
Quota livello idrico sezione depuratore (60)	m s.l.m.	160,60
Quota sommità argine depuratore	m s.l.m.	162,12
Franco	m	1,52
Velocità media della corrente	m/s	2,72
Altezza cinetica della corrente	m	0,52
Franco > 1 m		sì
Franco > 0,5 altezza cinetica		sì

Scenario 3: Portata T_R = 200 anni

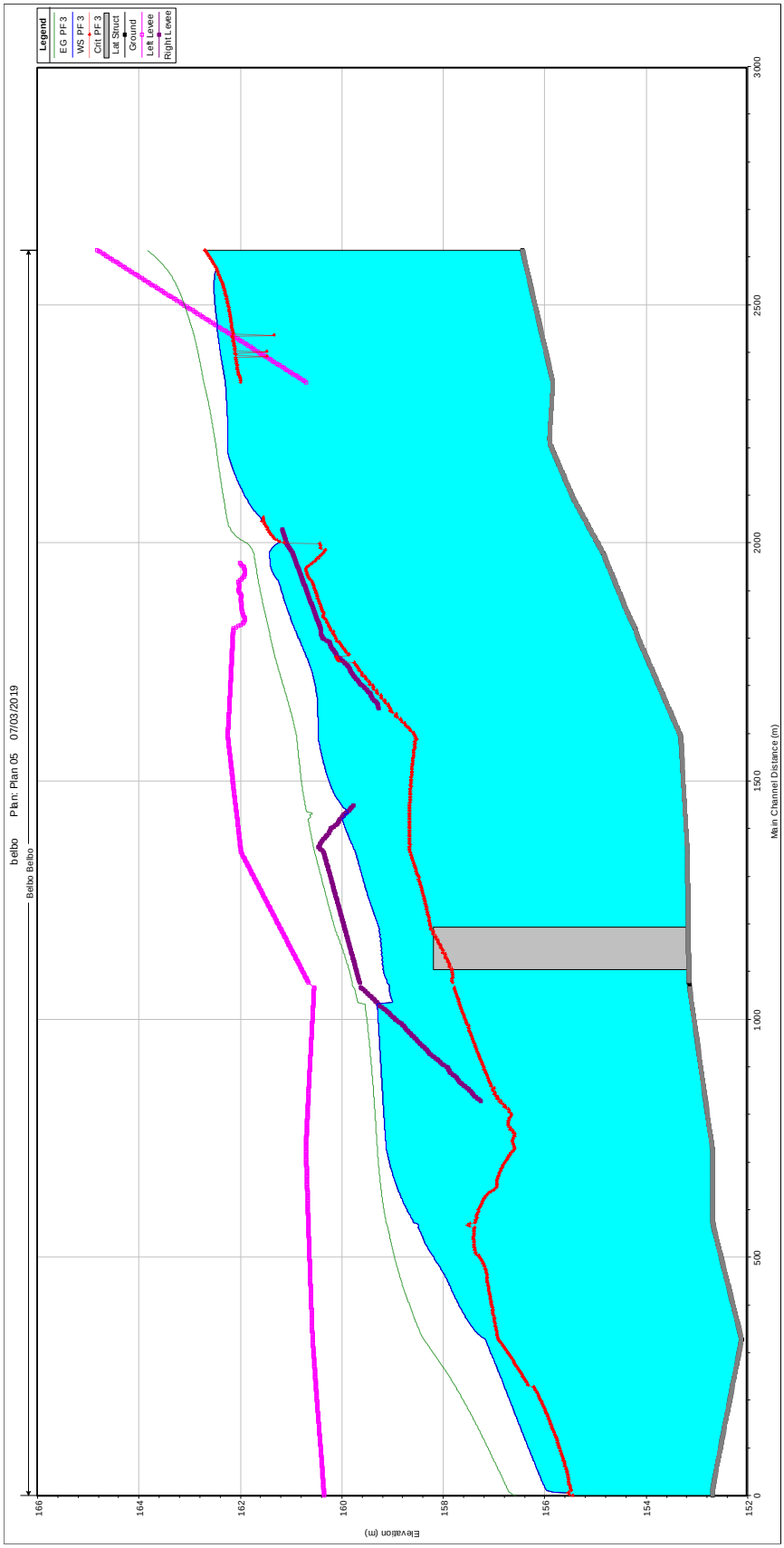

Figura 21 – Profilo di piena T_R = 200 anni. La linea viola chiaro indica la quota della sommità delle arginature sulla sponda sinistra; la linea viola scuro rappresenta la quota della sommità delle arginature sulla sponda destra.

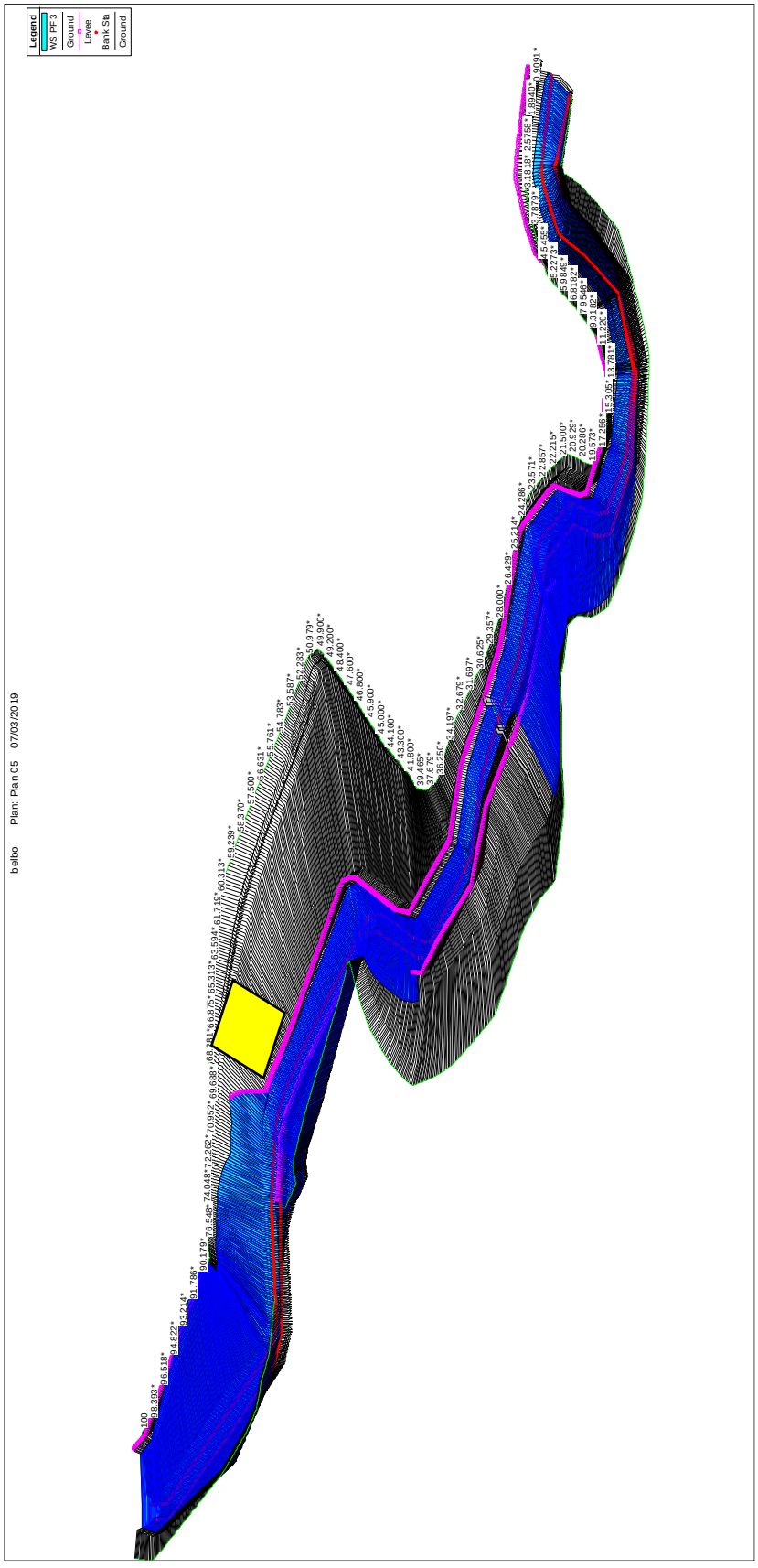

Figura 22 – Aree inondate per piena T_R = 200 anni (il sito del depuratore è indicato con colore giallo).

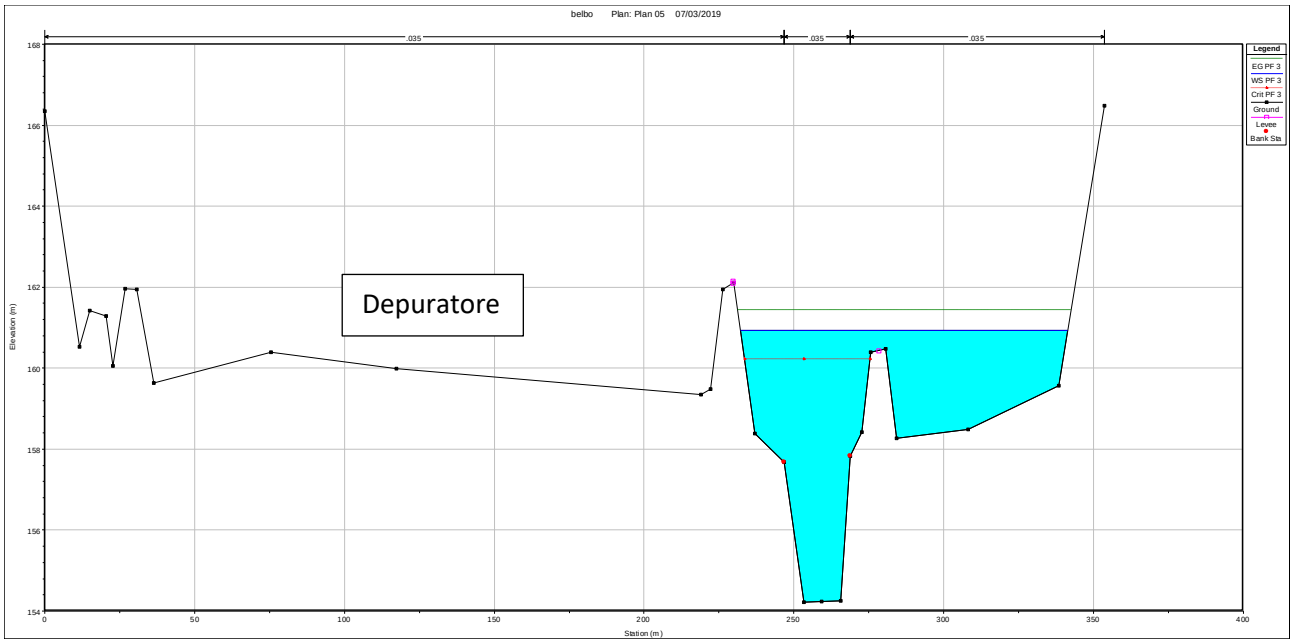

Figura 23 - Piena T_R = 200 anni. Sezione fluviale del depuratore (n. 60).

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	200
Portata	m^3/s	840
Quota livello idrico sezione 100	m s.l.m.	162,70
Quota livello idrico sezione 90	m s.l.m.	162,30
Quota livello idrico sezione 80	m s.l.m.	162,25
Quota livello idrico sezione 70	m s.l.m.	161,44
Quota livello idrico sezione 60	m s.l.m.	160,93
Quota livello idrico sezione 50	m s.l.m.	160,47
Quota livello idrico sezione 40	m s.l.m.	159,73
Portata (a valle dello sfioratore della cassa)	m^3/s	728
Quota livello idrico sezione 30	m s.l.m.	159,11
Quota livello idrico sezione 20	m s.l.m.	159,13
Quota livello idrico sezione 10	m s.l.m.	157,17
Quota livello idrico sezione 0	m s.l.m.	155,44

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	200
Portata	m^3/s	840
Quota livello idrico sezione depuratore (60)	m s.l.m.	160,93
Quota sommità argine depuratore	m s.l.m.	162,12
Franco geometrico	m	1,19
Velocità media della corrente	m/s	2,71
Altezza cinetica della corrente	m	0,50
Franco > 1 m		sì
Franco > 0,5 altezza cinetica		sì

Si è inoltre analizzato il deflusso di una portata pari a 940 m^3/s, corrispondente all'originaria portata duecentennale del PAI e prossima a quella di progetto dell'argine del depuratore (930 m^3/s).

Si riportano di seguito i risultati ottenuti. La situazione è evidentemente più gravosa e, come atteso, il franco dell'argine si riduce ulteriormente.

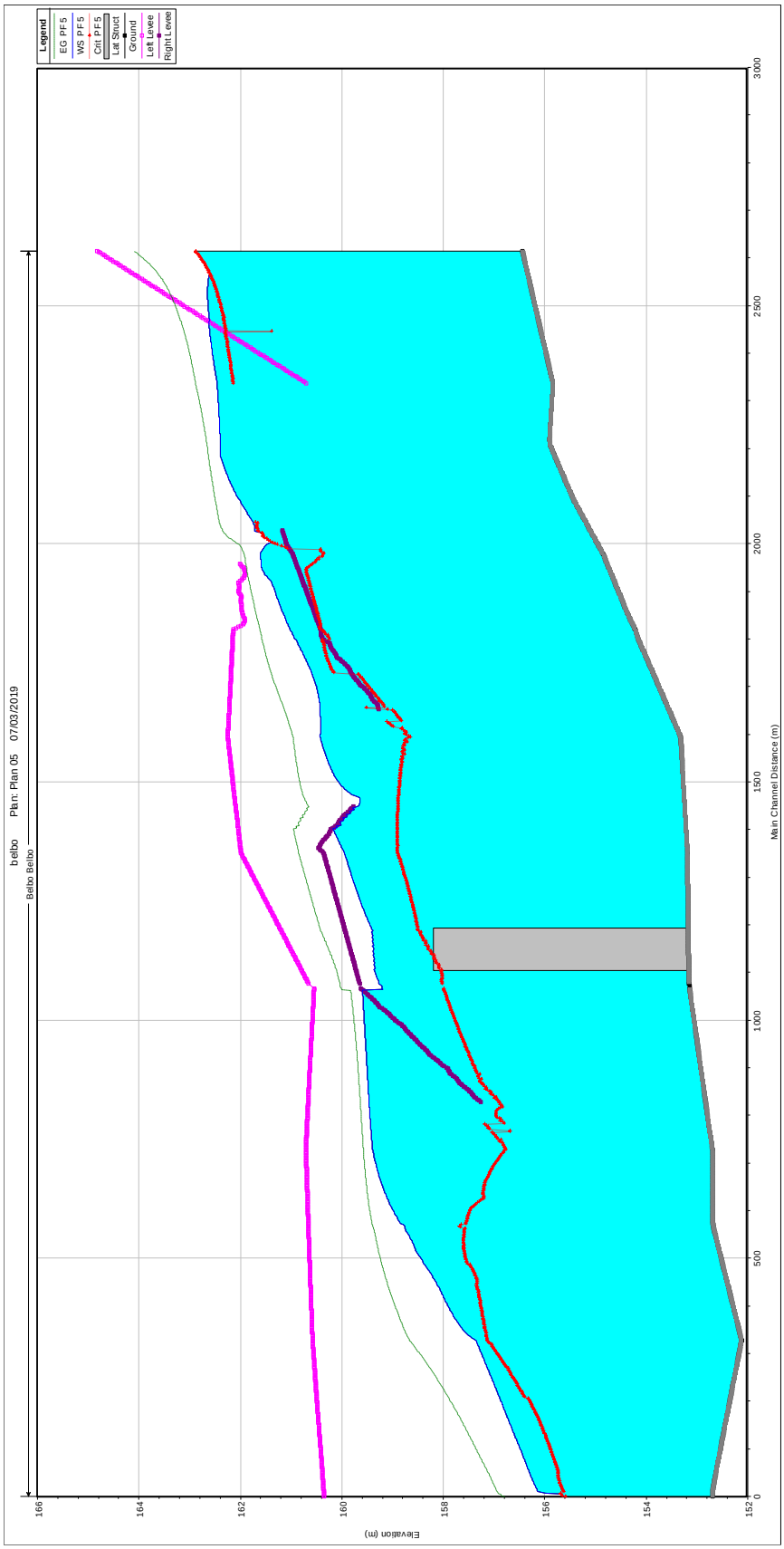

Figura 24 – Profilo di piena T_R = 200 anni (portata PAI). La linea viola chiaro indica la quota della sommità delle arginature sulla sponda sinistra; la linea viola scuro rappresenta la quota della sommità delle arginature sulla sponda destra.

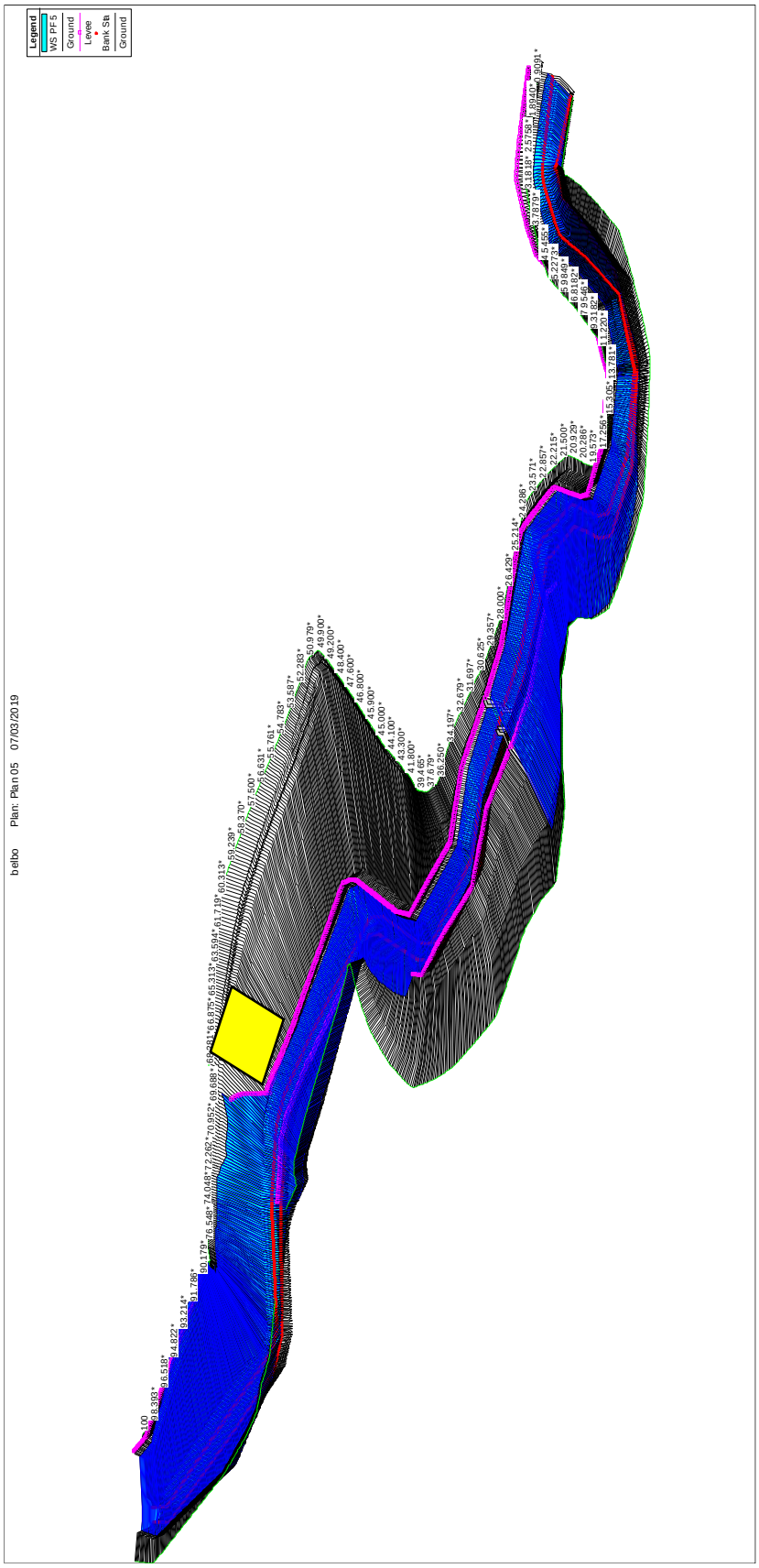

Figura 25 – Aree inondate per piena T_R = 200 anni (portata PAI) (il sito del depuratore è indicato con colore giallo).

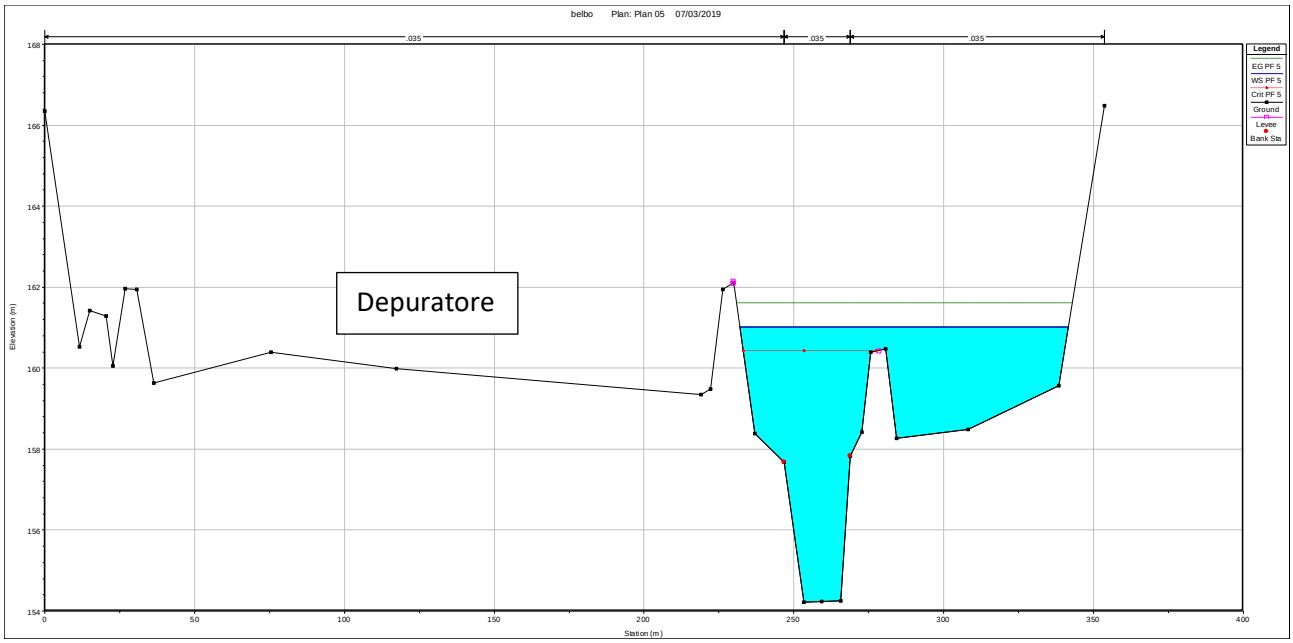

Figura 26 - Piena T_R = 200 anni (portata PAI). Sezione fluviale del depuratore (n. 60).

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	200
Portata	m^3/s	940
Quota livello idrico sezione 100	m s.l.m.	162,88
Quota livello idrico sezione 90	m s.l.m.	162,46
Quota livello idrico sezione 80	m s.l.m.	162,40
Quota livello idrico sezione 70	m s.l.m.	161,61
Quota livello idrico sezione 60	m s.l.m.	161,02
Quota livello idrico sezione 50	m s.l.m.	160,42
Quota livello idrico sezione 40	m s.l.m.	159,95
Portata (a valle dello sfioratore della cassa)	m^3/s	802
Quota livello idrico sezione 30	m s.l.m.	159,27
Quota livello idrico sezione 20	m s.l.m.	159,40
Quota livello idrico sezione 10	m s.l.m.	157,36
Quota livello idrico sezione 0	m s.l.m.	155,59

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	200
Portata	m^3/s	940
Quota livello idrico sezione depuratore (60)	m s.l.m.	161,02
Quota sommità argine depuratore	m s.l.m.	162,12
Franco	m	1,10
Velocità media della corrente	m/s	2,94
Altezza cinetica della corrente	m	0,58
Franco > 1 m		sì
Franco > 0,5 altezza cinetica		sì

Scenario 4: Portata T_R = 500 anni

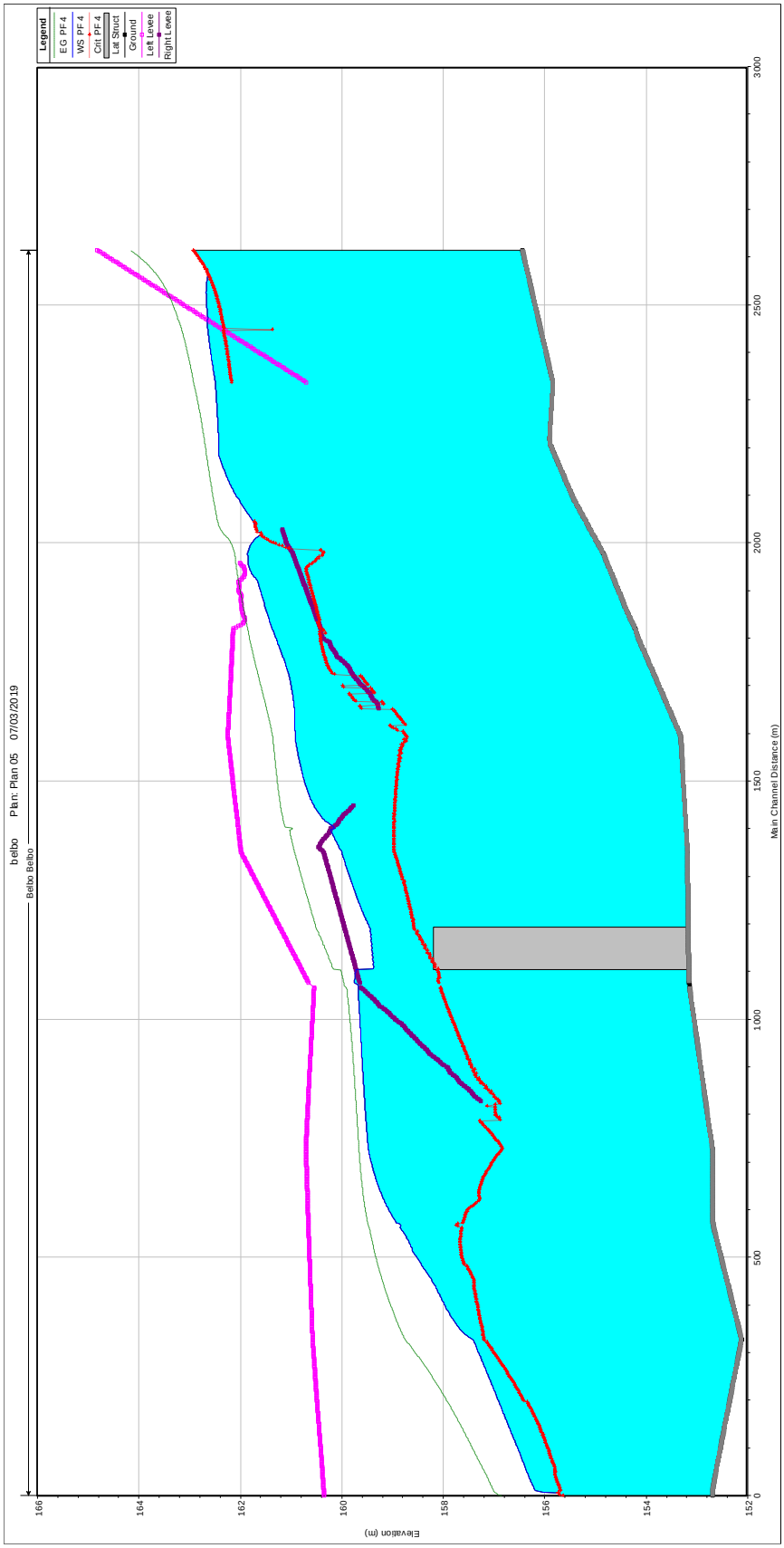

Figura 27 – Profilo di piena T_R = 500 anni. La linea viola chiaro indica la quota della sommità delle arginature sulla sponda sinistra; la linea viola scuro rappresenta la quota della sommità delle arginature sulla sponda destra.

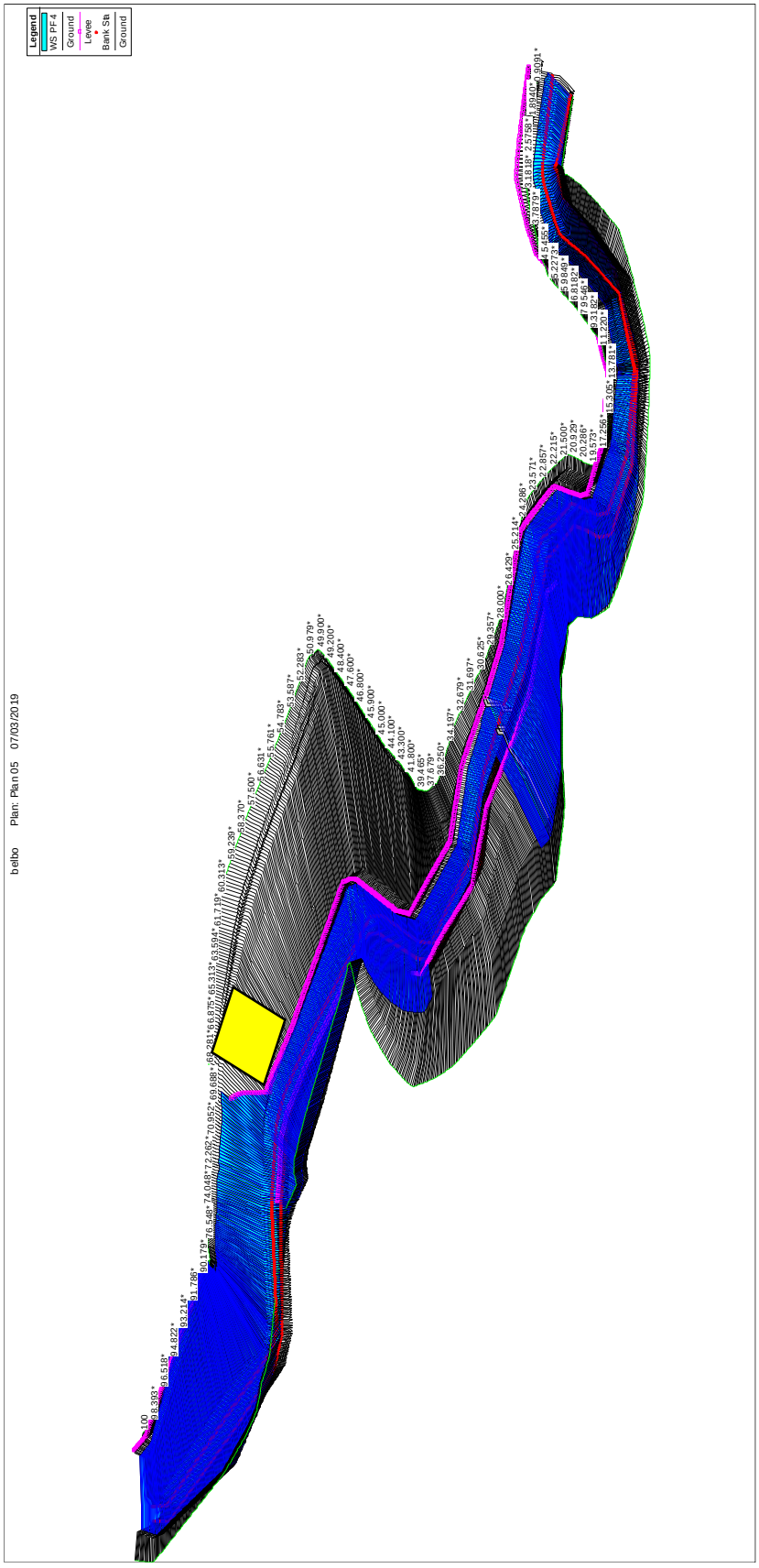

Figura 28 – Aree inondate per piena T_R = 500 anni (il sito del depuratore è indicato con colore giallo).

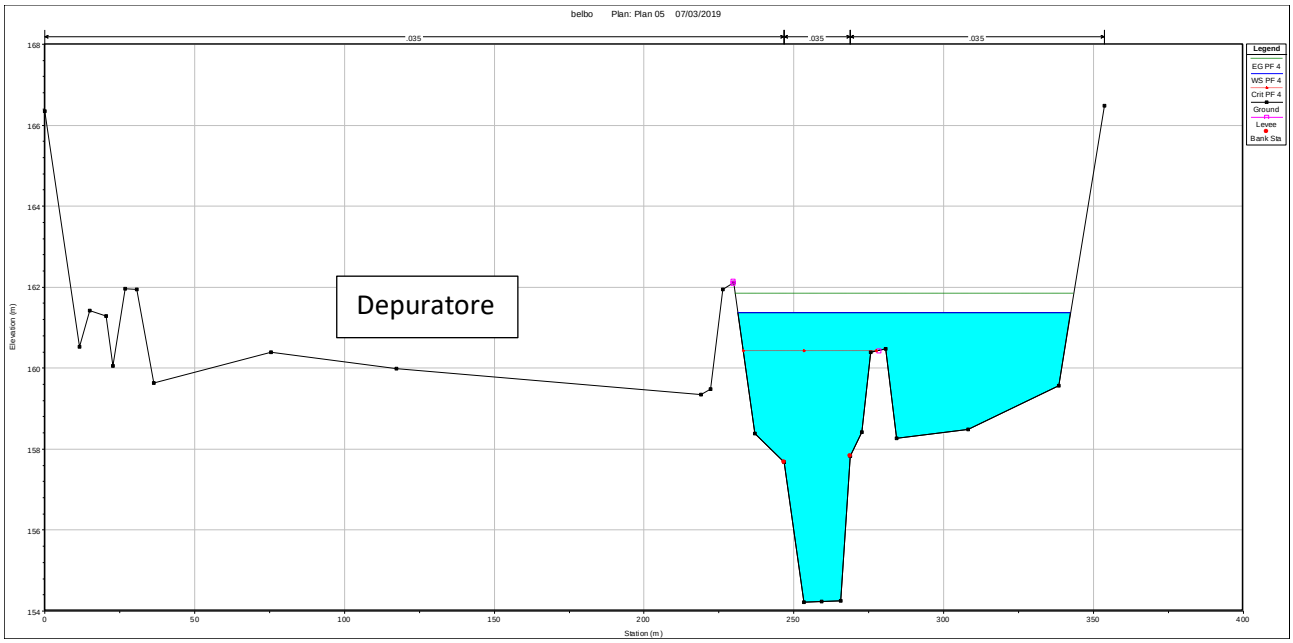

Figura 29 - Piena T_R = 500 anni. Sezione fluviale del depuratore (n. 60).

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	500
Portata	m^3/s	967
Quota livello idrico sezione 100	m s.l.m.	162,93
Quota livello idrico sezione 90	m s.l.m.	162,49
Quota livello idrico sezione 80	m s.l.m.	162,43
Quota livello idrico sezione 70	m s.l.m.	161,86
Quota livello idrico sezione 60	m s.l.m.	161,37
Quota livello idrico sezione 50	m s.l.m.	160,92
Quota livello idrico sezione 40	m s.l.m.	160,01
Portata (a valle dello sfioratore della cassa)	m^3/s	826
Quota livello idrico sezione 30	m s.l.m.	159,76
Quota livello idrico sezione 20	m s.l.m.	159,48
Quota livello idrico sezione 10	m s.l.m.	157,42
Quota livello idrico sezione 0	m s.l.m.	155,64

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	500
Portata	m^3/s	967
Quota livello idrico sezione depuratore (60)	m s.l.m.	161,37
Quota sommità argine depuratore	m s.l.m.	162,12
Franco geometrico	m	0,75
Velocità media della corrente	m/s	2,70
Altezza cinetica della corrente	m	0,47
Franco > 1 m		no
Franco > 0,5 altezza cinetica		sì

Sempre con riferimento alla portata cinquecentennale, è stata considerata anche l'eventualità che la cassa di laminazione di Canelli sia completamente piena e non esplichi alcun effetto di laminazione.

In tal caso, si ottengono i seguenti risultati di calcolo:

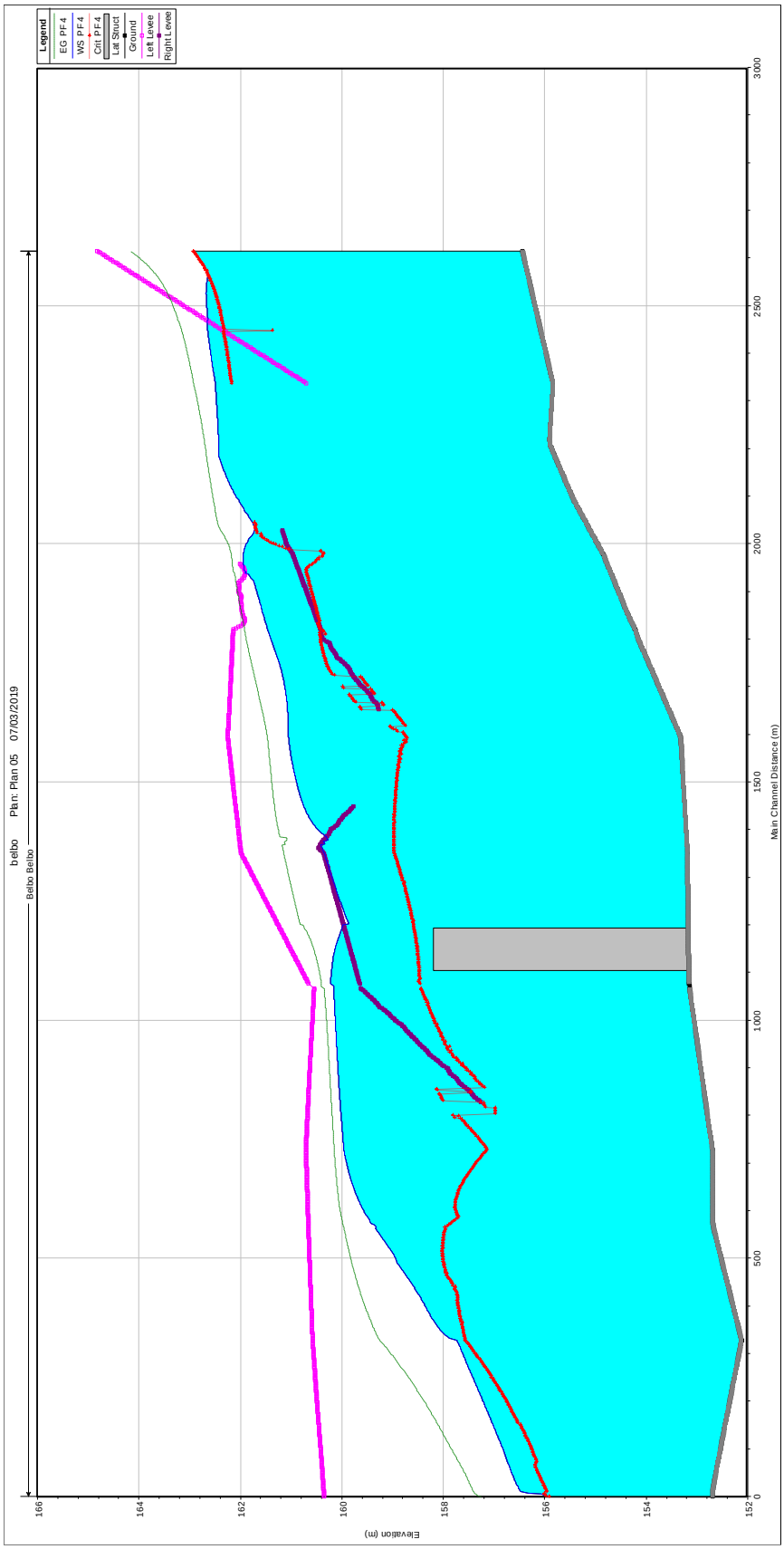

Figura 30 – Profilo di piena T_R = 500 anni (cassa di laminazione satura). La linea viola chiaro indica la quota della sommità delle arginature sulla sponda sinistra; la linea viola scuro rappresenta la quota della sommità delle arginature sulla sponda destra.

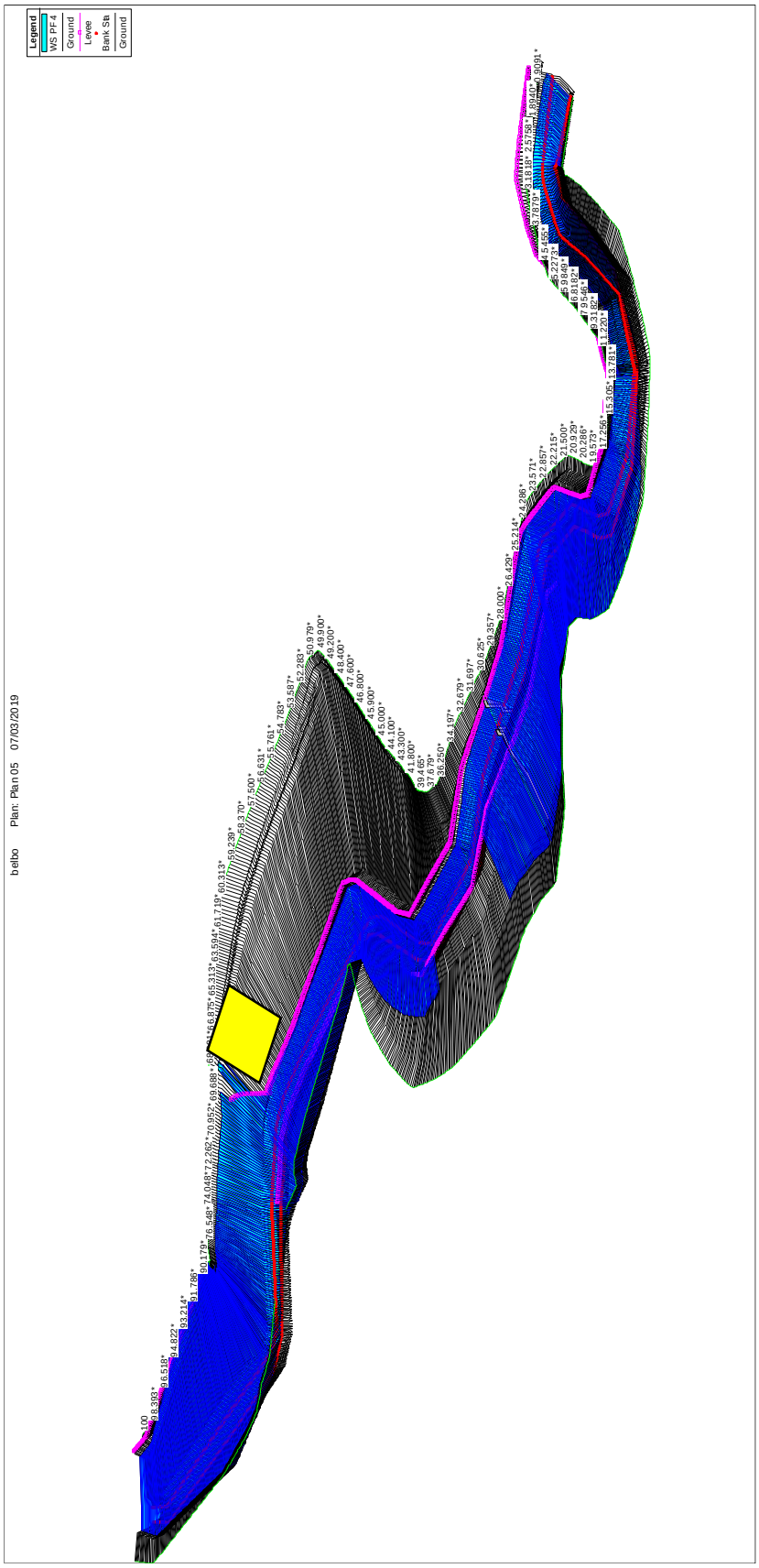

Figura 31 – Aree inondate per piena T_R = 500 anni (cassa di laminazione satura) (il sito del depuratore è indicato con colore giallo).

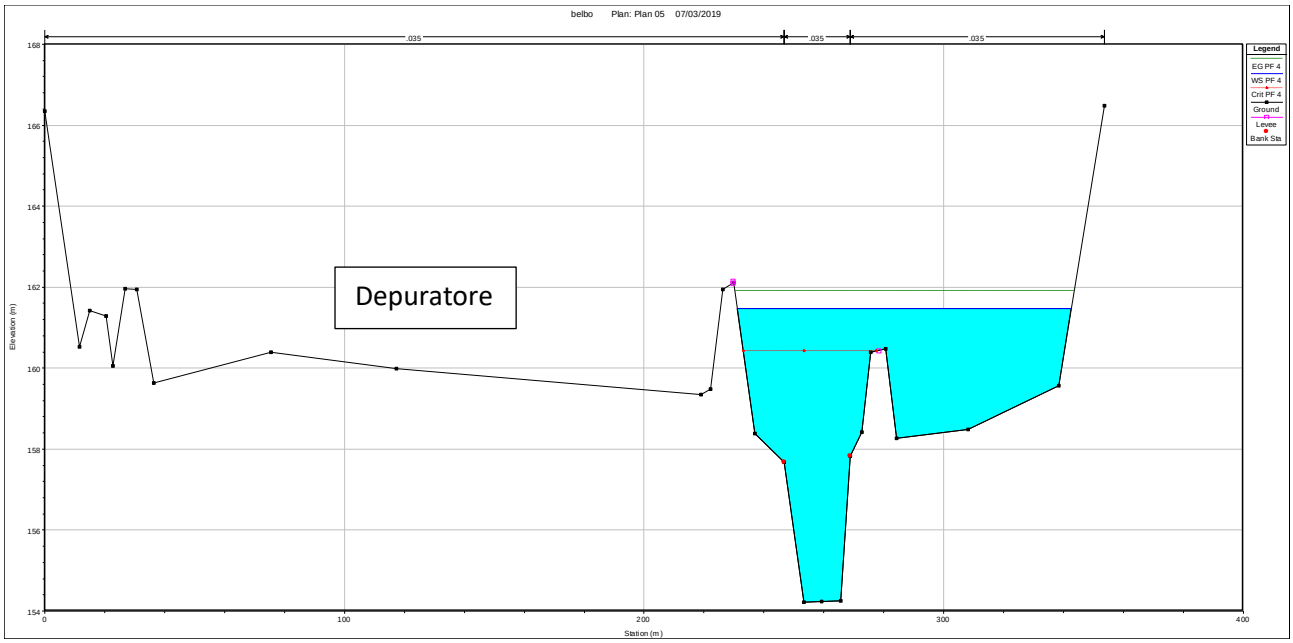

Figura 32 - Piena T_R = 500 anni (cassa di laminazione satura). Sezione fluviale del depuratore (n. 60).

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	500
Portata	m^3/s	967
Quota livello idrico sezione 100	m s.l.m.	162,93
Quota livello idrico sezione 90	m s.l.m.	162,50
Quota livello idrico sezione 80	m s.l.m.	162,43
Quota livello idrico sezione 70	m s.l.m.	161,95
Quota livello idrico sezione 60	m s.l.m.	161,46
Quota livello idrico sezione 50	m s.l.m.	161,05
Quota livello idrico sezione 40	m s.l.m.	160,35
Portata (a valle dello sfioratore della cassa)	m^3/s	967
Quota livello idrico sezione 30	m s.l.m.	160,22
Quota livello idrico sezione 20	m s.l.m.	159,96
Quota livello idrico sezione 10	m s.l.m.	157,74
Quota livello idrico sezione 0	m s.l.m.	155,91

Parametro	**u.d.m.**	**Valore**
Tempo di ritorno	anni	500
Portata	m^3/s	967
Quota livello idrico sezione depuratore (60)	m s.l.m.	161,46
Quota sommità argine depuratore	m s.l.m.	162,12
Franco	m	0,66
Velocità media della corrente	m/s	2,62
Altezza cinetica della corrente	m	0,44
Franco > 1 m		no
Franco > 0,5 altezza cinetica		sì

Commento ai risultati di calcolo

I risultati di calcolo sopra illustrati confermano in generale la compatibilità delle arginature del depuratore di Santo Stefano Belbo con i livelli idrici associati a piene del Belbo di tempo di ritorno non superiore a 200 anni (indipendentemente dalle diverse stime disponibili). Per portate superiori, fino ad eventi con tempo di ritorno pari a 500 anni, l'argine non appare ancora tracimato ma i franchi di sicurezza si riducono a poche decine di centimetri, il che non consente di escludere tale eventualità (considerate le molte variabili da cui dipendono i fenomeni di interesse e le incertezze nella determinazione delle stesse).

Come si vedrà meglio nel seguito, si osserva che in corrispondenza della portata ventennale i livelli idrici nel torrente risultano prossimi al piano di campagna dell'area del depuratore e comunque superiori alla quota di sbocco delle tubazioni di scarico: nella configurazione attuale del depuratore (in cui tali tubazioni non sono munite di valvole antiriflusso), l'acqua del torrente può pertanto invadere l'impianto rigurgitando attraverso tali canalizzazioni. Rimandando ai successivi paragrafi per una più accurata descrizione di tali fenomeni, in questa sede, attraverso la scala di deflusso della sezione del depuratore (sezione 60), si può calcolare la portata che provoca l'allagamento del sito di trattamento fino alla quota di 160,00 m s.l.m. (quota del pavimento della cabina elettrica). Tale portata può assumersi compresa tra 576 m^3/s (portata che innesca la tracimazione degli ultimi comparti di trattamento) e 610 m^3/s (portata a cui si associa il riflusso delle acque di piena attraverso le condotte di scarico). Detti valori di portata sono rispettivamente caratterizzati da tempi di ritorno di circa 30 e 40 anni.

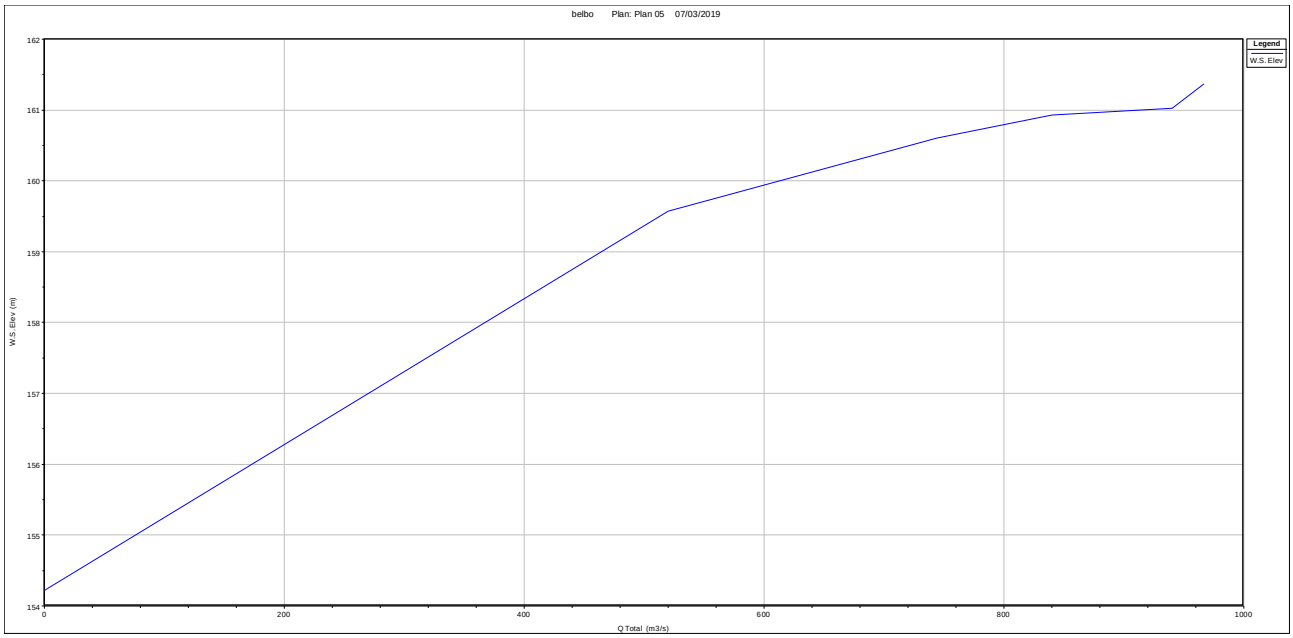

Figura 33 – Scala di deflusso della sezione 60.

Si può inoltre notare come l'area golenale a monte del depuratore, immediatamente a valle del ponte della S.P. 592, risulti allagata già per eventi di piena con tempo di ritorno di 20 anni: tali allagamenti interessano la strada di accesso al depuratore, il che, se non ha conseguenze dirette sull'integrità strutturale e funzionale dell'impianto, costituisce tuttavia un fattore di rischio per gli addetti (tali aspetti saranno adeguatamente considerati ai fini della redazione del Piano di Emergenza del depuratore).

Ciò premesso, il tracciamento delle scale di deflusso relative alla sezione 80 (a monte del depuratore) permette di determinare la portata che provoca l'allagamento del primo tratto della strada di accesso all'impianto (tratto più depresso, alla quota di circa 161,7 m s.l.m.): si ottiene una portata di circa 515 m^3/s caratterizzata da un tempo di ritorno di circa 20 anni.

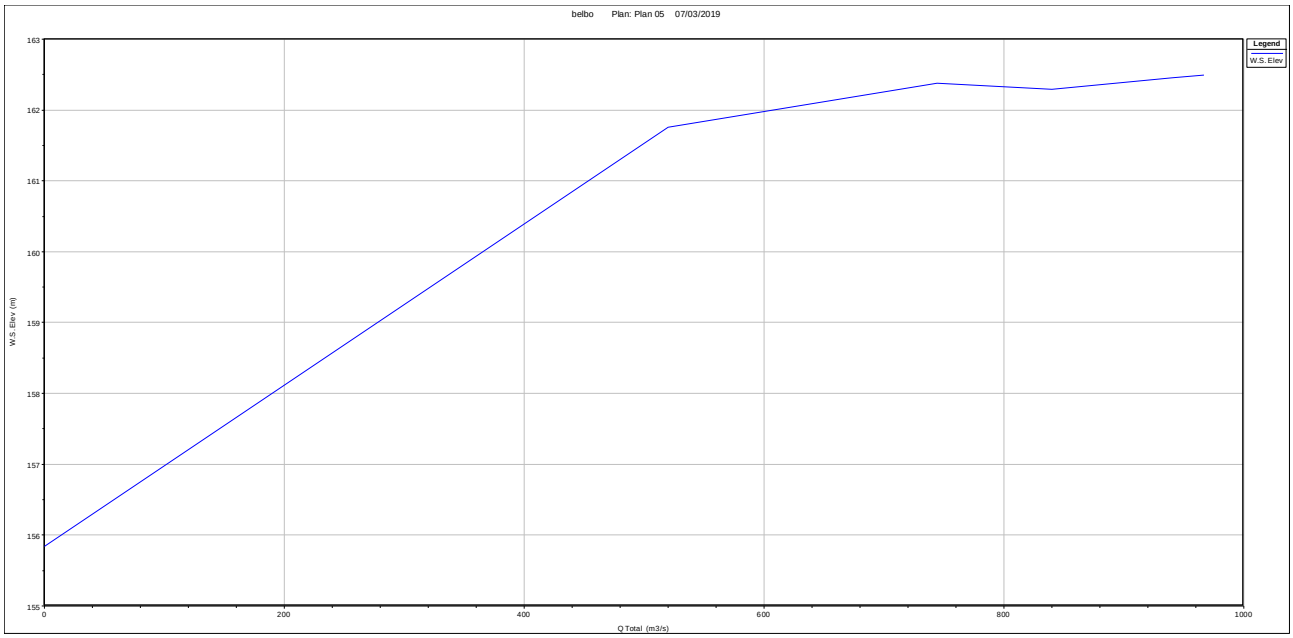

Figura 34 – Scala di deflusso della sezione 80.

È quindi evidente che, in caso di piena del torrente Belbo, l'accesso al depuratore viene impedito per eventi meno gravosi di quelli che possono compromettere la funzionalità dello stesso.

Infine, si rileva come i risultati di calcolo ottenuti siano in sostanziale accordo con le previsioni del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni e delle relative mappe di pericolosità, di cui si riporta di seguito un estratto inerente all'area oggetto di indagine.

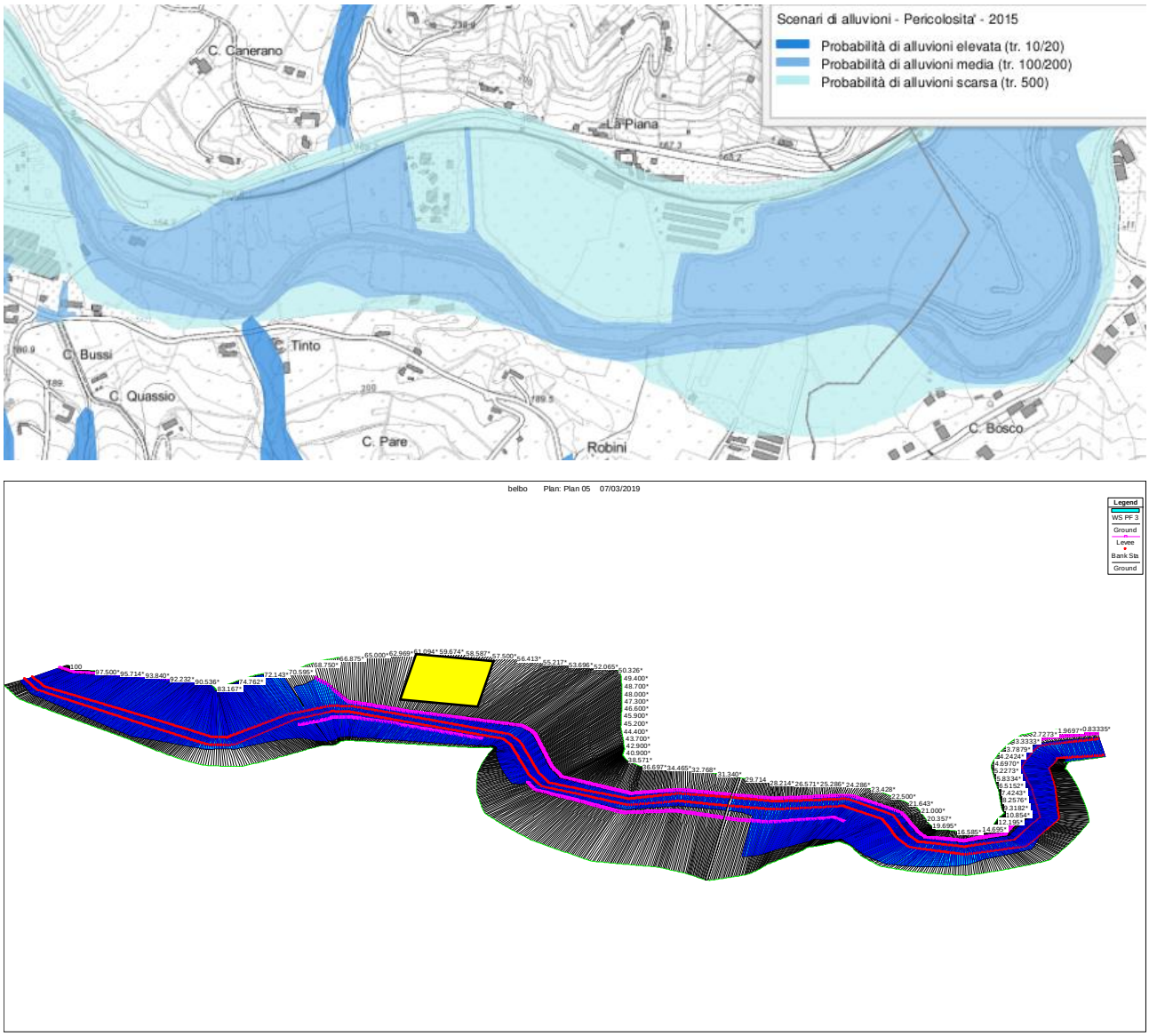

Figura 35 – Mappa di pericolosità del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni e confronto con il calcolo delle aree inondate in corrispondenza della piena TR=200 anni

Tali mappe individuano sul territorio regioni potenzialmente interessate dai fenomeni alluvionali. Dette regioni sono a loro volta classificate in base alla probabilità di essere inondate: sono infatti distinte aree con elevata probabilità di alluvioni (eventi con tempi di ritorno superiori a 10-20 anni), aree con media probabilità di alluvioni (eventi con tempi di ritorno di 100-200 anni) ed aree con scarsa probabilità di alluvioni (eventi con tempi di ritorno fino a 500 anni).

Come si può notare osservando la suddetta mappa, l'area del depuratore di Santo Stefano Belbo risulta inondabile solo per eventi di bassa probabilità (con tempo di ritorno superiore a 200 anni), coerentemente con quanto dimostrato attraverso le simulazioni numeriche effettuate.

Effetti degli interventi in progetto

Sulla base delle analisi idrauliche svolte, si può in primo luogo procedere alla valutazione degli effetti degli interventi di potenziamento del depuratore in fase di approvazione con riferimento ai criteri di compatibilità specificatamente indicati dalla *"Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B"* del PAI:

E.1 modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena: come già ribadito, gli interventi in progetto, relativi a manufatti ubicati all'interno dell'area dell'impianto (non inondabile in corrispondenza della portata duecentennale) non possono determinare modifiche dei livelli idrici di piena del corso d'acqua;

E.2 riduzione della capacità di invaso dell'alveo: sempre in virtù della collocazione degli interventi previsti (interni all'area impianto non inondabile nelle condizioni di progetto), essi non determineranno una riduzione della capacità di invaso dell'alveo;

E.3 interazione con le opere di difesa idraulica: la realizzazione degli interventi in progetto non interferirà in alcun modo con le opere di difesa idraulica esistenti (in corrispondenza del depuratore ed a valle dello stesso) né tantomeno ne inficerà la stabilità e l'efficienza di funzionamento, fermo restando il rispetto, durante le operazioni di scavo per l'esecuzione dei nuovi manufatti, delle distanze minime previste per Legge;

E.4 opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento: il Progetto degli interventi in fase di approvazione non contempla la costruzione di nuove opere idrauliche interferenti con le dinamiche fluviali;

E.5 modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena: analogamente a quanto osservato per i precedenti punti, l'ubicazione delle opere in progetto non comporterà modifiche sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena;

E.6 modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale: considerati il contesto territoriale (moderatamente antropizzato) nonché la tipologia e la collocazione degli interventi (potenziamento di un depuratore esistente con modifiche di alcune strutture e con la costruzione di nuovi manufatti sempre compresi all'interno dell'area dell'impianto), si ritiene che questi ultimi non comportino impatti negativi sulle componenti naturalistiche e ambientali dell'area. Per maggiori dettagli al riguardo, si rimanda agli specifici elaborati progettuali;

E.7 condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena: sulla base delle analisi condotte, è stato possibile determinare le modalità di deflusso delle piene in corrispondenza del depuratore. Se, come già ampiamente dibattuto, le nuove opere non altereranno i livelli di sicurezza dell'impianto, l'analisi ha permesso di ricavare i dati necessari alla valutazione del rischio idraulico per l'intero sito di trattamento, ai fini della definizione degli eventuali interventi di adeguamento e della redazione del Piano di Emergenza prescritto dalla Direttiva n.1 del PAI.

Analisi degli eventi di piena rispetto al rischio idraulico dell'impianto

Stima della portata di piena di inizio inondazione

Sulla scorta dei risultati di calcolo sopra illustrati è possibile quantificare la portata di piena di inizio esondazione, ovvero la portata in corrispondenza della quale sono allagate parti essenziali per il funzionamento del depuratore.

Rispetto alle configurazioni attuale e progettuale dell'impianto, si può assumere che il funzionamento dello stesso sia messo in crisi in corrispondenza di un allagamento che determini livelli idrici all'interno dell'area dell'impianto dell'ordine di 10-20 cm (associati ad una quota assoluta di circa 160 m s.l.m.). In tali condizioni, sarebbero rigurgitati i comparti terminali dell'impianto (filtrazione, sedimentazione) e sarebbero danneggiati i quadri elettrici, la cabina elettrica nonché macchinari di primaria importanza quali i compressori a servizio dell'aerazione del comparto biologico. Per quanto riguarda il valore di portata di piena che produrrà tale allagamento si possono fare due ipotesi, in base alla dinamica di inondazione che si vuole considerare:

- inondazione per tracimazione degli argini: in tal caso si può assumere (cautelativamente) la portata che determina un franco rispetto alla sommità arginale inferiore a 1 m. Sulla base della scala di deflusso della sezione 60, si può stimare che ciò avvenga per portate maggiori di 950 m^3/s, caratterizzate da un tempo di ritorno superiore a 200 anni;
- allagamento per afflusso di acque esterne al depuratore (attraverso le condotte fognarie di alimentazione o le tubazioni di scarico) o per l'impossibilità di smaltire l'effluente del trattamento a causa del rigurgito di queste ultime: in tal caso, si può individuare come portata di inizio esondazione una portata variabile tra circa 576 e 610 m^3/s, la quale determina livelli idrici nel corso d'acqua prossimi alla quota del piano di campagna dell'area del depuratore.

Come già anticipato, i suddetti valori di portata sono rispettivamente caratterizzati da tempi di ritorno di circa 30 e 40 anni.

Ciò detto, appare chiaro come la tracimazione degli argini del depuratore sia scarsamente probabile e, in quest'ottica, il relativo livello di rischio idraulico risulterebbe accettabile.

Considerando invece l'eventualità del rigurgito attraverso le tubazioni che sottopassano gli argini, essa presenta una probabilità più elevata, non compatibile con i livelli di rischio idraulico ammessi per il depuratore dalla Direttiva n.1: in particolare, gli impianti elettrici ed elettromeccanici non sono protetti dal danneggiamento per eventi con tempi di ritorno di 200 anni.

Ai fini delle successive analisi, la portata di inizio esondazione sarà quindi assunta pari a quella relativa all'inizio del rigurgito delle suddette tubazioni.

Per quanto riguarda la durata della piena (a partire dall'istante di inizio esondazione) e la velocità di crescita dell'onda di piena, queste si possono stimare rispettivamente dell'ordine di 4-6 ore e 110-210 $m^3/s/h$, a seconda delle possibili distribuzioni delle precipitazioni sul bacino e dei conseguenti idrogrammi di piena.

Aree inondabili e caratteristiche cinematiche delle correnti di inondazione

Sulla base delle considerazioni sopra riportate, data la natura sostanzialmente pianeggiante dell'area dell'impianto, per portate superiori a quella di inizio esondazione, quest'ultima risulta pressoché interamente allagabile.

Per quanto riguarda l'altezza e la velocità dell'acqua, la prima potrà variare da pochi centimetri sul piano di campagna fino a valori massini di 1,6 m nell'area più depressa, in prossimità dell'argine, passando dalla portata di inizio esondazione alla portata duecentennale; la velocità dell'acqua appare invece trascurabile in quanto, come già detto, l'allagamento non deriva dall'interferenza del depuratore con il flusso della piena, bensì dal riflusso delle acque di piena attraverso le tubazioni in ingresso ed in uscita dal depuratore.

Analisi della vulnerabilità dell'impianto

Descrizione dell'impianto di trattamento

Nella sua configurazione attuale, il depuratore di Santo Stefano Belbo è caratterizzato dal seguente schema di trattamento:

- pre-trattamenti e trattamenti primari:
    - opera di presa e sfioro delle portate eccedenti quella massima ammessa all'impianto (lo sfioro è munito di una griglia autopulente per il trattamento dei reflui inviati direttamente allo scarico). Il manufatto riceve le tubazioni della fognatura che alimenta il depuratore. Dal suddetto sfioro si origina inoltre una delle due condotte di scarico dell'impianto che sbocca in fregio al torrente Belbo. I collettori sopra menzionati sottopassano gli argini del depuratore e costituiscono punti di potenziale ingresso delle acque di piena;
    - grigliatura fine, costituita da due griglie a cestello rotante;
    - sollevamento generale dell'impianto;
    - omogeneizzazione-equalizzazione: il reparto è articolato in due vasche di diversa geometria;
    - chiariflocculazione;
    - sedimentazione primaria;
- trattamenti secondari e terziari:
    - ossidazione biologica: il comparto è articolato in due vasche di diversa geometria;
    - sedimentazione secondaria: il trattamento è operato da due sedimentatori tradizionali a pianta circolare e, quando questi non risultano sufficienti, da ulteriori tre sedimentatori a pacchi lamellari in vasca metallica, fuori terra;
    - filtrazione finale;
    - disinfezione UV;
- linea fanghi:
    - ispessimento statico;
    - stabilizzazione aerobica;
    - disidratazione meccanica (operata mediante un estrattore centrifugo).

Le suddette sezioni di trattamento sono corredate delle necessarie strumentazioni elettromeccaniche (griglie, pompe, miscelatori, compressori, filtri a tela, etc.) ed elettriche (cabina elettrica, quadri di alimentazione e controllo, linee elettriche, etc.).

L'impianto sarà sottoposto ad un intervento di potenziamento che vedrà l'integrazione della suddetta filiera depurativa con l'introduzione di:

- una sezione di dissabbiatura tra il sollevamento generale e l'omogeneizzazione-equalizzazione;
- un ulteriore sedimentatore finale a pianta circolare, che andrà ad affiancarsi ai due esistenti;

- un secondo filtro operante in parallelo a quello esistente.

Figura 36 – L'area dell'impianto. È visibile in primo piano uno dei reattori di ossidazione biologica e, sullo sfondo, il relativo locale compressori.

Figura 37 – L'area dell'impianto. Sulla sinistra, la sedimentazione finale (tradizionale e a pacchi lamellari). Sulla destra, i reattori di ossidazione biologica di prima costruzione (in primo piano) e più recenti (sullo sfondo). Sempre sullo sfondo, al centro, il locale compressori a servizio della linea di ossidazione biologica più recente.

Figura 38 – L'area dell'impianto. In primo piano, la filtrazione finale, la disinfezione UV ed il relativo locale quadri elettrici. Sullo sfondo le vasche di stabilizzazione aerobica ed i locali tecnici della linea fanghi.

Strutture civili

Nello stato attuale e nella configurazione di progetto, le strutture civili dell'impianto sono costituite da costruzioni con setti in elevazione e platee in calcestruzzo armato (vasche e pozzetti, gettati in opera o prefabbricati), manufatti con struttura portante in calcestruzzo armato e tamponamenti in laterizio o blocchetti di cemento (locali tecnici) e tettoie in carpenteria metallica. Rimandando per maggiori dettagli circa le geometrie delle opere (esistenti e previste) alla documentazione progettuale, si possono fornire in questa sede le seguenti informazioni, utili alle successive analisi:

- i manufatti dedicati ai pretrattamenti (grigliatura, sollevamento) si collocano necessariamente a quote inferiori al piano campagna, compatibili con lo scorrimento della fognatura che il depuratore deve ricevere;
- i locali tecnici in genere (locali compressori, cabina elettrica, locali quadri elettrici, locale uffici) presentano piano di calpestio a quote di circa 5-10 cm rispetto al locale piano di campagna ed altezze complessive di più di 3 m;
- le strutture dedicate all'equalizzazione, alla sedimentazione primaria ed al trattamento biologico presentano quote del bordo vasca, rispetto al piano di campagna medio, variabili da un minimo di circa 0,9 m a un massimo di 2,5 m;

- i chiarificatori finali (esistenti ed in progetto) a pianta circolare emergono dal piano campagna di almeno 40 cm (benché possano essere invasi da acque esterne attraverso il rigurgito delle tubazioni di scarico e degli stramazzi di uscita, collocati al di sotto del piano di campagna);
- il bordo vasca del comparto di filtrazione e disinfezione esistente è prossimo, nel punto più depresso, al piano di campagna. Anche in questo caso, il comparto viene tuttavia allagato per rigurgito della tubazione di scarico;
- il bordo vasca della stabilizzazione aerobica si colloca a circa 1,6 m dal piano di campagna, quello dell'ispessitore a circa 2,4 m. La centrifuga è invece sollevata di circa 1,3 m dal livello del terreno;
- il bordo vasca dell'accumulo dei rifiuti speciali si trova a circa 0,9 m dal piano di campagna.

Impianti elettrici

Gli impianti elettrici sono costituiti, nello stato di fatto e nello stato di progetto, da una cabina elettrica di trasformazione, quadri di alimentazione ed automazione, conduttori, cassette di derivazione, etc. . Come già detto, i quadri e le componenti elettriche sono collocati in prossimità del piano campagna, con ridotta sopraelevazione rispetto ad esso, se non interrati (condutture elettriche).

Attrezzatture elettromeccaniche

A corredo delle varie fasi di trattamento sono presenti (nella configurazione attuale ed in quella di progetto) dispositivi quali griglie, pompe sommerse, compressori d'aerazione, strumentazioni di misura, etc. . Si può osservare che:

- le pompe del sollevamento generale dell'impianto, quelle di alimentazione del nuovo sedimentatore in progetto e di rilancio dei fanghi, le griglie, il filtro finale esistente e le lampade UV si collocano ad una quota inferiore a quella del piano campagna;
- la quasi totalità delle altre apparecchiature attuali e future (compressori, centrifuga, nuovo filtro, carriponte dei sedimentatori) è installata al di sopra del piano campagna, ad altezze variabili ma tutte potenzialmente raggiungibili dall'acqua eventualmente rigurgitata dall'esterno dell'area del depuratore in corrispondenza di piene con tempo di ritorno maggiore o uguale a quello della portata di inizio inondazione.

Condotte

I collegamenti idraulici dell'impianto sono realizzati con condotte generalmente funzionanti in pressione e costituite da tubazioni in materiali plastici od in acciaio. Tali condotte sono prevalentemente interrate e, solo in pochi casi, sono aeree, ancorate ai manufatti. Al circuito di processo del depuratore sono inoltre collegate le tubazioni della fognatura interna (funzionante a superficie libera), alimentata dalle caditoie distribuite lungo la viabilità dell'impianto. In caso di afflusso incontrollato di acque di piena all'interno dei pretrattamenti e, in particolare, della stazione di sollevamento, anche la suddetta fognatura interna, attraverso le relative caditoie, può diventare fonte di allagamenti, una volta rigurgitata.

Materiali stoccati

Presso il depuratore sono ordinariamente stoccati reagenti chimici funzionali al processo di trattamento. In particolare, durante il normale esercizio dell'impianto potranno essere utilizzate le seguenti sostanze chimiche:

Prodotto	**Stoccaggio**
Soluzione commerciale cloruro ferroso	Serbatoio fisso in PRFV (capacità 25 m^3)
Soluzione commerciale alluminato di sodio	Serbatoio fisso in PRFV (capacità 25 m^3)
Soluzione commerciale di idrossido di sodio	Serbatoio fisso in PRFV (capacità 10 m^3)
Acque metanoliche	Serbatoio fisso in PRFV (capacità 10 m^3)
Poliammina	Cisternette mobili (capacità 1 m^3)
Antischiuma	Cisternette mobili (capacità 1 m^3)
Ipoclorito di sodio	Cisternette mobili (capacità 1 m^3)
Polielettrolita liquido	Cisternette mobili (capacità 1 m^3)
Fosfato biammonico	Sacchi da 50 kg
Calce	Sacchi da 30 kg
Urea	Sacchi da 30 kg
Polielettrolita in polvere	Sacchi da 25 kg
Acido citrico	Sacchi da 20 kg
Acido formico	Bidoni da 20 kg
Carbone	Sacchi da 10 kg

Sempre all'interno dell'area dell'impianto, possono essere temporaneamente accumulati in un'apposita vasca (il cui bordo si colloca a circa 0,9 m dal piano di campagna) rifiuti speciali destinati ad essere trattati presso il depuratore.

Vie di accesso

L'accesso al depuratore è consentito da una strada asfaltata che, a partire dal ponte della S.P. 592, costeggia la vicina ferrovia fino in prossimità dell'impianto. L'area del depuratore è protetta da una recinzione perimetrale e da un cancello carrabile che permettono l'ingresso al solo personale autorizzato.

Valutazione dell'interferenza tra gli eventi di piena e l'impianto di trattamento

Sulla base delle considerazioni sopra esposte e dei risultati delle simulazioni numeriche precedentemente riportati è possibile così descrivere le interferenze tra gli eventi di piena ed il depuratore.

Situazione attuale

Al verificarsi degli eventi di piena individuati nella presente analisi, ovvero per piene progressivamente più gravose rispetto a quella di inizio esondazione, le parti di impianto progressivamente coinvolte al crescere dei livelli idrici risultano:

- in primo luogo, l'opera di presa, la grigliatura, la stazione di sollevamento ed il comparto di filtrazione e disinfezione finale. Si tratta infatti di opere o dispositivi collocati al di sotto del piano campagna. In generale, l'allagamento dei comparti potrà determinare il danneggiamento e la perdita di funzionalità dei suddetti dispositivi. Fanno eccezione le pompe della stazione di sollevamento (sommergibili), per le quali la sola crescita dei livelli idrici nella relativa vasca di accumulo non è tale da interromperne il servizio. Ovviamente, ciò non è più vero allorché, assieme all'afflusso di acque esterne, si determini l'ingresso di grandi quantità di materiale solido (eventualità tutt'altro che remota in caso di piena). Si può comunque concludere che, in tali circostanze, considerata la possibilità di by-passare le griglie e la filtrazione finale, l'impianto manterrà nel complesso la propria operatività, almeno fino all'eventuale interrimento della stazione di sollevamento;

- al crescere dei livelli di piena al di sopra del piano campagna, già in presenza di altezze d'acqua dell'ordine di 10-20 cm (alla quota di circa 160 m s.l.m.), l'acqua di inondazione comincerebbe a rifluire all'interno dei sedimentatori secondari e verrebbero nel contempo danneggiati i quadri elettrici ed i compressori d'aerazione del comparto biologico. In tal caso, si può ritenere che la funzionalità dell'impianto sia gravemente compromessa. Occorre tuttavia ribadire che, in tali circostanze, risultando i livelli idrici ancora inferiori ai bordi delle vasche di trattamento, non si avrebbero dispersioni nell'ambiente dei liquami o dei fanghi contenuti nei reattori;
- per livelli idrici superiori a 40-50 cm dal piano campagna (160,3 m s.l.m.) verrebbero completamente sommersi i sedimentatori finali esistenti, mentre per livelli idrici maggiori di 1 m (160,9 m s.l.m.) risulterebbero allagati anche il sedimentatore primario, l'accumulo dei rifiuti speciali ed una linea di ossidazione. In tali circostanze, oltre alla generale perdita di funzionalità del depuratore, si verificherebbe la dispersione di acque contaminate al di fuori dei bacini.

Come già osservato, la strada di accesso al depuratore sarà prevedibilmente allagata in concomitanza del deflusso di portate superiori a 515 m^3/s (sarà quindi interrotta prima che la funzionalità del depuratore venga minacciata dalla piena). Nel tratto più a monte, in prossimità dell'innesto sulla S.P. 592, essa si sviluppa infatti in un'area relativamente depressa il cui allagamento costituisce il fattore limitante all'accesso in sicurezza al depuratore.

Infine, i serbatoi mobili e fissi dei reagenti chimici (collocati a terra), al crescere dei livelli idrici possono essere soggetti a galleggiamento (in particolare se vuoti). Si può tuttavia osservare che, risultando le altezze d'acqua (almeno fino alla portata duecentennale) significativamente inferiori alla sommità degli argini, detti serbatoi, ancorché spostati dalle originarie sedi, rimarrebbero comunque confinati all'interno dell'impianto, senza costituire potenziali ostruzioni per ponti od altri manufatti a valle.

Situazione di progetto

Analoghe considerazioni valgono per la configurazione finale del depuratore. Come già detto, gli interventi di potenziamento in progetto non determineranno significative alterazioni delle dinamiche sopra descritte. Si può tuttavia precisare che:

- il nuovo dissabbiatore è costituito da una vasca metallica sopraelevata rispetto al piano di campagna di circa 1,6 m, ragion per cui non sarà sostanzialmente interessato dai livelli idrici di piena, anche in corrispondenza del deflusso della piena duecentennale;
- il nuovo sedimentatore secondario è caratterizzato da un bordo vasca di altezza pari a circa 10 cm dal piano di campagna (nel punto più basso);
- il nuovo filtro sarà installato fuori terra (quindi a quota superiore rispetto a quello esistente) e potrà pertanto essere danneggiato per eventi che determinino altezze d'acqua all'interno dell'impianto dell'ordine di 1m.

Si può infine osservare che l'eventuale danneggiamento dei suddetti reparti non comporta un aggravio delle criticità dell'impianto in condizioni di piena del torrente Belbo rispetto alla situazione attuale.

Analisi della funzionalità dell'impianto durante gli eventi di piena

Come si è visto, l'impianto in esame, in virtù dell'estensione e della morfologia (pressoché pianeggiante) del sito di trattamento e delle caratteristiche geometriche dei manufatti, non ammette, in caso di piena, diversi gradi di funzionamento parziale.

Infatti, qualora il livello delle acque superi la quota del piano campagna per alcune decine di centimetri, verrebbero interessati dall'allagamento dispositivi di primaria importanza come i compressori d'aerazione nonché i principali quadri elettrici e la cabina elettrica. In tali circostanze, l'impianto sarebbe messo fuori servizio, pur senza subire danni strutturali rilevanti.

Occorre infatti sottolineare che, anche nelle condizioni di piena più gravose considerate ai fini della presente analisi del rischio (eventi con tempo di ritorno di 200 anni), i massimi livelli idrici riscontrabili così come le velocità dell'acqua all'interno dell'area dell'impianto non sono tali da arrecare significativi danni alle strutture (tenuto conto che la gran parte dei bacini è normalmente piena d'acqua, con livelli di invaso anche superiori a quelli delle acque di piena). Se quindi può ritenersi probabile una perdita di funzionalità per danneggiamento di alcune importanti componenti elettriche ed elettromeccaniche, si può comunque asserire che il ripristino della stessa possa conseguirsi in un arco temporale relativamente limitato (dell'ordine di alcune settimane), sostanzialmente corrispondente alla sostituzione delle componenti elettriche ed elettromeccaniche deteriorate.

Identificazioni delle parti dell'impianto vulnerabili rispetto agli eventi di piena

In definitiva, rispetto al mantenimento della sicurezza sanitaria ed ambientale, le componenti più vulnerabili del depuratore risultano gli impianti elettrici, da cui dipende l'operatività delle altre apparecchiature (comprese quelle non interessate dall'inondazione). Si possono inoltre citare le griglie, i compressori dell'aerazione e le pompe del sollevamento. Queste ultime, ancorché sommergibili, potrebbero essere rese inservibili per l'accumulo di terra e detriti trasportati dalla fognatura in seguito all'evento alluvionale.

Conclusioni

Le analisi effettuate ai precedenti paragrafi conducono alle seguenti conclusioni:

1. rispetto agli scenari considerati (eventi di piena con tempi di ritorno compresi tra 20 e 200 anni), la gran parte delle componenti dell'impianto presenta un rischio idraulico superiore alla soglia di "Rischio Idraulico accettabile" individuata dalla Direttiva n.1: non è infatti garantito il franco minimo rispetto ai livelli idrici della piena di progetto. Ciò è vero ammettendo la possibilità, concreta nell'odierna configurazione del depuratore, che quest'ultimo si allaghi per il riflusso di acque dall'esterno dell'area arginata (attraverso le condotte fognarie in ingresso e/o le tubazioni di scarico) o per l'impossibilità di scaricare nel Belbo le acque in arrivo dalla fognatura così come quelle in uscita dal trattamento (per il rigurgito delle tubazioni di scarico). Se tali fenomeni di riflusso o rigurgito venissero impediti e si garantisse la possibilità di sollevare l'effluente dell'impianto al di sopra dei livelli di piena del Belbo, allora il depuratore potrebbe essere allagato solamente per tracimazione degli argini che lo circondano. Le analisi idrauliche dimostrano tuttavia che detti argini, anche in corrispondenza del deflusso della piena duecentennale, garantiscono un franco superiore a 1 m rispetto all'eventuale tracimazione, il che permetterebbe di soddisfare i criteri di "rischio idraulico accettabile" stabiliti dalla normativa;
2. nell'odierna configurazione dell'impianto, le componenti esposte a maggiore rischio idraulico sono rappresentate sostanzialmente dagli impianti elettrici e dalle apparecchiature elettromeccaniche collocate in prossimità o al di sotto del piano di campagna. Le opere civili, in parte presentano già oggi un rischio idraulico accettabile (una linea di ossidazione e le vasche di equalizzazione offrono franchi rispetto alla piena duecentennale anche superiori a 1 m); in generale, indipendentemente dai franchi idraulici dei bordi vasca, i livelli idrici e le

dinamiche di esondazione non sono comunque tali da determinare danni strutturali rilevanti ai diversi manufatti;

3. la funzionalità dell'impianto, nella configurazione attuale ed in quella progettuale, entra sostanzialmente in crisi con il danneggiamento degli impianti elettrici (cabina elettrica, quadri elettrici, etc.);
4. in definitiva, si può affermare che, nelle condizioni odierne (con possibilità di rigurgito delle tubazioni di scarico e di afflusso incontrollato di acque di piena dalla fognatura in ingresso), la funzionalità del depuratore e la conseguente sicurezza ambientale e sanitaria dell'area non sono intaccate se non per eventi con tempi di ritorno superiori a 30-40 anni: si tratta in ogni caso di fenomeni con tempo di ritorno superiore alla vita utile degli impianti del sito di trattamento. Inoltre, tali fenomeni sono caratterizzati da una probabilità di accadimento notevolmente inferiore a quella di possibili avarie o guasti delle apparecchiature elettriche ed elettromeccaniche (associati ad usura, scariche atmosferiche, etc.) che produrrebbero analoghe temporanee interruzioni di servizio durante il normale esercizio. Qualora si ponesse rimedio alle suddette criticità, la funzionalità del depuratore in caso di piena sarebbe invece garantita, grazie agli argini esistenti, anche per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni;
5. occorre infine precisare che l'eventuale interruzione di funzionalità del depuratore per fenomeni alluvionali gravosi (come quelli sopra considerati) deve comunque essere contestualizzata rispetto ad uno scenario di evento più generale: qualora, le aree golenali a monte del depuratore fossero allagate, sarebbe probabilmente compromessa anche l'officiosità della fognatura in arrivo all'impianto la quale verrebbe ostruita dal fango (la fognatura infatti è in comunicazione con la superficie tramite chiusini e caditoie). In tali condizioni non sarebbe neppure opportuno mantenere in funzione il depuratore in quanto vi si alimenterebbero grandi quantità di sedimenti che ne ostacolerebbero il riavvio al termine dell'evento calamitoso. La temporanea sospensione del trattamento non avrebbe del resto impatti ambientali o sanitari di rilievo: si stanno infatti considerando portate di piena dell'ordine di centinaia di m^3/s in cui verrebbero scaricate portate di refluo grezzo di 0,04 m^3/s (con una diluzione di migliaia di volte);
6. per quanto riguarda i tempi di ripristino della funzionalità del depuratore, la sostituzione di macchinari quali pompe e compressori ad opera di un Gestore strutturato come SISI S.r.l. può avvenire nel giro di pochi giorni o settimane (a seconda dell'entità dei danni e delle condizioni di sicurezza locali). Gli impianti elettrici possono inoltre essere ripristinati anch'essi in pochi giorni o settimane (un'alimentazione di soccorso per utenze strategiche può essere fornita da gruppi elettrogeni).

Si ribadisce inoltre che un fattore limitante per il ripristino della funzionalità dell'impianto può invece essere rappresentato dal potenziale diffuso danneggiamento della rete fognaria.

Proposte di interventi di riduzione del rischio idraulico

Sulla base delle conclusioni tratte dall'analisi di vulnerabilità del depuratore di Santo Stefano Belbo, sono stati valutati i possibili interventi per la riduzione del rischio entro livelli accettabili in considerazione della specifica realtà locale.

Nell'individuazione di tali interventi si è tenuto conto del fatto che l'impianto risulta già protetto da argini di altezza adeguata al contenimento dei livelli idrici della piena duecentennale con idoneo franco di sicurezza. La presenza di detti argini è tuttavia vanificata dal fatto che gli stessi sono sottopassati da alcune tubazioni (fognatura in ingresso e scarico dell'impianto) che possono costituire un punto di ingresso per acque esterne; inoltre, allorché i livelli idrici nel corso d'acqua superano la quota delle tubazioni di scarico, queste risultano rigurgitate e l'impianto si trova nell'impossibilità di smaltire i reflui in arrivo dalla fognatura e quelli trattati attraverso la filiera di processo.

Ciò premesso, tralasciando la delocalizzazione dell'impianto (ipotesi peraltro già scartata dalla stessa SISI S.r.l.) in quanto richiederebbe costi di investimento superiori rispetto a qualsiasi opera di adeguamento del sito esistente, si possono esaminare le seguenti opzioni:

1. sopraelevazione: come già osservato, l'area dell'impianto, pressoché pianeggiante, può essere interamente allagata a causa del rigurgito delle condotte di scarico o del riflusso di acque dall'esterno attraverso le tubazioni fognarie che sottopassano le arginature. Le altezze idriche nell'area impianto possono in tal caso variare potenzialmente da alcune decine di centimetri, in corrispondenza del deflusso delle piene con tempo di ritorno di 30-40 anni, a più di 1 m, in concomitanza alla piena duecentennale. Il perseguimento dei livelli di rischio idraulico accettabile attraverso la sopraelevazione delle componenti e dei manufatti interessati dall'inondazione richiederebbe:
    a. la sopraelevazione di almeno 1,1 m del bordo vasca dell'accumulo rifiuti speciali e del reattore di ossidazione caratterizzato da una minore altezza fuori terra;
    b. la ricostruzione e la sopraelevazione di almeno 2 m della cabina elettrica, dei locali quadri elettrici e dei locali compressori;
    c. lo spostamento fuori terra, ad un'altezza superiore ai massimi livelli di piena di linee e componenti elettrici. Nel dettaglio, i conduttori elettrici, le scatole di derivazione,

etc. dovrebbero essere in generale posti a quote superiori a circa 2 m dal p.c. . I cavi e la componentistica elettrica collocata a quota inferiore dovrebbero invece essere caratterizzati da grado di protezione compatibile con la temporanea sommersione da parte dell'acqua;

d. per i manufatti esistenti dovrebbero essere in ogni caso essere adottati provvedimenti volti a permettere il bilanciamento delle pressioni idrostatiche interne ed esterne (sia in fase di crescita dei livelli sia in fase di decrescita). I locali tecnici allagabili dovrebbero essere muniti di sfiati per favorire l'espulsione dell'aria durante l'eventuale allagamento;

e. i serbatoi o le confezioni di reagenti chimici (defosfatanti, polielettroliti, etc.) dovrebbero essere collocati a quote superiori al livello di piena (aumentato di 1 m). Nel caso in esame ciò si tradurrebbe nel disporre detti stoccaggi a quote superiori ad almeno 2 m dal piano campagna.

I suddetti interventi, evidentemente onerosi in quanto comportano la demolizione e la ricostruzione di alcuni edifici nonché l'adeguamento strutturale di parte dei reattori, non appaiono tuttavia di per sé risolutivi: senza un'azione sulle tubazioni di alimentazione e di scarico, l'acqua continuerebbe ad invadere l'area dell'impianto, rimanendo così immutato il livello di pericolosità per gli operatori. Inoltre, per alcuni manufatti (grigliatura, sollevamento, sedimentazione finale, filtrazione e disinfezione finale), la sopraelevazione dei bordi vasca è inutile: l'acqua esterna potrà sempre rifluire all'interno degli stessi attraverso le tubazioni di processo. La sopraelevazione diverrebbe efficace solamente a patto di riorganizzare l'intero profilo idraulico del depuratore, con interventi ancora più invasivi e che coinvolgerebbero la quasi totalità dei comparti.

L'unico vantaggio apprezzabile sarebbe un più rapido ripristino dell'operatività del depuratore successivamente all'evento alluvionale, stante il mantenimento di molte componenti tecnologiche al di sopra dei livelli di piena.

Tutto ciò premesso, appare chiaro come, nel caso in esame, l'ipotesi di una semplice sopraelevazione dell'impianto non risulti sostenibile sia per i dubbi risultati conseguibili sia per gli assai elevati costi realizzativi;

2. impermeabilizzazione generale dell'impianto: come già detto, l'impianto è dotato di arginature, peraltro adeguate rispetto ai livelli idrici della piena di progetto. Tali arginature possono tuttavia essere "aggirate" dalle acque di piena attraverso le tubazioni in ingresso ed in uscita (fognatura e scarico del depuratore), con conseguente allagamento del sito di

trattamento. Quest'ultimo può inoltre essere allagato anche per l'impossibilità di scaricare il refluo depurato così come le acque meteoriche raccolte dalla fognatura interna allorché lo scarico del depuratore risulti rigurgitato dalle acque del Belbo. Con la costruzione delle suddette arginature, l'impianto in esame è quindi già stato sottoposto ad interventi di riduzione del rischio idraulico, interventi che, tuttavia, appaiono incompleti, non essendo state considerate le dinamiche sopra descritte. Rispetto agli interventi invasivi descritti al punto precedente, risulta quindi assai più conveniente agire direttamente sulle odierne e circoscritte criticità del sistema di protezione arginale con i seguenti interventi:

a. inserimento di dispositivi di sezionamento (valvole e paratoie) sulle condotte in ingresso ed in uscita dal depuratore, in modo da poter limitare od interrompere l'ingresso di acque esterne nell'area del depuratore;
b. realizzazione di una stazione di sollevamento che permetta il rilancio nel Belbo dei reflui in uscita dal depuratore (in arrivo dai trattamenti secondari o dallo sfioro a monte dell'impianto) nonché delle acque meteoriche ricevute dalle superfici interne alle arginature, anche nel caso in cui i livelli idrici del corso d'acqua siano superiori alla quota di scarico dell'impianto. La stazione di sollevamento in esame dovrà poter essere alimentata anche con un gruppo elettrogeno in modo da risultare sempre funzionante anche in caso di interruzioni dell'erogazione di energia elettrica dalla rete pubblica.

In tal modo, si assicurerebbe la completa tenuta idraulica delle strutture di difesa esistenti (argini) e si garantirebbe il costante smaltimento nel Belbo delle acque meteoriche o in arrivo dalla fognatura. Tali opere, di estensione e di costo notevolmente ridotti in rapporto ad interventi di adeguamento strutturale dell'intero depuratore, permettono di elevare la portata di inizio inondazione a quella che determina la tracimazione degli argini, caratterizzata da un tempo di ritorno superiore a 200 anni e quindi assai meno probabile rispetto alla portata critica attuale.

In definitiva, il confronto tra le due alternative progettuali sopra rappresentate consente di individuare nella seconda (ovvero nell'installazione di organi di sezionamento delle tubazioni sottopassanti gli argini e nella costruzione di una stazione di rilancio dei vari flussi idrici in uscita dal depuratore verso il corso d'acqua) quella caratterizzata dal miglior rapporto costi-benefici.

Tale soluzione tecnologica sarà dettagliatamente illustrata nei successivi paragrafi, provvedendo inoltre a fornirne un dimensionamento di massima ed una stima sommaria di spesa.

Rischio idraulico residuo

Come si è visto, la presenza degli odierni argini unitamente alla realizzazione degli interventi sopra proposti conferirebbe all'impianto un livello di rischio idraulico accettabile: esso rimarrebbe infatti operativo anche in corrispondenza di eventi di piena con tempo di ritorno superiore a 200 anni.

Permarrebbe sempre una quota di rischio idraulico associata ad eventuali danneggiamenti degli argini durante gli eventi di piena o ad eventuali malfunzionamenti dei presidi di sicurezza previsti (paratoie, nuova stazione di sollevamento).

Tale rischio idraulico residuo appare tuttavia sostenibile tenuto conto che:

- gli eventi considerati sono caratterizzati da elevati tempi di ritorno: eventuali fallanze dei sistemi di protezione in corrispondenza di tali eventi risultano caratterizzate da probabilità ancor più ridotte;
- qualora si realizzino condizioni tali da minacciare l'operatività e l'integrità dell'impianto anche in seguito alla realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico precedentemente descritti è assai probabile che anche l'infrastruttura fognaria a monte del depuratore sia seriamente compromessa (per interrimento, asportazione di collettori in prossimità del corso d'acqua, etc.);
- anche nell'ipotesi di un danneggiamento del depuratore, i tempi per un ripristino della funzionalità dello stesso, si possono stimare dell'ordine di alcuni giorni o settimane (tempi comunque compatibili con eventuali pulizie o ricostruzioni dei collettori fognari). Le apparecchiature eventualmente danneggiate (pompe, compressori, etc.) possono essere rapidamente sostituite con altre di riserva a disposizione del Gestore;
- il danno ambientale legato al mancato trattamento, nelle suddette circostanze, di una portata media di acque nere di 0,04 m^3/s in concomitanza della piena di progetto è sicuramente modesto.

Per quel che concerne infine l'incolumità del personale di gestione, essa sarà tutelata con l'adozione di un Piano di Emergenza che disciplinerà l'evacuazione del sito all'attivarsi di specifiche soglie di rischio stabilite con criteri di cautela rispetto agli eventi di piena descritti in precedenza. Il Piano di Emergenza sarà oggetto di uno specifico elaborato redatto sulla base delle risultanze dell'odierno studio.

Descrizione degli interventi per la riduzione del rischio idraulico

Sulla scorta delle analisi numeriche e delle valutazioni contenute nel presente Studio ed illustrate ai precedenti paragrafi, è stato possibile individuare i seguenti interventi di riduzione del rischio idraulico del depuratore di Santo Stefano Belbo:

- installazione di valvole a clapèt sulle tubazioni di scarico;
- installazione di paratoie di sezionamento sulle medesime tubazioni di scarico a monte delle suddette valvole a clapèt;
- installazione di una paratoia di regolazione e sezionamento allo sbocco della fognatura in ingresso al depuratore;
- costruzione di una nuova stazione di sollevamento che possa ricevere i reflui in arrivo dai trattamenti secondari e terziari, i liquami eventualmente sfiorati in testa al depuratore, le acque meteoriche raccolte dalla fognatura interna dell'impianto e le eventuali acque di infiltrazione dai rilevati arginali;
- installazione di un gruppo elettrogeno che assicuri il funzionamento della suddetta stazione di sollevamento anche in caso di interruzione dell'erogazione di energia elettrica dalla rete pubblica.

Installazione di valvole a clapèt e paratoie di sezionamento e regolazione sulle condotte in ingresso ed in uscita dal depuratore

Come già detto, allo stato attuale, la protezione offerta dagli argini del depuratore è vanificata dalla presenza di condotte fognarie non presidiate che, collocate al di sotto dei rilevati arginali, permettono l'eventuale riflusso delle acque di piena allorché queste ultime raggiungono livelli superiori allo scorrimento di dette tubazioni.

Le condotte in esame sono costituite da:

- i due collettori di scarico del depuratore (rispettivamente dedicati al convogliamento dell'effluente dei trattamenti secondari e di quello dello sfioro di testa dell'impianto) che sboccano entrambi direttamente sulla sponda sinistra del torrente Belbo;
- la fognatura che alimenta il depuratore, in arrivo dall'area golenale sinistra del torrente Belbo, e che sbocca nell'area dell'impianto in un pozzetto immediatamente a monte del reparto di grigliatura.

In caso di piena, al crescere dei livelli idrici, le tubazioni di scarico vengono progressivamente rigurgitate con le seguenti conseguenze:

- in una prima fase, in presenza di una limitata sommersione della sezione terminale dei collettori, questi subiscono una pressurizzazione con la generazione di un rigurgito che si può progressivamente estendere a monte interessando i comparti di disinfezione, filtrazione e sedimentazione finale;
- qualora i livelli idrici nel Belbo superino la quota del piano di campagna del depuratore, il carico idraulico dei reflui in uscita da quest'ultimo può non essere più sufficiente a mantenere un flusso dei liquami diretto verso l'esterno dell'area dell'impianto e, per contro, si può innescare l'afflusso di acque esterne verso l'interno del perimetro arginale.

Analogamente, qualora porzioni dei collettori fognari a monte del depuratore vengano sommerse dalle acque di piena (per esempio, nell'eventualità di un allagamento dell'area golenale a monte del sito di trattamento), gli stessi possono risultare pressurizzati per il massiccio afflusso di acque di inondazione attraverso pozzetti e caditoie. In tali circostanze, possono giungere al depuratore portate idriche assai superiori a quelle che lo stesso è in grado di ricevere. Potrebbe inoltre essere impossibile smaltire tali portate anomale attraverso lo sfioratore in testa all'impianto qualora, nel contempo, la relativa tubazione di scarico risultasse rigurgitata dal torrente Belbo in piena.

Tutto ciò considerato, ai fini della risoluzione delle criticità sopra illustrate, sono stati individuati i seguenti interventi:

- installazione di valvole a clapèt sulle tubazioni di scarico: tali valvole, posizionate sul paramento esterno del manufatto di scarico sulla sponda del torrente Belbo, consentiranno il solo deflusso dei reflui verso l'esterno del depuratore, impedendo il riflusso in senso contrario delle acque del Belbo. Le valvole si attiveranno automaticamente, al crescere dei livelli idrici esterni, senza richiedere un intervento degli addetti, risultando pertanto utili anche in situazioni di emergenza idrogeologica non previste o non prevedibili;
- installazione di paratoie di sezionamento sulle medesime tubazioni di scarico a monte delle suddette valvole a clapèt: per una maggiore ridondanza ed una maggiore sicurezza dell'impianto e degli operatori, a monte delle valvole a clapèt indicate al punto precedente, sulle due tubazioni di scarico saranno installate apposite paratoie di sezionamento. Queste ultime saranno motorizzate e potranno essere chiuse automaticamente (asservendone l'attivazione alla misura di livello operata allo scarico della disinfezione finale) o per intervento manuale degli addetti. In tal modo, il depuratore sarà protetto contro l'ipotesi di un

malfunzionamento (chiusura parziale) o del danneggiamento (per effetto della piena) delle valvole a clapèt esterne. Le paratoie in esame, installate all'interno dell'impianto, non saranno infatti soggette alle più severe azioni idrodinamiche della corrente di piena od all'impatto di materiale flottante cui potrebbero invece essere sottoposte le valvole a clapèt;

- installazione di una paratoia di regolazione e sezionamento allo sbocco della fognatura in ingresso al depuratore: nel pozzetto allo sbocco della condotta fognaria in ingresso al depuratore sarà installata una paratoia motorizzata di sezionamento e regolazione. Analogamente a quanto indicato al punto precedente, tale paratoia potrà essere azionata automaticamente (in funzione della portata misurata in ingresso alla stazione di sollevamento o scolmata attraverso lo sfioratore di testa dell'impianto) o per intervento diretto degli operatori, qualora la portata in arrivo superi quella massima trattabile dall'impianto. In caso di piena, al crescere dei volumi idrici in ingresso, la paratoia potrà essere progressivamente abbassata, limitando in tal modo la portata influente. In caso di completa pressurizzazione dei collettori o nell'eventualità di afflusso preponderante di acque di piena (con relativi detriti, fango, etc.), a salvaguardia del depuratore si potrà procedere alla completa chiusura della paratoia. Si sottolinea che il sistema di gestione della suddetta paratoia sarà tarato affinché la stessa non si attivi nel corso del normale esercizio dell'impianto: a titolo indicativo, si potrà fissare la soglia di inizio della parzializzazione della relativa luce di efflusso in corrispondenza di un multiplo elevato della portata media dell'impianto, per esempio 10 Qm.

Costruzione di una nuova stazione di sollevamento per il rilancio dello scarico dell'impianto al di sopra dei livelli di piena del torrente Belbo

I provvedimenti descritti al paragrafo precedente sono funzionali al completamento dei sistemi di difesa dell'impianto contro l'afflusso di acque esterne di piena. L'isolamento totale o parziale del depuratore pone tuttavia il problema dello smaltimento verso il torrente Belbo dei seguenti flussi idrici:

- i reflui trattati che continuano a fluire dai sedimentatori secondari;
- i reflui eventualmente scolmati dallo sfioro di testa del depuratore o dallo sfioro a monte del comparto biologico;
- le acque meteoriche raccolte dalle superfici impermeabili dell'impianto e drenate dalla fognatura interna del depuratore;
- le eventuali acque di filtrazione dagli argini o dal terreno sottostante.

In caso di piena, il deflusso di tali acque verso il Belbo può infatti essere impedito dal rigurgito dei collettori di scarico esistenti e dal sezionamento degli stessi operato dalle valvole e dalle paratoie di cui si prevede l'installazione.

Ciò premesso, appare necessario completare gli interventi in esame con la costruzione di una nuova stazione di sollevamento in grado di ricevere i suddetti flussi idrici e di sollevarli al di sopra dei livelli di piena del Belbo (e quindi al di sopra dei rilevati arginali) così da assicurare la continuità di servizio del depuratore ed il costante drenaggio dell'area dell'impianto anche durante gli eventi di piena.

Procedendo quindi ad un dimensionamento di massima dell'opera, occorre in primo luogo quantificare le portate che la stessa dovrà trattare.

A tal fine, si farà riferimento ai dati contenuti nel Progetto di potenziamento in fase di approvazione.

La portata massima ricevibile dall'impianto è stabilita in 14'765 m^3/d. Quella ammessa ai trattamenti secondari è non superiore a 6'530 m^3/d. La differenza (8'235 m^3/d) può essere smaltita attraverso lo sfioro a monte del comparto biologico, il quale recapita tali reflui nella condotta di scarico dell'effluente trattato.

Ipotizzando che, tramite l'attivazione delle paratoie sulla fognatura in arrivo, le portate in ingresso al depuratore possano essere limitate a circa 10 Qm (28'490 m^3/d, mantenendo lo stesso approccio di calcolo del Progetto degli interventi di potenziamento in fase di approvazione), si ha che attraverso lo sfioratore di testa dell'impianto possono essere scolmate portate pari a circa 13'725 m^3/d.

Alle suddette portate si aggiungono quelle raccolte dalla fognatura interna, le quali possono essere calcolate a partire dalle curve di possibilità pluviometrica riferite al sito in esame, analogamente a quanto fatto per l'intero bacino del Belbo.

Nel dettaglio, assumendo un tempo di corrivazione per l'area dell'impianto T_{ci} di circa 20 min, la precipitazione con tempo di ritorno duecentennale e di durata pari a T_{ci}, ricavabile sulla base dei dati di regionalizzazione del PAI[2], risulta pari a 30 mm.

Applicando il già descritto metodo razionale in riferimento alle superfici impermeabili del depuratore (circa 10'000 m^2) ed assumendo un coefficiente di deflusso pari a 0,8, si ottiene una portata di picco di 0,2 m^3/s, che andrà a sommarsi a quella in arrivo da trattamenti secondari.

Infine, per quel che concerne eventuali portate di infiltrazione, rimandando alle successive fasi progettuali una più accurata quantificazione delle stesse, esse si possono comunque assumere

[2] Opportunamente corretti per precipitazioni di durata inferiore all'ora mediante l'applicazione di un coefficiente di letteratura pari a 0,63.

trascurabili rispetto alla portata di picco degli afflussi meteorici sopra determinata, in virtù delle dinamiche molto più lente dei moti di filtrazione che si possono instaurare in corrispondenza del deflusso della piena. In ogni caso, la stazione di sollevamento sarà dimensionata con generosità, in modo da tenere implicitamente conto delle indeterminatezze connesse all'attuale livello di indagine.

La seguente tabella riassume le suddette portate ed i dati progettuali alla base del dimensionamento del nuovo impianto:

Flusso	**Portata [m^3/d]**	**Portata [l/s]**
Portata in arrivo dai trattamenti secondari	6'530	75,58
Portata in arrivo dallo sfioro a monte del comparto biologico	8'235	95,31
Portata in arrivo dallo sfioro a monte della grigliatura	13'725	158,85
Portata di picco relativa agli afflussi meteorici sull'area dell'impianto	-	200,00
TOTALE		529,74

Ciò considerato, la stazione di sollevamento sarà costituita da un pozzetto interrato di dimensioni interne 4,0 x 3,5 x 3,5 (h) m, in calcestruzzo armato gettato in opera, superiormente chiuso con una soletta carrabile, anch'essa in calcestruzzo armato. Ad esso saranno collegate le tubazioni di scarico dell'impianto e della fognatura interna, adottando quote delle connessioni idrauliche tali che la stazione venga alimentata solo in caso di rigurgito delle suddette condotte. Il manufatto sarà attrezzato con i seguenti dispositivi:

Pompe stazione di sollevamento		
Parametro	**U.d.m.**	**Valore**
Numero dispositivi	-	3+1R
Tipologia	-	Centrifughe
Installazione	-	Sommerse
Portata di progetto del singolo dispositivo (totale)	l/s	176,7 (530)
Prevalenza* (di cui geodetica)	m	6,0 (4,5)
Potenza nominale del motore	kW	15
Avviamento	-	Soft-start
* Alla portata totale dell'impianto, con pompe funzionanti in parallelo		

Dalla stazione di sollevamento si dipartirà un'unica tubazione di mandata che, sovrappassando l'argine, recapiterà le portate rilanciate dalle pompe direttamente in corrispondenza del manufatto di scarico dell'impianto.

Installazione di un gruppo elettrogeno per l'alimentazione dei dispositivi volti alla protezione idraulica dell'impianto

Al fine di garantire l'alimentazione elettrica dei dispositivi di emergenza sopra descritti (paratoie motorizzate e stazione di sollevamento), in prossimità dell'esistente cabina elettrica sarà installato un gruppo elettrogeno da 100 kW sulla platea già predisposta allo scopo.

Ulteriori lavorazioni

Le lavorazioni suddette saranno accompagnate dai necessari interventi di adeguamento dell'impianto elettrico e di messa a terra connessi alla realizzazione del nuovo sollevamento ed all'alimentazione delle nuove utenze.

Tali interventi possono essere così riassunti:

- realizzazione dell'impianto elettrico a bordo vasca dei nuovi manufatti (pozzetti di installazione delle paratoie motorizzate, stazione di sollevamento);
- installazione di un quadro elettrico per l'alimentazione e la gestione della stazione di sollevamento e delle paratoie. Detto quadro elettrico sarà installato su di una apposita platea in calcestruzzo armato collocata in prossimità della stazione di pompaggio e sarà protetto con una tettoia in carpenteria di acciaio zincato. Il quadro sarà inoltre provvisto di un PLC per l'implementazione delle logiche di attivazione delle pompe e delle paratoie;
- adeguamento dello SCADA esistente dell'impianto;
- posa delle linee di alimentazione delle nuove utenze;
- adeguamento del quadro di distribuzione della cabina elettrica.

Inoltre, a seguito delle operazioni di scavo per la costruzione del nuovo manufatto e per la posa di tubazioni e cavidotti interrati, si provvederà alla sistemazione dell'area in termini di rifacimento degli asfalti e delle aiuole eventualmente danneggiati.

Infine, sempre per far posto alla nuova stazione di sollevamento, si procederà allo spostamento della tettoia in cui è attualmente alloggiato il campionatore finale, realizzando una nuova platea in calcestruzzo a fianco del comparto di disinfezione finale.

Quadro economico degli interventi

Si riporta di seguito un'ipotesi del quadro economico degli interventi sopra descritti. In appendice è fornito un più dettagliato calcolo sommario della spesa relativa alle diverse lavorazioni. Quest'ultimo è stato elaborato in riferimento al Prezzario della Regione Piemonte (anno 2018) e ad indagini di mercato relative a particolari forniture e lavorazioni.

	LAVORI	
a.1)	Lavori a corpo	€ 299 832.37
a.2)	Oneri della sicurezza, non soggetti a ribasso d'asta	€ 4 167.63
	TOTALE LAVORI	**€ 304 000.00**
	SOMME A DISPOSIZIONE DELLA STAZIONE APPALTANTE	
b.1)	Lavori in economia, previsti in progetto ed esclusi dall'appalto	€ -
b.2)	Rilievi, accertamenti e indagini	€ 500.00
b.3)	Allacciamenti ai pubblici servizi e risoluzione interferenze	€ -
b.4)	Imprevisti e arrotondamenti	€ 1 075.00
b.5)	Acquisizione e occupazione di aree o immobili e pertinenti indennizzi	€ -
b.6)	Accantonamento per variazioni dei prezzi	€ -
b.7)	Spese tecniche relative alla progettazione, alle necessarie attività preliminari, al coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, alle conferenze dei servizi, alla direzione lavori e al coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, all'assistenza giornaliera e contabilità	€ 40 000.00
b.8)	Spese per attività tecnico-amministrative connesse alla progettazione, di supporto al responsabile del procedimento, e di verifica e validazione	€ -
b.9)	Spese per commissioni giudicatrici	€ -
b.10)	Spese per pubblicità	€ -
b.11)	Spese per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche, collaudo tecnico-amministrativo, collaudo statico ed altri eventuali collaudi	€ 2 500.00
b.12)	Spese tecniche per espropri, atti notarili, etc.	€ -
b.13)	Contributi previdenziali dovuti per legge	€ 1 700.00
b.14)	Contributo ANAC	€ 225.00
	TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE DELLA STAZIONE APPALTANTE	**€ 46 000.00**
	TOTALE (a+b)	**€ 350 000.00**

Appendice: calcoli idraulici relativi agli impianti in progetto

I calcoli idraulici necessari al dimensionamento dei nuovi manufatti sono stati effettuati nell'ipotesi di moto uniforme o permanente. Di qui l'utilizzo, nella verifica delle condotte e dei canali non in pressione, della nota formula di Chèzy per correnti a superficie libera in moto uniforme:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

con il seguente significato dei simboli:

Q = portata defluente;

A = area della sezione liquida;

$\chi = cR^{1/6}$

dove

c = coefficiente di scabrezza di Strickler.

R = raggio idraulico (area della sezione liquida/contorno bagnato)

i = pendenza del fondo

Nei casi in cui si è reso necessario il tracciamento di profili di corrente, si è proceduto alla soluzione numerica delle equazioni di De Saint-Venant o dell'equazione globale dell'equilibrio dinamico, a mezzo di software commerciali di largo impiego nel settore.

Per quanto riguarda le tubazioni in pressione, la valutazione delle perdite di carico è stata effettuata mediante la relazione di Colebrook

$$Q = -\frac{\pi D^2}{2} \cdot \sqrt{2gDi} \cdot \log\left(\frac{2{,}51\nu}{D\sqrt{2gDi}} + \frac{\varepsilon / D}{3{,}71}\right)$$

dove *i* è la pendenza motrice, *v* è la viscosità del liquido e ε è la scabrezza assoluta della tubazione (assunta cautelativamente pari a 1 mm).

Le perdite di carico concentrate sono state valutate secondo la consueta relazione:

$$\Delta H_c = \xi \cdot \frac{U^2}{2g}$$

dove *U* rappresenta la velocità media della corrente e ξ è un coefficiente che assume differenti valori in funzione della singolarità idraulica in esame:

Imbocco (non raccordato)	0,5
Sbocco	1,0
Curve (in funzione del raggio di curvatura, di D e della deviazione angolare)	0,08 ÷ 0,8
Gomiti (in funzione della deviazione angolare)	0,3 ÷ 0,9
Saracinesche	0,2
Valvole di ritegno a sfera mobile	1,5

Per un elenco completo dei suddetti coefficienti, si rimanda alla manualistica tecnica.

Appendice: calcolo sommario della spesa per la realizzazione degli interventi di riduzione del rischio idraulico

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	R I P O R T O							
	LAVORI A CORPO							
1 07.A01.A15. 010	Scavo a sezione obbligata, in terreni naturali, a pareti verticali, eseguito a macchina con eventuale intervento manuale ove occorra; compreso l'armatura, a cassero continuo anche se non recuperabile, occorrente per assicurare la stabilità delle pareti, l'estrazione delle materie scavate ed il loro deposito a lato dello scavo o nel sito indicato dalla D. L. ad una distanza massima di 300 m, il rinterro, l'eventuale uso delle pompe per l'aggottamento,la separazione della terra vegetale da materiale di genere diverso, il ripristino dei canali, dei rivi, ecc. attraversati dallo scavo ed ogni altro onere; per profondita oltre a 1,5 m							
	scavi per tubazioni		10,00	1,600	1,200	19,20		
			8,00	1,600	3,000	38,40		
			130,00	0,600	0,600	46,80		
	scavi per fondazioni	83,66			3,900	326,27		
	SOMMANO m³					430,67	10,92	4´702,92
2 07.A01.A20. 025	Sovrapprezzo allo scavo per taglio e disgregazione della pavimentazione stradale; taglio con macchina operatrice a lama circolare rotante o altri mezzi idonei e disgregazione con mezzi idonei approvati dalla Direzione Lavori; compreso manodopera, carburante ed ogni altro onere; da applicarsi al volume effettivo disgregato							
		70,00			0,300	21,00		
			10,00	1,600	0,300	4,80		
			8,00	1,600	0,300	3,84		
			60,00	0,800	0,300	14,40		
	SOMMANO m³					44,04	15,56	685,26
3 01.P26.A60. 030	Trasporto e scarico di materiale di scavo, demolizione e/o rifiuto ad impianto di smaltimento autorizzato, esclusi i costi di smaltimento e tributi se dovuti. In discarica autorizzata, da 10 km fino a 30 km di distanza							
	volume manufatto	27,50			0,400	11,00		
		19,74			3,400	67,12		
	volume tubazioni		10,00	1,600	0,900	14,40		
			8,00	1,600	0,900	11,52		
			130,00	0,600	0,600	46,80		
	SOMMANO m³					150,84	4,73	713,47
4 29.P15.A25. 010	terra (compresa quella proveniente da siti contaminati), rocce e materiale di dragaggio (rif.codice CER 17 05) terra e rocce, diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03 (rif.codice CER 17 05 04)							
	Vedi voce n° 3 [m³ 150.84]				2,000	301,68		
	SOMMANO t					301,68	9,00	2´715,12
5 01.A04.H30. 005	Casseratura per il contenimento dei getti per opere quali muri, pilastri, archi, volte, parapetti, cordoli, sottofondi, caldane, compreso il puntellamento e il disarmo, misurando esclusivamente lo sviluppo delle parti a contatto dei getti In legname di qualunque forma							
	casseri sollevamento		21,00		0,400	8,40		
			17,80		3,500	62,30		
			15,00		3,500	52,50		
			4,00	3,500		14,00		
	platea quadro elettrico		14,00		0,300	4,20		
	platea campionatore		8,00		0,300	2,40		
	SOMMANO m²					143,80	30,30	4´357,14
6 08.A05.B39. 005	Fornitura e posa di cordolo espansivo bentonitico al 100%, di forma rettangolare, con caratteristiche di espansione a contatto con l'acqua sino a 6 volte il suo volume iniziale senza che cio' comporti modifiche alle sue caratteristiche di tenuta, garantendo una resistenza alla spinta idraulica non inferiore a 500 kpa. Il giunto dovra' essere ancorato al piano di posa mediante rete metallica chiodata con appositi chiodi a fissaggio graduale, oppure							
	A R I P O R T A R E							13´173,91

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	R I P O R T O							13´173,91
	incollata con idoneo collante quando il piano di posa non consenta alcun tipo di chiodatura. dimensioni mm. 25x25							
	stazione di sollevamento		16,00			16,00		
		4,00	3,50			14,00		
	SOMMANO m					30,00	22,44	673,20
7 01.A04.B32. 005	Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1, con Classe di consistenza al getto S4, Dmax aggregati 32 mm, Cl 0.4, per strutture di elevazione (pilastri, travi, solai in latero-cemento e a soletta piena, corpi scala e nuclei ascensore); fornitura a piè d'opera, escluso ogni altro onere: all'esterno di edifici, esposte direttamente all'azione della pioggia, in Classe di esposizione ambientale XC4 (UNI 11104). Classe di resistenza a compressione minima C32/40							
	stazione di sollevamento	27,50			0,400	11,00		
		5,74			3,500	20,09		
			4,00	3,500	0,300	4,20		
	platea quadro elettrico		2,00	1,500	0,300	0,90		
	platea campionatore		3,00	1,000	0,300	0,90		
	SOMMANO m³					37,09	117,28	4´349,92
8 01.A04.B17. 020	Calcestruzzo per uso non strutturale prodotto con un processo industrializzato. Classe di consistenza al getto S4, dmax aggregati 32 mm, cl 0.4; fornitura a pie' d'opera, escluso ogni altro onere. Classe di resistenza a compressione minima C12/15							
	stazione di sollevamento	27,50			0,100	2,75		
	platea quadro elettrico		2,00	1,500	0,100	0,30		
	platea campionatore		3,00	1,000	0,100	0,30		
	SOMMANO m³					3,35	81,77	273,93
9 01.A04.C30. 005	Getto in opera di calcestruzzo cementizio preconfezionato eseguito con pompa compreso il nolo della stessa In strutture di fondazione							
	Vedi voce n° 8 [m³ 3.35]					3,35		
	SOMMANO m³					3,35	20,53	68,78
10 01.A04.C30. 015	Getto in opera di calcestruzzo cementizio preconfezionato eseguito con pompa compreso il nolo della stessa In strutture armate							
	Vedi voce n° 7 [m³ 37.09]					37,09		
	SOMMANO m³					37,09	25,20	934,67
11 01.A04.E00. 005	Vibratura mediante vibratore ad immersione, compreso il compenso per la maggiore quantita' di materiale impiegato, noleggio vibratore e consumo energia elettrica o combustibile Di calcestruzzo cementizio armato							
	Vedi voce n° 10 [m³ 37.09]					37,09		
	SOMMANO m³					37,09	8,55	317,12
12 01.A04.F10. 005	Acciaio per calcestruzzo armato ordinario, laminato a caldo, classe tecnica B450C, saldabile ad alta duttilità, in accordo alla UNI EN 10080 e conforme al D.M. 14/01/2008, disposto in opera secondo gli schemi di esecuzione del progettista strutturista, compreso gli oneri per la sagomatura, la legatura e le eventuali saldature per giunzioni e lo sfrido In barre ad aderenza migliorata ottenute nei diametri da 6 mm a 50 mm							
	Vedi voce n° 7 [m³ 37.09]				90,000	3´338,10		
	SOMMANO kg					3´338,10	1,35	4´506,44
13 01.A24.L05. 005	Trattamento protettivo di superfici in cls, ottenuto mediante applicazione di una ripresa di fondo a tre componenti a base di resine epossidiche e composti inorganici reattivi in ragione di 0.500 kg/m², due riprese di rivestimento a base di resine epossidiche modificate a solvente bicomponente in ragione di 0,300 kg/m² per ripresa; il tutto per uno spessore complessivo finito non							
	A R I P O R T A R E							24´297,97

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	RIPORTO							24´297,97
	inferiore a 400 micron. Compreso ogni onere per l'impiego di qualsiasi tipo di attrezzatura per la miscelatura, lavaggio, illuminazione e aerazione Eseguito su superfici verticali, cordoli e cornicioni							
			14,00		3,300	46,20		
		2,00	4,00	3,500		28,00		
	SOMMANO m²					74,20	26,12	1´938,10
14 NP.02	Fornitura e posa di paratoia DN800 in acciaio inox AISI 304, motorizzata paratoie su fognatura in ingresso					2,00		
	SOMMANO a corpo					2,00	9´000,00	18´000,00
15 NP.04	Fornitura e posa di paratoia DN400 in acciaio inox AISI 304, motorizzata paratoie su scarico					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	7´000,00	7´000,00
16 NP.05	Fornitura e posa di valvola a clapèt DN800 in acciaio inox AISI304 valvole ritegno su scarico					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	6´000,00	6´000,00
17 08.P40.I61.030	TUBI SALDATI GREZZI IN ACCIAIO INOX AISI 304, SECONDO NORME ASTM A 240, FORNITI IN BARRE DA 6,00 MT;SPESSORE 2 MM DN 300, peso 24,20 kg/m							
		4,00	4,50			18,00		
	SOMMANO m					18,00	154,89	2´788,02
18 07.A06.F05.035	Posa in opera nelle trincee o nei manufatti di tubi in acciaio; compreso l'eventuale carico e trasporto da deposito di cantiere, lo sfilamento, la sistemazione a livelletta dei tubi di lunghezza media di 6 m, la saldatura, l'esecuzione dei tagli anche obliqui, compreso la fasciatura dei giunti, fino a soddisfacente prova di scintillamento mediante apparecchio rivelatore a scarica da 15000 volt, ma esclusa la fornitura del materiale ; escluso la posa in opera di pezzi speciali, saracinesche, ecc. ; compreso il collaudo, prova di scintillamento di tutto il rivestimento della tubazione, prova idraulica ed ogni altro onere; per tubi DN 300 Vedi voce n° 17 [m 18.00]					18,00		
	SOMMANO m					18,00	23,31	419,58
19 08.A50.M15.035	Fornitura e posa di tubazioni in acciaio per condotte interrate tipo SS, bitumate UNI EN 10224/2006 - compreso il carico e lo scarico a pie' d'opera, e la loro discesa nella trincea; compreso ogni lavoro e provvista per dare l'opera perfettamente ultimata a regola d'arte DN 600, spessore 12,5 mm							
			35,00			35,00		
			8,00			8,00		
			1,00			1,00		
	SOMMANO m					44,00	284,33	12´510,52
20 09.P02.A75.005	FORNITURA E POSA IN OPERA DI CARPENTERIA INOX Fornitura e posa in opera di strutture di carpenteria in acciaio inox AISI 304 saldato oppure imbullonato con bulloneria inox e fissato con tasselli inox; compreso trattamento delle saldature con prodotti decapanti per dare il tutto finito correttamente. sovrapprezzo per esecuzione in acciaio inox tratti fuori terra collettore mandata pompe		25,00		15,000	375,00		
	SOMMANO kg					375,00	6,63	2´486,25
21 01.P03.B00.0	Ghiaia naturale scevra di materie terrose di cava		10,00	1,600	0,900	14,40		
	A RIPORTARE					14,40		75´440,44

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	RIPORTO					14,40		75´440,44
05			8,00	1,600	0,900	11,52		
	SOMMANO m³					25,92	12,34	319,85
22 01.A01.B90. 010	Riempimento degli scavi in genere, eseguito con qualsiasi materiale, compresa la costipazione ogni 30 cm di spessore, esclusa la fornitura del materiale Eseguito con idonei mezzi meccanici. Vedi voce n° 21 [m³ 25.92]					25,92		
	SOMMANO m³					25,92	6,58	170,55
23 NP.21	Fornitura e posa di valvola di ritegno a palla DN300 PN10 con rivestimento epossidico					4,00		
	SOMMANO cadauno					4,00	4´000,00	16´000,00
24 07.P02.C20.0 05	Gradini alla marinara in acciaio					15,00		
	SOMMANO cad					15,00	6,14	92,10
25 09.P02.A85. 005	FORNITURA E POSA DI CARPENTERIA IN ACCIAIO ZINCATO Fornitura e posa in opera di strutture di carpenteria in acciaio zincato a caldo saldato oppure imbullonato con bulloneria inox e fissato con tasselli inox. struttura portante trave porta paranco *(lung.=2*6,00+2*2)		16,00		61,300	980,80		
		4,00	3,00		61,300	735,60		
	tettoia quadro elettrico		18,00		20,400	367,20		
	SOMMANO kg					2´083,60	3,67	7´646,81
26 01.P01.A30. 005	Operaio comune Ore normali opere di finitura e lavori vari (compreso spostamento tettoia campionatore)					50,00		
	SOMMANO h					50,00	28,89	1´444,50
27 09.P01.A35. 005	REALIZZAZIONE DI COPERTURA IN LAMIERA GRECATA COIBENTATA Fornitura e posa di copertura in lastre isolate coibentate a profilo grecato in acciaio zincato, protetta nella faccia superiore da un rivestimento anticorrosivo (spessore totale lamiera + rivestimento minimo 1,5 mm.) e nella faccia inferiore da un primer bituminoso termostabile. compresi gruppi di fissaggio e pezzi speciali (spessore minimo 50 mm)		2,70	1,700		4,59		
	SOMMANO m²					4,59	79,61	365,41
28 NP.20	Fornitura e posa di tamponamento in pannelli sandwich composti di lamiere preverniciate interne ed esterne e strato coibente intermedio in poliuretano espanso autoestinguente, ancorati alla struttura: spessore 5 cm		2,00	3,000	2,700	16,20		
	SOMMANO m2					16,20	26,00	421,20
29 01.A18.B15. 005	Provvista e posa di porte in ferro costruite con due lamiere affacciate, spessore 10/10 con interposto pannello ignifugo dello spessore di mm 30, il tutto montato su robusta intelaiatura metallica. per la tenuta al fumo si prescrive un gioco massimo di mm 5 e battuta 5 volte il gioco. tutti i profili e le lamiere dovranno essere unite mediante saldatura Resistenti al fuoco per 60 primi ed a tenuta di fumo.		1,50	2,200		3,30		
	SOMMANO m²					3,30	296,53	978,55
30	Fornitura e posa di cameretta di ispezione per fognatura, a sezione quadrata,							
	A RIPORTARE							102´879,41

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	R I P O R T O							102´879,41
NP.25	dimensioni interne 120 x 120 cm, composta da elemento di base, elementi di prolunga e soletta di copertura carrabile. pozzetti paratoie					2,00		
	SOMMANO a corpo					2,00	1´265,68	2´531,36
31 NP.06	Fornitura e posa di valvola a clapèt DN400 in acciaio inox AISI304 valvole ritegno su scarico					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	4´000,00	4´000,00
32 NP.07	Fornitura e posa di paranco per sollevamento pompe					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	3´000,00	3´000,00
33 NP.08	Fornitura e posa di elettropompa sommersa					4,00		
	SOMMANO a corpo					4,00	28´000,00	112´000,00
34 08.A25.F20. 005	Fornitura e posa di chiusino di ispezione in ghisa sferoidale rispondente alle norme UNI EN 124-2, classe D 400 per traffico intenso, a telaio circolare o quadrato con suggello circolare articolato autocentrante ed estraibile con bloccaggio di sicurezza in posizione aperta, munito di guarnizione in elastomero antirumore peso ca kg 90: telaio rotondo, H 100 mm, Ø mm 850-passo d'uomo mm 600 minimi					2,00 1,00		
	SOMMANO cad					3,00	244,54	733,62
35 07.P07.H10. 045	Saracinesca in ghisa sferoidale 400 - 12 UNI 4540; corpo ovale, tenuta in gomma, con sezione interna a passaggio totale ; rivestita internamente con resine epossidiche atossiche; albero in acciaio inox, vite di collegamento interna, cuneo in ghisa sferoidale rivestito in gomma EPDM, completa di volantino di manovra, o cappellotto; flangiata UNI PN 16; DN 300					4,00		
	SOMMANO cad					4,00	553,76	2´215,04
36 07.A14.N05. 025	Posa in opera nelle trincee o nei manufatti di saracinesche in acciaio o in ghisa; compresa la formazione dei giunti a flangia con guarnizioni e bulloni forniti dall'Amministrazione Appaltante o compensati a parte; compreso il collaudo, la prova idraulica ed ogni altro onere; per DN 300 Vedi voce n° 35 [cad 4.00]					4,00		
	SOMMANO cad					4,00	150,31	601,24
37 NP.01	Pannelli di grigliato in PRFV a maglia chiusa	4,00	1,50	0,800		4,80		
	SOMMANO m2					4,80	140,00	672,00
38 01.P01.A30. 005	Operaio comune Ore normali posa in opera grigliati					12,00		
	SOMMANO h					12,00	28,89	346,68
39 19.P03.A20. 020	Fornitura e posa di cordoli di cemento prefabbricati, sezione cm 5x20, con testata ricoperta in pvc, posata su fondazione continua e rinfianco in cls (Al)		10,00			10,00		
	SOMMANO m					10,00	28,60	286,00
	A R I P O R T A R E							229´265,35

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	RIPORTO							229´265,35
40 01.A21.A40. 005	Provvista e stesa di misto granulare anidro per fondazioni stradali, conforme alle prescrizioni della citta' attualmente vigenti, composto di grossa sabbia e ciottoli di dimensioni non superiori ai cm 12, assolutamente scevro di materie terrose ed organiche e con minime quantita' di materie limose o argillose, esclusa la compattazione, compresa la regolarizzazione con materiale fine secondo i piani stabiliti Eseguita a macchina, per uno spessore compresso pari a cm20					32,00		
	SOMMANO m²					32,00	6,29	201,28
41 01.A21.A50. 005	Compattazione con rullo pesante o vibrante dello strato di fondazione in misto granulare anidro o altri materiali anidri, secondo i piani stabiliti, mediante cilindratura a strati separati sino al raggiungimento della compattezza giudicata idonea dalla direzione lavori Per spessore finito superiore a 30 cm Vedi voce n° 40 [m² 32.00]					32,00		
	SOMMANO m²					32,00	1,74	55,68
42 01.A22.A85. 025	Provvista e stesa di misto granulare stabilizzato con emulsioni (graveemulsion) per strato di base conforme alle prescrizioni della citta' per il confezionamento degli impasti a freddo, composto da inerti di torrente, di fiume, di cava o provenienti dalla frantumazione di rocce serpentinose e calcaree delle dimensioni massime di mm 31,5 contenenti almeno il 25% di frantumato di cava, trattati con emulsione di bitume cationiche o anioniche a lenta e controllata rottura. la percentuale di bitume residuo deve essere compresa tra il 3% e il 3,60% in peso degli inerti Steso in opera in una ripresa con motograder livellatore o vibrofinitrice compresa la cilindratura con rullo vibrante dello strato per spessore compresso pari a cm 15 Vedi voce n° 41 [m² 32.00]					32,00		
	SOMMANO m²					32,00	12,44	398,08
43 01.A22.B00. 020	Provvista e stesa di conglomerato bituminoso per strato di collegamento (binder), conforme alle norme e prescrizioni tecniche approvate con Deliberazione della Giunta Comunale di Torino del 28/11/2000, steso in opera con vibrofinitrice a perfetta regola d'arte secondo la vigente normativa e le eventuali indicazioni della direzione lavori, compreso l'onere della compattazione con rullo statico o vibrante con idoneo effetto costipante, esclusa la provvista e stesa dell'emulsione bituminosa di ancoraggio Steso in opera con vibrofinitrice per uno spessore finito di cm 6 compressi Vedi voce n° 42 [m² 32.00]					32,00		
	SOMMANO m²					32,00	9,43	301,76
44 01.A22.B08. 005	Provvista e stesa di mano di ancoraggio per tappeti di usura di tipo drenante - fonoassorbente costituita da bitume di penetrazione 80/100 modificato con polimeri sintetici (elastomeri) steso con apposita attrezzatura a pressione alla temperatura di almeno 160 °C In ragione di kg 1/m² Vedi voce n° 43 [m² 32.00]					32,00		
	SOMMANO m²					32,00	0,85	27,20
45 01.A22.B10. 015	Provvista e stesa a tappeto di conglomerato bituminoso per strato di usura, conforme alle norme e prescrizioni tecniche approvate con Deliberazione della Giunta Comunale di Torino del 28/11/2000, steso in opera con vibrofinitrice a perfetta regola d'arte secondo la vigente normativa e le eventuali indicazioni della D.L., compreso l'onere della compattazione con rullo statico o vibrante con idoneo effetto costipante, esclusa la preparazione della massicciata sottostante e la provvista e stesa dell'emulsione bituminosa di ancoraggio Steso con vibrofinitrice, per uno spessore finito compresso pari a cm 4 Vedi voce n° 44 [m² 32.00]					32,00		
	SOMMANO m²					32,00	6,65	212,80
	A RIPORTARE							230´462,15

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	R I P O R T O							230´462,15
46 NP.16	Fornitura e posa di misuratore di livello radar. misuratore stazione sollevamento misuratore scarico disinfezione					1,00 1,00		
	SOMMANO cadauno					2,00	700,00	1´400,00
47 NP.26	Realizzazione impianto elettrico a servizio delle paratoie motorizzate, compresa fornitura e posa di cavo di alimentazione e cavo di segnale schermato per ogni paratoia, entro cunicoli interrati e tubazioni in acciaio inox per la parte terminale di allacciamento alle utenze.					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	2´800,00	2´800,00
48 NP.27	Fornitura e posa in opera di quadro elettrico, dimensioni indicative L1000xH2000xP500, in acciaio inox AISI304 IP65, con porta trasparente e zoccolo H200 per ingresso cavi dal basso, completo di interruttore generale, softstart per avviamento pompe, protezioni dei circuiti di potenza e di controllo, comandi e segnalazioni fronte quadro, PLC con I/O digitali e analogici necessari al corretto funzionamento di pompe e paratoie, pannello operatore touch-screen 7'.					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	14´700,00	14´700,00
49 NP.28	Realizzazione impianto elettrico a bordo vasca della stazione di sollevamento con fornitura e posa di cavi di collegamento alle utenze posati entro cunicoli interrati e canaline in acciaio per la parte terminale di allaccimaento alle utenze.					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	5´500,00	5´500,00
50 NP.29	Programmazione software PLC e OP della stazione di sollevamento					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	4´500,00	4´500,00
51 NP.30	Adeguamento SCADA esistente.					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	2´800,00	2´800,00
52 NP.31	Fornitura e posa di impiantistica di interconnessione del gruppo elettrogeno con gli impianti esistenti (comprese le linee elettriche da e per la cabina elettrica).					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	2´000,00	2´000,00
53 NP.32	Fornitura e posa di cavo rete ethernet del tipo doppio isolamento G4 e armato con calza in acciaio "antiroditore" tra il nuovo quadro sollevamento e lo switch master nell'ufficio tecnico. Compreso collegamento e prove di rete.					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	1´500,00	1´500,00
54 NP.33	Fornitura e posa di nuova linea elettrica per l'alimentazione del quadro di sollevamento. Compresa la modifica del quadro distribuzione cabina con l'aggiunta di un interruttore regolabile, la fornitura e posa di cavo FG16.					1,00		
	SOMMANO a corpo					1,00	4´800,00	4´800,00
	A R I P O R T A R E							270´462,15

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	DIMENSIONI				Quantità	IMPORTI	
		par.ug.	lung.	larg.	H/peso		unitario	TOTALE
	R I P O R T O							270´462,15
55 06.A10.B04. 025	F.O. Fornitura in opera di tubazione in polietilene a doppia parete per cavidotto interrato, resistenza alla compressione =>350N, completa di raccordi ed ogni accessorio per la posa in opera, escluso la formazione e il ripristino degli scavi. F.O. di tubo corrugato doppia parete per cavidotto D.90					130,00		
	SOMMANO m					130,00	5,79	752,70
56 14.P13.A15. 005	Esecuzione pozzetto tipo traffico incontrollato di mattoni pieni spessore minimo cm 12,5 o in cls spessore minimo cm 10 compreso scavo, trasporto ad impianto di smaltimento autorizzato del materiale eccedente, ricolmatura, fornitura dei materiali necessari per l'esecuzione a regola d'arte dei lavori, sottofondo in cls spessore minimo cm 20, sigillatura tubi: dimensioni interne minime 50 x 50 x 90h primo pozzetto					1,00		
	SOMMANO cad					1,00	100,10	100,10
57 14.P13.A15. 010	Esecuzione pozzetto tipo traffico incontrollato di mattoni pieni spessore minimo cm 12,5 o in cls spessore minimo cm 10 compreso scavo, trasporto ad impianto di smaltimento autorizzato del materiale eccedente, ricolmatura, fornitura dei materiali necessari per l'esecuzione a regola d'arte dei lavori, sottofondo in cls spessore minimo cm 20, sigillatura tubi: dimensioni interne minime 50 x 50 x 90h per ogni pozzetto oltre il primo					4,00		
	SOMMANO cad					4,00	89,35	357,40
58 07.P02.C25.0 40	Chiusini di ghisa sferoidale					5,00		
	SOMMANO kg					5,00	1,78	8,90
59 01.P01.A20. 005	Operaio qualificato Ore normali					8,00		
	SOMMANO h					8,00	32,19	257,52
60 06.P28.A01. 055	gruppi elettrogeni automatici, costituiti da motore diesel, alternatore trifase con neutro 380/220 v, 50 hz, basamento in lamiera serbatoio di servizio, quadro elettrico con dispositivo di commutazione automatica potenze da 10 a 220 kva gruppo elettrogeno trifase 380/220 V, 150 kVA					1,00		
	SOMMANO cad					1,00	26´733,20	26´733,20
61 08.A40.I21.0 50	Provvista e posa in opera di tubazioni in polietilene ad alta densita' (PEAD) PE 100 - sigma 80 = 80 kgf/cm² - UNI EN 12201 - per condotte fognarie in pressione (EX UNI EN 13244) - marcatura MARRONE, rispondenti alle prescrizioni igienico sanitarie del ministro della sanita' relative a manufatti per liquidi, compresa la discesa nelle trincee e nei manufatti con sistemazione a livelletta, esecuzione dei giunti, mediante manicotti di raccordo o flange oppure con saldature per fusione nel caso di polietilene in barre, compreso collaudo e prova idraulica ed ogni opera accessoria: DE 450, PN 6							
	ripristino tubazione sfioro sedimentatore primario		10,00			10,00		
	SOMMANO m					10,00	116,04	1´160,40
	Parziale LAVORI A CORPO euro							299´832,37
	T O T A L E euro							299´832,37
	A R I P O R T A R E							299´832,37

Num.Ord. TARIFFA	DESIGNAZIONE DEI LAVORI	IMPORTI TOTALE	incid. %
	R I P O R T O		
	Riepilogo CATEGORIE		
001	scavi e movimentazione materiali	8´816,77	2,941
002	opere civili	30´188,35	10,068
003	opere elettromeccaniche	151´400,00	50,495
004	collegamenti idraulici	38´671,45	12,898
005	lavori vari e sistemazione area	3´945,98	1,316
006	impianti elettrici	66´809,82	22,282
	Totale CATEGORIE euro	299´832,37	100,000
	A R I P O R T A R E		