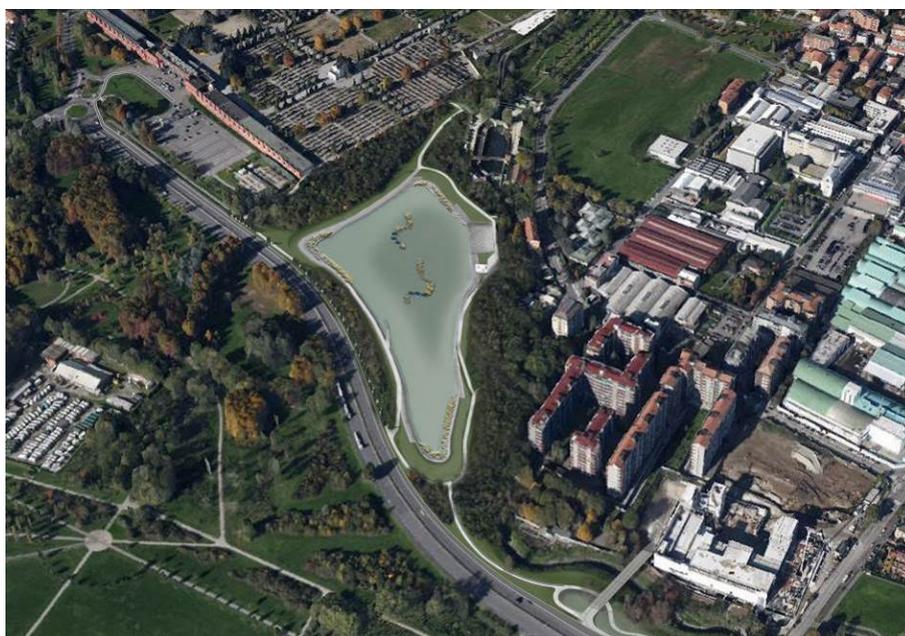




C.U.P.: B47B15000050004

OGGETTO:
Area di laminazione del Torrente Seveso
Sistemazione idraulica del Torrente Seveso

PROGETTO ESECUTIVO



IL PROGETTISTA
Ing. Matteo Ghia

IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO
Ing. Fabio Marelli

IL DIRETTORE DI AREA
Arch. Giuseppina Sordi

RELAZIONE SPECIALISTICA IDRAULICA

Rev. 13	Apr. 2019	Progetto esecutivo Agg. per validazione			
Rev.	Data	Descrizione	Red.	Rev.	File

PE.02.1



13	Aprile 2019	Progetto esecutivo – Aggiornam. per validazione	Scarpa	Ghia	Ghia	Ghia
12	Gennaio 2019	Progetto Esecutivo	Scarpa	Ghia	Ghia	Ghia
10	Luglio 2017	Progetto Definitivo – Aggiornamento post CDS	Ghia	Ghia	Ghia	Ghia
8	Dicembre 2016	Progetto Definitivo – Aggiornamento per CDS	Ghia	Ghia	Ghia	Ghia
4	Novembre 2015	Progetto Definitivo per V.I.A.	Negri	Ghia	Ghia	Recalcati
2	Giugno 2015	Progetto Definitivo	Negri	Ghia	Ghia	Recalcati
0	29/06/2015	EMMISSIONE	Negri	Ghia	Ghia	Recalcati
Aggiorn.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Acquisito	Approvato

COLLABORAZIONE
ALLA PROGETTAZIONE:

CODIFICA DOCUMENTO Commessa Lotto Fase Categoria Opera Progressivo

CT **0** **E** **P** **ID** **1003**

<p>IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. FRANCESCO VENZA Ordine degli Ingegneri Milano n° 14647</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE DOTT. ING. MATTEO GHIA Ordine degli Ingegneri Pavia n° 2100</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DOTT. ING. MATTEO GHIA Ordine degli Ingegneri Pavia n° 2100</p>
---	--	--



INDICE

1	INTRODUZIONE: RELAZIONE TECNICA DEL PROGETTO ESECUTIVO	8
1.1	Componente impiantistica	8
1.2	Componente strutturale	8
1.3	Componente di ingegneria naturalistica	8
1.4	Componente ambientale	8
2	PREMESSA	9
3	STUDIO DI FATTIBILITA' DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE SEVESO (SINTESI STUDIO ADBPO)	10
4	POTENZIALITA' IDRAULICA SEVESO-REDEFOSSI	14
4.1	Premessa	14
4.2	Tracciato cittadino	15
4.3	Risultati della modellazione	16
5	CENSIMENTO DEGLI SCARICHI IN TORRENTE SEVESO DA PALAZZOLO A MILANO	18
6	ANALISI DELLE ESONDAZIONI DEL TORRENTE SEVESO A MILANO	23
6.1	Analisi storica	23
6.2	Studio Idrologico del torrente Seveso tra Palazzolo e Niguarda	25
7	SCENARI SIMULATI CON IL MODELLO IDRAULICO	28
7.1	Definizione del modello matematico idraulico	28
7.2	Condizioni al contorno e condizioni iniziali	28
7.3	Caratteristiche idrauliche dell'area di esondazione	29
7.4	Simulazioni idrauliche	30
7.4.1	Scenario di piena attuale: confronto scenari 0 e 3	33
7.4.2	Scenario di piena transitorio: confronto scenari 1 e 4	37
7.4.3	Scenario di piena finale: confronto scenari 2 e 5	41
7.4.4	Scenario di piena finale con variazione di pervietà: scenario 6	44
7.5	Conclusioni sul dimensionamento della vasca	46
7.6	Assetto finale di progetto del sistema Seveso-Martesana-Redefossi	46
7.6.1	Interventi individuati sul Cavo Redefossi per il futuro rispetto del franco idraulico	49
8	CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'OPERA	52
8.1	Generalità	52
8.2	Descrizione dell'intervento	53
8.3	Caratteristiche delle sezioni tipologiche spondali della vasca	56
8.3.1	Sistema di prevenzione dalle sottospinte in caso di risalita della falda	57
8.4	Dimensionamento idraulico dei manufatti	58
8.4.1	Dimensionamento canali di derivazione, di scarico vasca e canale di bypass	59
8.4.2	Dimensionamento e regolazione paratoie di carico del bacino di laminazione	60
8.4.3	Dimensionamento soglia di sfioro	62
8.4.4	Dimensionamento e regolazione del canale di scarico	65
8.5	Dimensionamento delle difese spondali antierosione lungo il Torrente Seveso ..	67
8.6	Dimensionamento impianti del manufatto di scarico dell'invaso e ricircolo acque del laghetto	72
8.6.1	Pompe di restituzione al Seveso	72
8.6.2	Pompe multifunzione	73

8.6.3	Tubazioni di ricircolo / scarico	75
8.6.4	Alimentazione laghetto permanente	76
8.7	Modellazione bidimensionale del comportamento delle acque all'interno dell'invaso	77
8.7.1	Generalità	77
8.7.2	Simulazioni effettuate	77
8.7.2.1	Evento di piena	78
8.7.2.2	Gestione ordinaria – ricircoli	78
8.7.3	Risultati della simulazione bidimensionale in caso di evento di piena	79
8.7.4	Risultati della simulazione del ricircolo	81
9	MODALITA' DI FUNZIONAMENTO DELL'OPERA.....	83
9.1	Strumenti di monitoraggio dei livelli idrici	83
9.2	Gestione del ciclo di funzionamento della vasca.....	84
9.3	Assetto di funzionamento della vasca di laminazione nell'ambito dell'intero progetto di riassetto del torrente Seveso previsto dall'Autorità di Bacino	88
10	VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PONTICELLO ATTRAVERSAMENTO TORRENTE SEVESO A VALLE DELLO SGRIGLIATORE.....	90
10.1	Scenari di stato di fatto e di progetto	91
10.2	E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena	91
10.3	E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo	93
10.4	E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti	93
10.5	E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento	93
10.6	E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena	94
10.7	E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.....	94
10.8	E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.	94
11	VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PONTICELLO ATTRAVERSAMENTO TORRENTE SEVESO A VALLE DELL'OPERA (S10-S11)	96
11.1	Scenari di stato di fatto e di progetto	97
11.2	E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena	97
11.3	E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo	98
11.4	E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti	99
11.5	E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento	99
11.6	E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena	99
11.7	E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.....	99
11.8	E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.	100
12	OPERE IDRAULICHE IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE.....	101
12.1	Analisi di magra.....	101
12.2	Descrizione delle ture previste in fase di cantiere.....	103
12.3	Dimensionamento e verifica delle ture trasversali realizzate mediante tubazioni.....	103
12.4	Dimensionamento e verifica parziali alveo.....	104
A.	MODELLO MATEMATICO-IDRAULICO E RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	106

Scenario P0 T10 (massimi):	107
Scenario P3 T10 (massimi):	107
Scenario P1 T10 (massimi):	107
Scenario P4 T10 (massimi):	108
Scenario P2 T10 (massimi):	108
Scenario P5 T10 (massimi):	108
Scenario P6 T10 (massimi):	109
Scenario P0 T100 (massimi):	109
Scenario P3 T100 (massimi):	110
Scenario P1 T100 (massimi):	110
Scenario P4 T100 (massimi):	110
Scenario P2 T100 (massimi):	111
Scenario P5 T100 (massimi):	111
Scenario P6 T100 (massimi):	111
Focus su scenario di progetto P4-P5-P6 T100 (massimi)	112
Focus su scenario di progetto in condizioni di magra	118

1 INTRODUZIONE: RELAZIONE TECNICA DEL PROGETTO ESECUTIVO

Le indicazioni contenute nel presente documento costituiscono la RELAZIONE SPECIALISTICA IDRAULICA del seguente Progetto Esecutivo: SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE SEVESO.

1.1 Componente impiantistica

Le principali opere da impiantista che si realizzeranno nelle aree in oggetto sono:

- Rete acque di falda;
- Quadri elettrici di controllo e comando del sistema e impianti speciali di monitoraggio e allerta;
- Impianto di sollevamento per lo scarico delle acque.

1.2 Componente strutturale

Le principali opere strutturali che si realizzeranno nelle aree in oggetto sono:

- Manufatto di presa (paratoia di regolazione lungo il Seveso, paratoie di sezionamento manufatto di sfioro, soglia di sfioro verso il bacino di laminazione);
- Manufatto di restituzione acque;
- Manufatto di ricircolo acque;
- Locale quadri elettrici e comandi.

1.3 Componente di ingegneria naturalistica

Le principali opere di ingegneria naturalistica che si realizzeranno nelle aree in oggetto sono:

- Soglia sfiorante;
- Mantellate in massi;
- Protezioni spondali ed al fondo in pietrame;
- Argini e sponde con interventi vari di ingegneria naturalistica.

1.4 Componente ambientale

Le principali opere ambientali che si realizzeranno nelle aree in oggetto sono:

- Taglio, trapianto, piantumazione essenze arboree e arbustive;
- Opere di mitigazione ambientale.

2 PREMESSA

Il presente documento riporta la descrizione degli studi condotti al fine di contenere le esondazioni del torrente Seveso nel quartiere di Niguarda a Milano, in particolare soffermandosi sulla necessità di realizzazione di una cassa di espansione localizzata a nord di Milano, appena a monte della tombinatura del fiume Seveso, fornendone il dimensionamento.

Vengono brevemente riportate le problematiche del Seveso nella tratta fra Palazzolo (connessione con C.S.N.O.) e Milano descrivendo contestualmente le opere in progetto, che sono fondamentali per garantire la sicurezza idraulica di Milano.

In particolare, gli studi disponibili e quindi il presente progetto esecutivo, così come lo è stato per il progetto definitivo, sono impostati a partire dalla raccolta e dalla successiva rielaborazione critica dei dati idrometrici disponibili sulle esondazioni del Seveso a Niguarda con la comparazione delle misurazioni effettuate presso il manufatto di presa del CSNO a Palazzolo, dalle conoscenze contenute nei diversi studi che, negli ultimi trenta anni, hanno affrontato le problematiche connesse agli eventi di piena del suddetto corso d'acqua, sia in un quadro generale di pianificazione di bacino, che in un più ristretto ambito connesso con la difesa idraulica della città di Milano.

Il progetto tiene conto dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona" realizzato nel 2002-2005 e delle difficoltà sia di attuazione sia di tempistica della realizzazione delle opere previste.

La soluzione prospettata, di ridotto impatto ambientale e anche con finalità ricreative, ha lo scopo di difendere la città di Milano da eventi di tempo di ritorno pluriennale ma non particolarmente alto nella fase transitoria, in modo da evitare le frequenti esondazioni nel quartiere "Isola", che avvengono anche per eventi minimi e più volte all'anno; nella fase finale, invece, ovvero ad opere completate (vasca di laminazione di Senago, raddoppio del CSNO, limitazione degli scarichi dei Comuni tra Palazzolo e Niguarda), è del tutto in grado di garantire la difesa della città anche per tempi di ritorno superiori ai cento anni.

3 STUDIO DI FATTIBILITA' DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE SEVESO (SINTESI STUDIO ADBPO)

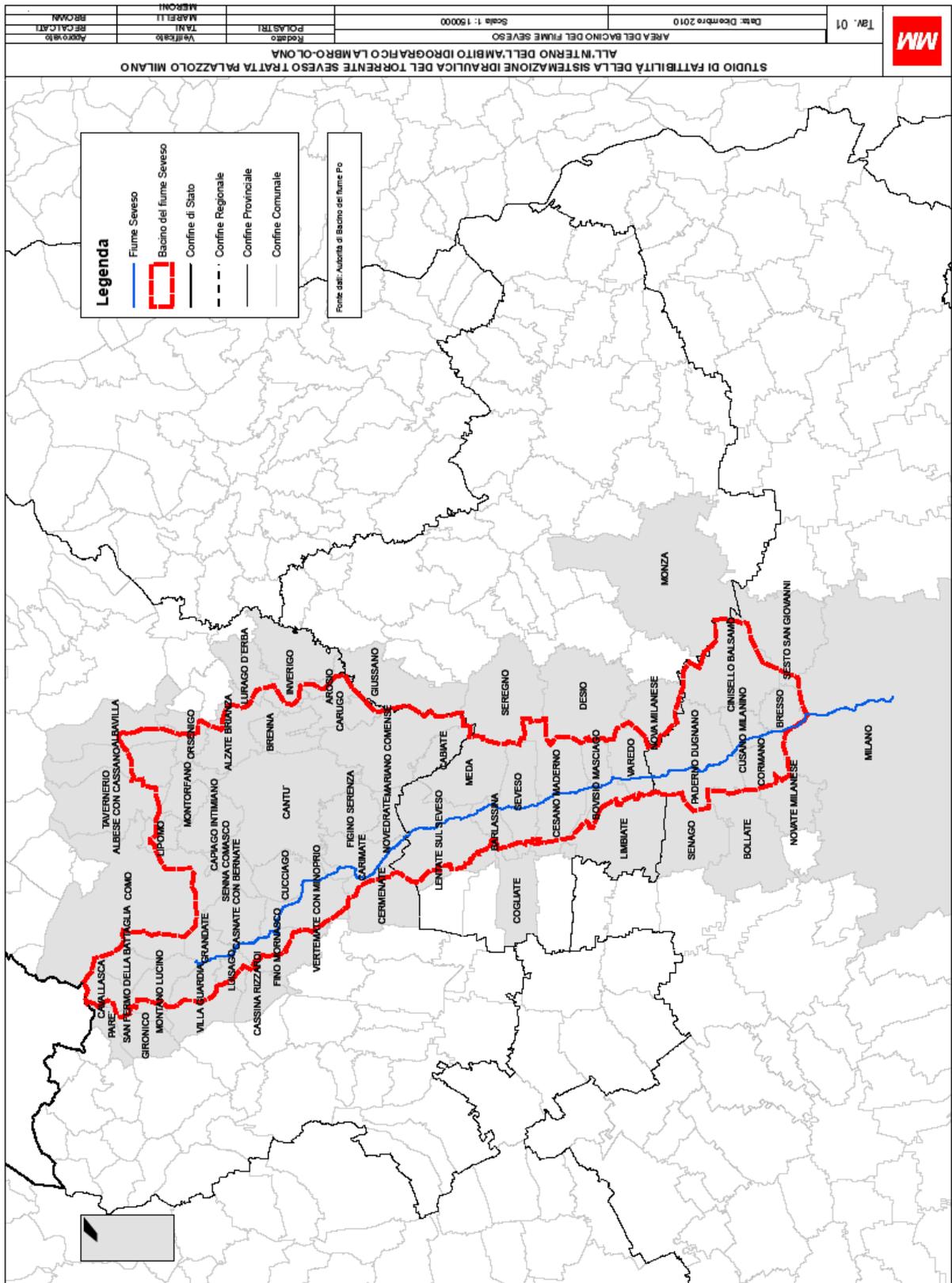
Lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico della pianura Lambro - Olona", intrapreso nel 2002, dall'Autorità di Bacino del fiume Po rappresenta lo studio ad oggi più aggiornato sul torrente Seveso.

Essendo di recente stesura, lo studio in esame ha fatto proprie le esperienze precedentemente maturate, aggiornando le conoscenze sia dal punto di vista pluviometrico - grazie alla disponibilità di ulteriori 20 anni di registrazione delle precipitazioni - sia per quanto concerne le modificazioni del territorio intervenute nel frattempo che, come si è avuto modo di descrivere in precedenza, hanno avuto un significativo impatto sulle modalità di formazione e propagazione delle piene del corso d'acqua.

Lo studio dell'Autorità di Bacino comprende un'analisi idrologica ed idraulica lungo l'intero sviluppo dell'asta del torrente Seveso, sia nelle condizioni di stato di fatto sia in una configurazione "di Piano" volta alla riduzione del rischio idraulico nella regione fluviale limitrofa al corso d'acqua.

Rispetto agli studi precedentemente redatti, nei quali i valori di portata al colmo sono stati calcolati con modelli di simulazione di tipo puramente "idrologico", l'analisi dell'Autorità di Bacino è stata effettuata con l'impiego di un codice di calcolo in grado di rappresentare sia i processi di trasformazione afflussi-deflussi (modello idrologico) che i processi di propagazione verso valle delle onde di piena tenendo conto dei fenomeni di esondazione e di invaso che si generano all'interno dell'area in esame (modello idraulico). Il suddetto tipo di simulazione offre infatti la possibilità di poter valutare contemporaneamente l'insieme dei processi di formazione e di traslazione verso valle delle onde di piena, fornendo indicazioni circa i fenomeni di laminazione che si producono lungo il corso d'acqua.

Area del bacino del fiume Seveso



Nell'ambito dello studio in dell'AdbPo si è dunque anzitutto proceduto alla definizione delle dinamiche che producono l'insufficienza del tratto terminale procedendo alla suddivisione su 3 tratte distinte.

La piena di riferimento assunta come base di progetto per il Seveso da AdbPo è quella con tempo di ritorno pari a 100 anni ($TR = 100$ anni), considerata la più adeguata, tenuto conto delle caratteristiche fisiche del bacino e dell'asta fluviale, ai fini di garantire la sicurezza.

Nel tratto più a monte del Seveso in studio, fino cioè alla confluenza del rio Acquanegra, l'analisi idraulica ha valutato valori di portata al colmo, per $TR = 100$ anni, variabili tra 25 e 80 m^3/s ; questi valori si riducono fino a circa 60 m^3/s nella parte intermedia, cioè fino alla confluenza del torrente Valle S. Antonio, per effetto di esondazioni che la piena di riferimento provoca in questo tronco del Seveso, e si mantengono poi pressoché costanti, sui 65 m^3/s , sempre per effetto di esondazioni locali, nella parte terminale del tratto, fino a Carimate.

Nel tratto più a valle, da Carimate a Milano, l'analisi idraulica ha valutato valori di portata al colmo, per $TR = 100$ anni, variabili tra 65 e 87 m^3/s nella parte iniziale, fino cioè alla confluenza del rio Certesa; questi valori aumentano a 158 m^3/s a valle della confluenza del rio Certesa, e raggiungono il valore di 165 m^3/s subito a monte della derivazione del C.S.N.O, pur in presenza di alcune esondazioni localizzate nel tronco a monte. A valle della derivazione del C.S.N.O, per effetto della sottrazione di 30 m^3/s attualmente operabile dal Canale scolmatore, la portata nel Seveso per $TR = 100$ anni si riduce a 135 m^3/s , e si mantiene poi pressoché costante fino a Cusano Milanino. Da qui, infine, fino all'imbocco nella tombinatura di Milano, la portate di piena per $TR = 100$ anni si incrementa ancora leggermente, fino a raggiungere valori di circa 140 m^3/s , nonostante la presenza di ampie esondazioni lungo tutto lo sviluppo del tratto.

L'ulteriore derivazione di 30 m^3/s al C.S.N.O. (ottenibile con il completamento del raddoppio ovvero con la conseguente realizzazione della vasca di Senago) ridurrà la portata al colmo per $TR = 100$ anni in arrivo a Milano da 140 a 110 m^3/s .

Le risultanze delle analisi condotte nell'ambito dello Studio in esame hanno confermato che il raggiungimento di uno standard di sicurezza accettabile per la regione fluviale del torrente Seveso deve necessariamente passare attraverso l'attuazione di una serie di interventi diversificati in base alla propria localizzazione lungo lo sviluppo dell'asta fluviale.

A monte di Lentate sul Seveso, dove il corso d'acqua mantiene a tutt'oggi un elevato grado di naturalità e dove i fenomeni di piena producono essenzialmente l'allagamento di aree a vocazione agricola, appare necessario mantenere sostanzialmente inalterate le attuali capacità di laminazione naturale della valle fluviale intervenendo eventualmente solo per l'eliminazione di criticità locali generate dalla presenza di attraversamenti inadeguati.

Il tratto intermedio (a monte dell'incile del C.S.N.O.), che pure non presenta problematiche di esondazione macroscopiche, dovrà tuttavia essere oggetto di interventi in grado di ridurre significativamente i valori di portata convogliati verso valle in considerazione del fatto che le gravi insufficienze del tratto vallivo non appaiono risolvibili solo con opere concentrate sul tratto medesimo.

In tale ottica e analizzando la situazione del medio bacino del torrente, si è riscontrata la possibilità di integrazione tra le attività di cava che punteggiano tali zone e il recupero funzionale di tali ambiti a scopo idraulico.

La già ricordata insufficienza dell'alveo e dei manufatti di attraversamento a contenere i livelli di piena rappresenta infatti oggi un elemento fondamentale di cui tenere conto nella valutazione dell'entità delle portate che sono effettivamente in grado di essere trasferite a valle entro l'alveo del corso d'acqua.

In definitiva, in considerazione dello stato di grave insufficienza dell'alveo del Seveso soprattutto nella parte terminale e nel tratto tombinato di attraversamento di Milano, peraltro confermato dalle recenti e continue esondazioni, lo Studio di fattibilità individua dunque un assetto di piano che prevede la realizzazione di aree di laminazione controllata in grado di ridurre considerevolmente i colmi di piena, unitamente ad un incremento della capacità di derivazione del C.S.N.O. a Palazzolo. In base alle simulazioni condotte nelle condizioni di stato di fatto e nella configurazione di piano, in occasione di un evento con tempo di ritorno pari a 100 anni, in corrispondenza della sezione del

C.S.N.O. gli autori dello studio stimano che si potrebbe ottenere una riduzione della portata di colmo dall'attuale valore di 165 m³/s al valore di 60 m³/s.

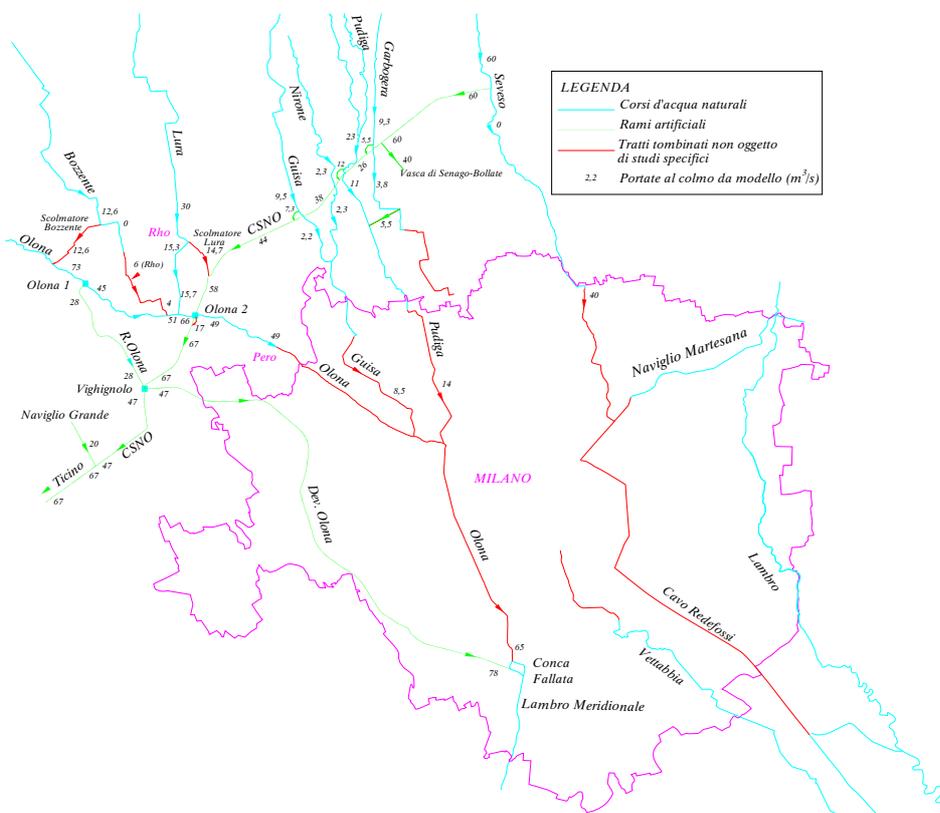
Considerando che il raddoppio del C.S.N.O., realizzato ma non attivo per la mancata realizzazione della vasca di laminazione di Senago, consentirà di derivare dal Seveso una portata massima stimata in 60 m³/s, ecco che **la configurazione di piano prospettata dallo studio dell'Autorità di Bacino prevede che nella sezione immediatamente a valle dell'opera di derivazione del C.S.N.O., in occasione di un evento di tali caratteristiche, la portata sia nulla.**

La scelta di un assetto di piano di questo tipo deriva dal fatto che l'urbanizzazione del territorio compreso tra Palazzolo e Milano e la realizzazione delle reti fognarie al servizio di dette aree ha creato una situazione per cui oggi il solo contributo del bacino compreso tra la presa del C.S.N.O. e la città di Milano è in grado di produrre onde di piena caratterizzate da valori di portata al colmo che superano la massima capacità dell'alveo del Seveso nel tratto milanese anche in occasione di eventi pluviometrici relativamente frequenti (tempo di ritorno di 1-2 anni).

Per il conseguimento di condizioni di sicurezza in linea con le previsioni del PAI – che, nel caso specifico, prevedono il contenimento della piena centenaria senza esondazioni nelle aree urbanizzate - la pianificazione dell'Autorità di Bacino prevede quindi la necessità di intervenire anche sulle reti fognarie esistenti a valle del C.S.N.O. riducendo, attraverso sistemi di laminazione posti a monte degli scaricatori in oggetto, il valore della portata entrante in Milano caratterizzata da un tempo di ritorno di 100 anni a 40 m³/s.

Essendo tale ipotesi di difficile realizzazione si è ritenuto di proporre una vasca di laminazione del corso d'acqua in fregio allo stesso, del volume di 250.000 m³, localizzata nel Comune di Milano, in destra idraulica alla sezione SV 3.1 per laminare le acque dei bacini compresi tra Palazzolo ed il nuovo manufatto e ridurre l'apporto da 50 m³/s a circa 20 m³/s.

ASSETTO DI BACINO – RETICOLO IDRICO NORD MILANO



4 POTENZIALITA' IDRAULICA SEVESO-REDEFOSSI

4.1 Premessa

Il presente paragrafo riporta la descrizione delle attività che sono state condotte al fine di valutare le capacità di smaltimento del sistema idrico Seveso – Martesana – Redefossi nel tratto di attraversamento della città di Milano.

In particolare, scopo dell'indagine è stato quello di definire la capacità di deflusso lungo il tronco in esame nelle seguenti condizioni:

- assetto attuale degli alvei;
- a seguito di operazione di ablazione degli attuali depositi di fondo, specie lungo il tratto tombinato del torrente Seveso;

Nell'ambito dell'attività si è quindi anzitutto proceduto ad individuare i massimi valori della portata, "ai limiti d'esonazione", convogliabile all'interno del sistema Seveso – Naviglio Martesana – Cavo Redefossi nel tratto metropolitano.

I suddetti valori massimi di portata sono stati individuati, per tentativi, tramite un codice di calcolo in grado di simulare il comportamento della corrente all'interno di alvei aperti o chiusi a partire dalla conoscenza della geometria del condotto e delle condizioni al contorno.

Le simulazioni sono state condotte per due diverse condizioni dei corsi d'acqua:

- alveo del Seveso inghiaiato, così come oggi nella realtà appare;
- alveo del torrente Seveso pervio (a seguito di ablazione dei depositi).

Nella prima condizione, il tratto limitante del sistema è risultato il tronco di Seveso a valle di via Valfurva (sezione limitante: tratto inghiaiato in corrispondenza di via Carissimi), con valori della massima portata compatibile stimati in circa 40 m³/s. nella seconda il tratto limitante è risultato l'alveo del Cavo Redefossi tra P.ta Venezia e P.zza Cinque Giornate, con valori della massima portata compatibile stimati in circa 47 m³/s.

Come meglio precisato nel seguito, infatti, la presenza dei depositi di materiale lapideo modifica in modo sostanziale la capacità di portata del corso d'acqua, che in alcuni tratti risulta più che dimezzata rispetto alle condizioni di canale "pervio".

Per quanto riguarda la simulazione con presenza di depositi di fondo, le sezioni idrauliche del Seveso e della Martesana sono state geometricamente modificate secondo un rilievo dei depositi aggiornato in base agli ultimi lavori di pulizia eseguiti.

Le conclusioni a cui si è pervenuti hanno sostanzialmente confermato quanto asserito dal Prof. Domenico Zampaglione nell'ambito delle analisi condotte per conto del Comune di Milano nei primi anni Ottanta riguardo la peculiare situazione in cui versa il sistema Seveso – Martesana – Redefossi all'interno dell'abitato di Milano: ossia che a prescindere dalla presenza di depositi lungo la tombinatura, si osserva che il vettore idrico in esame presenta una geometria per cui la capacità di portata massima risulta decisamente più elevata a monte (tratto Seveso-Martesana) che a valle (Cavo Redefossi); tuttavia, la distribuzione dei sedimenti, concentrata principalmente nel tratto di monte, ha generato una parzializzazione delle sezioni di deflusso tale da ridurre la capacità di portata lungo il tratto Seveso-Martesana a valori leggermente inferiori a quelli massimi compatibili con l'alveo del Redefossi.

Dunque, allo stato attuale, pur con le già ricordate incertezze di stima sull'entità dei depositi, risulta che ambedue i sottosistemi sono in grado di convogliare a superficie libera portate dell'ordine dei 35 ÷ 40 m³/s. In particolare, per una portata dell'ordine di 35 m³/s, il sottosistema Seveso-Martesana entra in pressione fra via Monti e via Carissimi, mentre per 40 m³/s il sottosistema Redefossi entra in pressione nel tratto viale Piave viale Premuda.

A partire da questa condizione, per portate crescenti, i due sottosistemi mostrano comportamenti differenti in relazione agli effetti: il primo, infatti, risponde con elevati gradienti di quota piezometrica, mentre lungo il secondo tali gradienti sono apprezzabilmente inferiori.

Ciò fa sì che lungo il percorso del Seveso per modesti aumenti di portata circolante si abbiano notevoli incrementi dell'altezza piezometrica sul terreno e quindi sensibili esondazioni con espulsione dei chiusini, getti di notevole entità dai pozzetti e sovraccarichi negativi non trascurabili sulla copertura; lungo il percorso del Redefossi, viceversa, le pressioni sul terreno in metri d'acqua si mantengono entro valori più modesti e quindi minori sono i rischi o comunque gli analoghi effetti primari delle esondazioni.

Dunque, i risultati ottenuti interpretano con sufficiente approssimazione la realtà delle storiche esondazioni in città; è da ritenere, infatti, che tutte le esondazioni siano avvenute a partire da colmi di piena in arrivo al tronco tombinato dell'ordine dei 40-45 m³/s e che tali colmi si siano poi ridotti a valle, per lo sfioro sul piano stradale lungo il percorso normalmente allagato (via Valfurva-via Cà Granda, ecc.).

Viene così in evidenza, ancora una volta, l'insufficienza del sottosistema Redefossi rispetto ai compiti che oggi gli sono affidati, cioè al convogliamento a valle della città delle portate provenienti dal Seveso; è da ricordare, infatti, che il tronco della Martesana facente parte del sistema, un tempo alimentava anche la Fossa interna e quindi realizzava un collegamento con altro sistema idraulico nel quale poteva avere recapito una frazione non modesta delle piene del torrente Seveso.

4.2 Tracciato cittadino

Il corso d'acqua, all'interno del territorio del Comune di Milano, si sviluppa, come già detto, completamente tombinato, lungo un percorso cittadino che può essere suddiviso nei seguenti sottosistemi:

- Tratto 1 compreso tra via Valfurva e la confluenza del Torrente Seveso nel Naviglio della Martesana. In tale tratto il canale, costituito da uno scatolare a sezione rettangolare di dimensioni pari a 8.00 x 3.00 m da via De Angelis a piazza Carbonari e di dimensioni pari a 10.00 x 2.50 m da piazza Carbonari a via Melchiorre Gioia, presenta una pendenza di fondo pari circa al 2‰.
- Tratto 2 compreso tra la confluenza del Torrente Seveso nella Martesana e il manufatto ripartitore da cui ha origine il Cavo Redefossi in località Ponte delle Gabelle. In tale tratto, l'alveo del Naviglio della Martesana, costituito da uno scatolare a sezione rettangolare di dimensioni pari a 10.00 x 3.00 m, presenta una pendenza di fondo pari all'1‰.
- Tratto 3 compreso tra il Ponte delle Gabelle e piazzale Oberdan. In tale tratto il Cavo Redefossi presenta tronchi a sezione rettangolare alternati a tronchi a sezione policentrica. Le dimensioni delle sezioni risultano alquanto variabili: i tronchi a sezione rettangolare variano da 9.50 x 4.80 m a 12.00 x 2.90 m; quelli a sezione policentrica variano da 9.50 x 6.30 m a 9.40 x 3.45 m. Anche la pendenza di fondo risulta variabile tra l'1‰ e il 4‰. Si segnala inoltre che lungo questo tratto del Cavo Redefossi, per uno sviluppo complessivo pari a circa 1 km, la sezione risulta sdoppiata dalla presenza di un setto centrale.
- Tratto 4 compreso tra piazzale Oberdan e piazza Cinque Giornate. In tale tratto il Cavo Redefossi presenta una sezione policentrica di larghezza variabile tra 8.70 m e 9.55 m ed un'altezza variabile tra 2.45 m e 3.60 m. Il fondo presenta di norma una pendenza variabile tra l'1‰ e il 6‰ e si evidenziano diversi tratti in lieve contropendenza.
- Tratto 5 compreso tra piazza Cinque Giornate e piazza Buoizzi. In tale tratto il Cavo Redefossi presenta una sezione policentrica di larghezza variabile tra 7.30 m e 9.30 m ed un'altezza variabile tra 2.40 m e 4.35 m. Il fondo ha una pendenza compresa tra l'1‰ e il 5‰ e, anche in qui si evidenziano alcuni tratti in lieve contropendenza.
- Tratto 6 compreso tra piazza Buoizzi e piazzale Corvetto. In tale tratto il Cavo Redefossi presenta prevalentemente una sezione policentrica di larghezza variabile tra 8.35 m e 9.35

m ed un'altezza variabile tra 3.15 m e 4.60 m. Il fondo ha una pendenza compresa tra l'1‰ e il 3‰ e vi sono dei tratti in leggera contropendenza.

- Tratto 7 compreso tra piazzale Corvetto e il centro ENI in territorio del Comune di San Donato Milanese. In tale tratto il Cavo Redefossi presenta prevalentemente una sezione avente un fondo concavo di larghezza pari a 7.50-8.50 m; al di sopra di questo si osserva la presenza di due banchine di larghezza pari a 1.00 - 1.25 m distanti dal fondo 1.50 m. La sezione prosegue verso l'alto con forma rettangolare di larghezza pari a 10.00 - 11.00 m per ulteriori 2.50 - 2.70 m fino a raggiungere l'intradosso della copertura. L'alveo presenta una pendenza di fondo pressoché costante pari a circa l'1.5‰.

4.3 Risultati della modellazione

Lo studio idraulico del sistema Seveso-Martesana-Redefossi lungo i 7 tratti definiti nel capitolo precedente è stato effettuato implementando un modello matematico di simulazione in grado di restituire i profili di corrente lungo canali aperti e condotti chiusi a partire dalla conoscenza della geometria dei manufatti e delle condizioni al contorno (portate a monte e livelli a valle). Il software di cui ci si è avvalsi è costituito da un codice di calcolo denominato Infoworks ICM.

Alle sezioni idrauliche del modello sono stati assegnati i seguenti parametri di scabrezza, secondo Strickler:

- tratte a cielo aperto = $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$;
- tratte tombinate = $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Per l'analisi complessiva dell'intero corso d'acqua in esame si è assunto, come condizione al contorno di valle, un livello nel Cavo Redefossi pari a 101.16 m slm, corrispondente alla quota dell'intradosso del canale, ipotizzando cautelativamente che il livello idrico coincida con la massima quota d'acqua compatibile con il funzionamento a pelo libero del tratto terminale oggetto di studio.

Come condizione al contorno di monte si sono inseriti nel modello di simulazione una serie di idrogrammi di piena definiti come onde quadre con portata al colmo via via crescente; per ognuno dei valori di portata introdotti si è quindi proceduto al calcolo del profilo di corrente generato lungo l'alveo in esame, individuando di volta in volta, le modalità di deflusso (a pelo libero, in pressione o con esondazione) lungo i vari tratti indagati.

Per le analisi della massima capacità di portata attribuibile a ciascun sottosistema, come meglio definito nel seguito, si è assunto, come condizione al contorno di valle, un livello d'acqua pari all'intradosso della sezione terminale del tratto in esame (sezione piena).

La prima serie di simulazioni condotte si riferisce, come prima anticipato, alla condizione di alveo "pervio" ovvero ad uno scenario nel quale può considerarsi trascurabile l'effetto di restringimento delle sezioni di deflusso prodotto dai depositi di materiale solido.

I risultati ottenuti hanno consentito di determinare il massimo valore di portata che il corso d'acqua in esame sarà in grado di smaltire a seguito di interventi di manutenzione volti alla eliminazione delle ostruzioni oggi presenti e di definire il tratto "limitante" lungo il quale, se dovesse verificarsi il passaggio di valori di portata superiori, si registrerebbero i primi fenomeni di esondazione.

Come già anticipato in premessa, il valore massimo di portata è risultato pari a 47 m³/s ed il tronco "limitante" è rappresentato dal Cavo Redefossi nel tratto tra P.ta Venezia e P.zza Cinque Giornate (tratto 4 sopra definito).

La seconda serie di simulazioni è stata condotta con l'obiettivo di determinare le condizioni di funzionamento del sistema allo stato attuale, ovvero con la presenza dei depositi lapidei che paralizzano le sezioni di deflusso.

Grazie a questa serie di simulazioni si è potuto individuare il massimo valore di portata ad oggi compatibile con il sistema idrico in esame e - analogamente al precedente caso - definire i tratti

"limitanti" lungo i quali, quando dovesse verificarsi il passaggio di valori di portata superiori, si registrerebbero i primi fenomeni di esondazione.

Come accennato in premessa, allo stato attuale risulta che i sottosistemi Seveso e Redefossi sono in grado di convogliare a superficie libera portate massime dell'ordine dei 35 m³/s.

Per una portata dell'ordine di 35 m³/s, infatti, il primo sottosistema già entra in pressione fra via Monti e via Carissimi; per portate superiori a 40 m³/s anche il secondo sottosistema entra in pressione, nel tratto viale Piave - viale Premuda.

I risultati ottenuti sembrano interpretare con buona approssimazione la realtà delle esondazioni registratesi in città: dall'osservazione dei "Rapporti del settore fognature e corsi d'acqua del comune di Milano" relativi alle esondazioni del Torrente Seveso verificatesi nel periodo 1976 - 2010 si evince infatti che tutti i fenomeni di esondazione hanno interessato primariamente il tratto tra le vie Cà Granda, Valfurva e De Gasperis estendendosi poi in modo più o meno diffuso alle vie limitrofe.

Sulla base dei risultati delle simulazioni condotte è da ritenere che le suddette esondazioni siano avvenute per portate in arrivo al tronco tombinato superiori ai 40-45 m³/s e che tale valore si sia poi ridotto a valle, all'incile del Redefossi, per lo sfioro sul piano stradale lungo il percorso normalmente allagato (Valfurva-Cà Granda, etc.).

L'eventuale rimozione / rimodellamento dei sedimenti per incrementare da 40 a 47 m³/s le portate massime defluenti nel sistema Seveso - Redefossi tombinato in Milano, risulta particolarmente pericolosa, sulla base delle letture idrometriche effettuate, per le possibili esondazioni nella tratta P.le Oberdan - Piazza 5 Giornate lungo viale Piave e viale Premuda con possibili tracimazioni e allagamenti nelle zone centrali della città di Milano.

5 CENSIMENTO DEGLI SCARICHI IN TORRENTE SEVESO DA PALAZZOLO A MILANO

L'analisi delle caratteristiche idrauliche degli scaricatori fognari oggi presenti lungo il tratto in esame risulta assolutamente indispensabile tenuto conto del fatto che – per valutare l'assetto attuale – l'entità dei contributi di piena defluibili nel Seveso è necessariamente condizionata dalla massima capacità di scarico di detti condotti. Infatti, l'assetto urbano del territorio attraversato dal Seveso lungo il tratto a valle del C.S.N.O., ha reso il corso d'acqua, dal punto di vista del regime idraulico, del tutto simile ad un enorme collettore alimentato esclusivamente dai terminali delle reti fognarie ad esso allacciate.

Per prima cosa si è dunque condotta una ricerca puntuale di tutti i punti di scarico oggi presenti lungo il tratto in esame. Questa attività si è svolta innanzitutto con il reperimento presso il Consorzio di Depurazione Nord Milano della documentazione disponibile relativamente ai collettori fognari consortili intercomunali presenti nel tratto di interesse, nonché agli scaricatori di piena ad essi collegati.

Parallelamente si sono analizzate le cartografie rappresentanti le reti fognarie dei comuni di Paderno Dugnano, Cormano e Cusano Milanino, il sistema di scarico delle fognature di Bresso e di Cinisello Balsamo (per la parte afferente al bacino del Seveso), nonché il sistema di adduzione, bypass e scarico dell'impianto di depurazione di Bresso.

Si è quindi proceduto al riscontro sul campo della localizzazione degli scarichi, attraverso una serie di sopralluoghi lungo l'asta del torrente, al fine di accertarne la precisa ubicazione e le effettive dimensioni geometriche, integrando e completando le informazioni reperite dalla cartografia. È opportuno sottolineare che il contesto fortemente antropizzato in cui si inserisce il tratto di torrente in esame, ha reso particolarmente difficoltosi i sopralluoghi in prossimità delle sponde, soprattutto per il tratto compreso nel territorio dei comuni di Paderno Dugnano e Cusano Milanino. In quest'area, infatti, vi sono tratti in cui il Seveso corre incanalato tra edifici e/o fabbricati industriali ubicati a ridosso del corso d'acqua che impediscono – di fatto – l'accesso alle sponde. Si ritiene tuttavia che le informazioni desunte dalle cartografie delle reti comunali ed intercomunali e dai colloqui con i tecnici abbiano consentito di individuare con ragionevole certezza tutte le immissioni di diametro superiore a 400 mm.

L'eventuale presenza di qualche immissione di diametro inferiore lungo i tratti non ispezionabili, d'altra parte, risulterebbe insignificante ai fini della presente analisi, tenuto conto del fatto che le portate addotte da tali scarichi sarebbero trascurabili alla scala della problematica in esame.

Nella tabella seguente si riporta un elenco, da monte verso valle, degli scarichi individuati a seguito delle indagini svolte. Per ogni scaricatore è indicato il tipo di rete a cui appartiene, la forma della sezione del condotto, le dimensioni della sezione e, per gli scaricatori delle reti comunali, il comune di appartenenza.

Tabella degli scarichi censiti:

N°	Tipologia	Geometria	Dimensioni (mm)	Comune
1	scaricatore comunale	circolare	700	Paderno Dugnano
2	scaricatore comunale	rettangolare	1900x800	Paderno Dugnano
3	scaricatore comunale	circolare	1000	Paderno Dugnano
4	scaricatore comunale	circolare	600	Paderno Dugnano
5	scaricatore comunale	circolare	800	Paderno Dugnano
6	scaricatore comunale	circolare	1150	Paderno Dugnano
7	scaricatore comunale	circolare	800	Paderno Dugnano
8	scaricatore comunale	circolare	400	Paderno Dugnano
9	scaricatore intercomunale	circolare	800	
10	scaricatore intercomunale	circolare	1200	
11	scaricatore comunale	ovoidale	1050x700	Paderno Dugnano
12	scaricatore comunale	ovoidale	1800x1200	Paderno Dugnano
13	scaricatore comunale	circolare	1500	Paderno Dugnano
14	scaricatore comunale	circolare	800	Paderno Dugnano
15	scaricatore comunale	circolare	500	Cusano Milanino
16	scaricatore intercomunale	circolare	1200	
17	scaricatore comunale	circolare	500	Cusano Milanino
18	scaricatore comunale	rettangolare	1300x800	Cusano Milanino
19	scaricatore comunale	circolare	800	Cormano
20	scaricatore comunale	circolare	700	Cusano Milanino
21	scaricatore intercomunale	circolare	1200	
22	scaricatore comunale	circolare	500	Cormano
23	scaricatore comunale	circolare	800	Bresso
24	scaricatore comunale	ovoidale	1500x1000	Cormano
25	scaricatore intercomunale	circolare	1000	
26	scaricatore comunale	circolare	600	Bresso
27	scaricatore intercomunale	rettangolare	2400x2000	
28	scaricatore intercomunale	rettangolare	1700x1050	
29	scaricatore comunale	circolare	1500	Bresso
30	scaricatore comunale	circolare	1500	Bresso
31	scaricatore comunale	circolare	600	Bresso
32	Colatore ex-Breda	poli-centrica	4600x2400	Bresso/Cinisello B.
33	scaricatore intercomunale by-pass impianto depurazione Bresso	rettangolare	2500x1500	
34	scaricatore intercomunale scarico impianto depurazione Bresso	rettangolare	2700x1700	

Le portate scaricate nel Seveso dai reticoli di drenaggio urbano dovranno quindi essere soggette a limitazioni, trattandosi di Comuni ove è richiesto un limite restrittivo allo scarico in quanto considerato intervento strategico a livello di assetto del corso d'acqua.

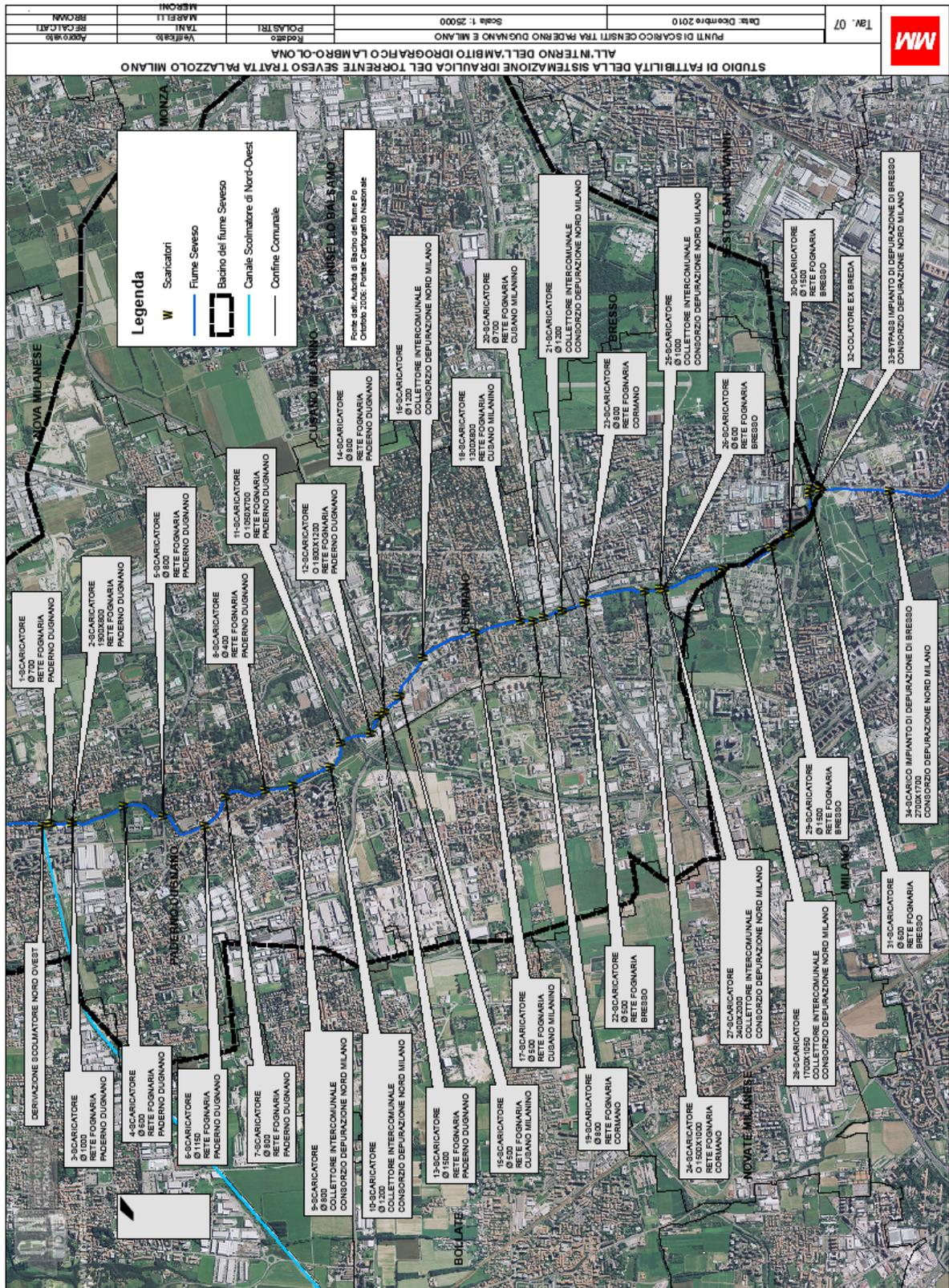
Per tali situazioni, attraverso il presente studio, si intende verificare e quindi validare, in conformità a quanto previsto dallo studio dell'AdbPo, il limite complessivo allo scarico per Paderno Dugnano, Cormano, Cusano Milanino, Cinisello Balsamo, Bresso per cui è imposto il valore globale di 30 m³/s che resterà fisso nel tempo a prescindere dalle presenti e future urbanizzazioni.

È importante evidenziare, anche alla luce di quanto sopra riportato, che il cardine del progetto del torrente Seveso è il controllo dell'evoluzione degli apporti al torrente al fine di evitare nei prossimi 30 anni quanto avvenuto dagli anni '60 ad oggi. Tale impostazione risulta peraltro aderente

all'ottica con cui la Regione Lombardia si è mossa negli anni '80 e '90 con la redazione del Piano Regionale di Risanamento delle Acque. In relazione allo stato di crisi del sistema nord-Milano, tuttavia, alcuni vincoli (quale quello a carico dei comuni in oggetto) devono essere più restrittivi rispetto ai vincoli di P.R.R.A. che prevedevano 40 l/s ha impermeabile di apporto dall'esistente e 20 l/s ha impermeabile di apporto dal nuovo. Nella pianificazione della Regione Lombardia (PRRA 1995 e poi PTUA 2006 - Delibera G.R. n. 8/2244 del 29/03/2006) tutti i centri urbani compresi nel territorio dello studio devono limitare le portate pluviali scaricate dai sistemi di drenaggio urbano nei corsi d'acqua, eventualmente per mezzo di serbatoi di laminazione.

Si segnala inoltre che la Regione Lombardia con "Legge Regionale n. 7 del 23 novembre 2017" ha già superato tale concetto prescrivendo che ogni progetto di trasformazione dell'uso del suolo che provochi una variazione di permeabilità superficiale debba prevedere misure compensative (separazione e gestione locale delle acque meteoriche) atte a limitare il coefficiente udometrico secondo il principio dell'invarianza idraulica e idrologica al fine di attuare il rischio idraulico e ristabilire progressivamente il riequilibrio idrologico e idraulico.

Punti di scarico censiti tra Paderno Dugnano e Milano



È inoltre necessario che si attui il PRRA/PTUA della Regione Lombardia per i Comuni di Paderno Dugnano, Cusano Milanino, Bresso, Cormano e Cinisello Balsamo, dove è richiesto un limite restrittivo allo scarico in quanto considerato intervento strategico a livello di assetto del corso d'acqua.

Per tali situazioni dovrà essere indicato un limite complessivo per più Comuni che resterà fisso nel tempo a prescindere dalle urbanizzazioni. Tale limite, dovrà essere notificato (come dichiarato nello studio AdbPo) al gruppo di Comuni coinvolti, per cui si dovranno attuare strategie sinergiche per ottenere a scala complessiva il miglior compromesso costi/benefici per il rispetto del limite imposto. Entro un anno dalla notifica (secondo lo studio AdbPo) il gruppo di Comuni dovrà presentare la proposta di intervento che consenta il raggiungimento dell'obiettivo ed il mantenimento nel tempo dello stesso.

6 ANALISI DELLE ESONDAZIONI DEL TORRENTE SEVESO A MILANO

6.1 Analisi storica

L'insufficienza della capacità di smaltimento del sistema Seveso – Redefossi è costantemente monitorata dai tecnici dell'Area Acque Reflue del Servizio Idrico Integrato della città di Milano che dal 1977 redigono un rapporto su ciascuna esondazione.

Per ogni esondazione si registrano data, durata di fuoriuscita dalla tombinatura, zona allagata, interventi effettuati, materiali e mezzi utilizzati durante la crisi, personale impiegato ed interventi dopo le esondazioni.

Le verifiche di tali rapporti confermano il già descritto valore limite a nord delle aree soggette ad allagamenti presso via Valfurva, via Moncalieri, Val Maira, Ca' Granda, De Gasperis. L'area di esondazione interessa quindi la zona del viale F. Testi da via Ca' Granda a piazzale Lagosta sino a piazza Minniti estendendosi alle vie laterali.

A partire dal 1980, a seguito della realizzazione dello sgrigliatore di Bresso e del Canale Scolmatore Nord Ovest, si è verificata una riduzione della frequenza delle esondazioni. A tale riduzione è susseguito purtroppo un nuovo progressivo incremento delle frequenze (e anche delle durate) di esondazione che progressivamente si sono attestate agli attuali 2 ÷ 3 mesi.

Nel solo anno 2010 si sono registrate 8 esondazioni (03/05, 14/05, 23/07, 05/08, 12/08, 18/09, 01/11, 16/11).

Nel 2014 si sono registrate 9 esondazioni (25/06, 02/07, 0.8/07, 26/07, 29/07, 0.3/08, 20/08, 12/11, 15/11).

In particolare, si segnala che dal 1976 al 2018:

- dal 1976 si sono avute 119 esondazioni, di cui 24 hanno avuto durata pari o superiore alle 5 ore
- dal 1980, su 90 esondazioni, di cui 12 hanno avuto durata pari o superiore alle 5 ore
- dal 2005 si sono avute 41 esondazioni, di cui 3 hanno avuto durata pari o superiore alle 5 ore.

Area di allagamento in Milano durante l'evento del 26-27 novembre 2002

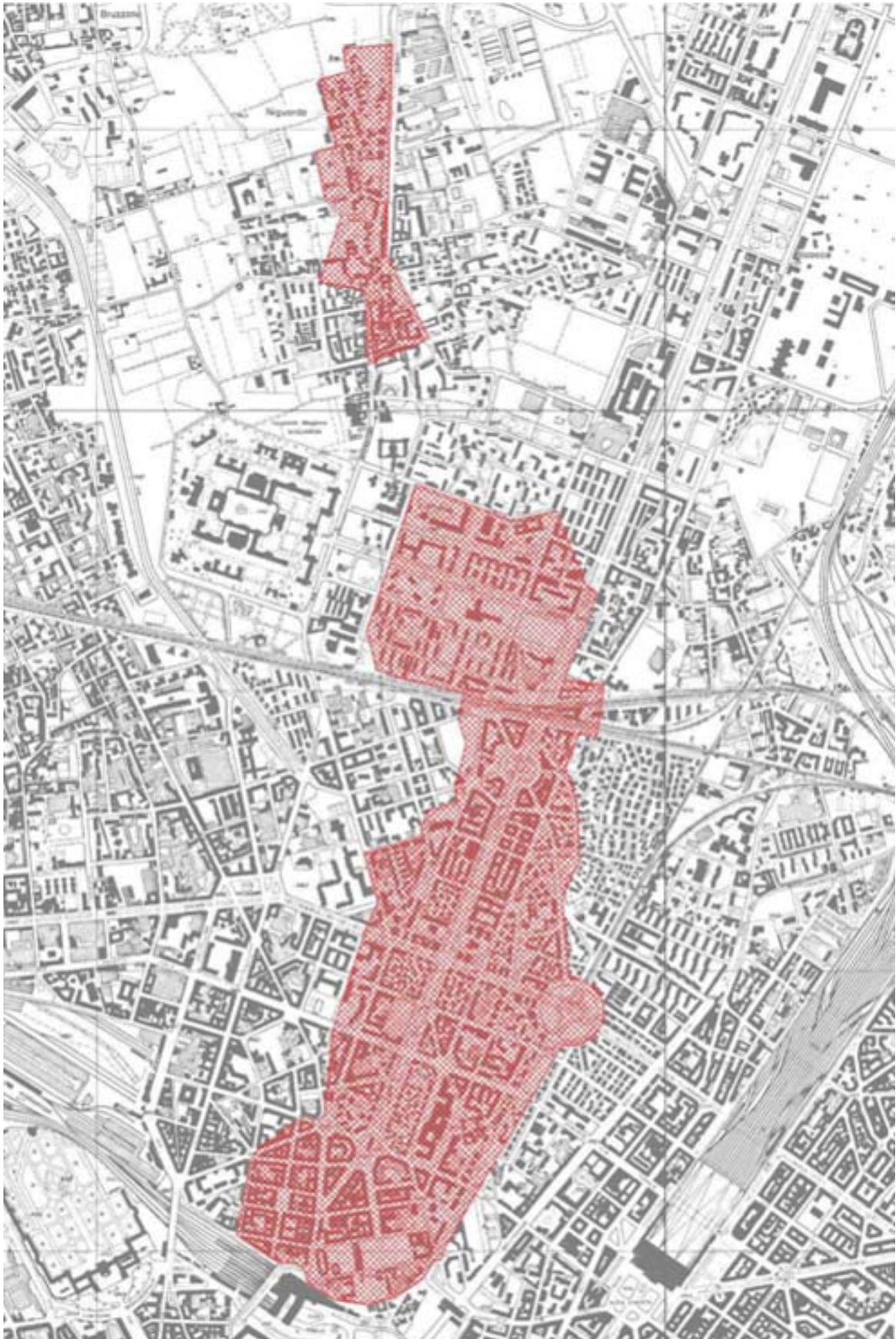
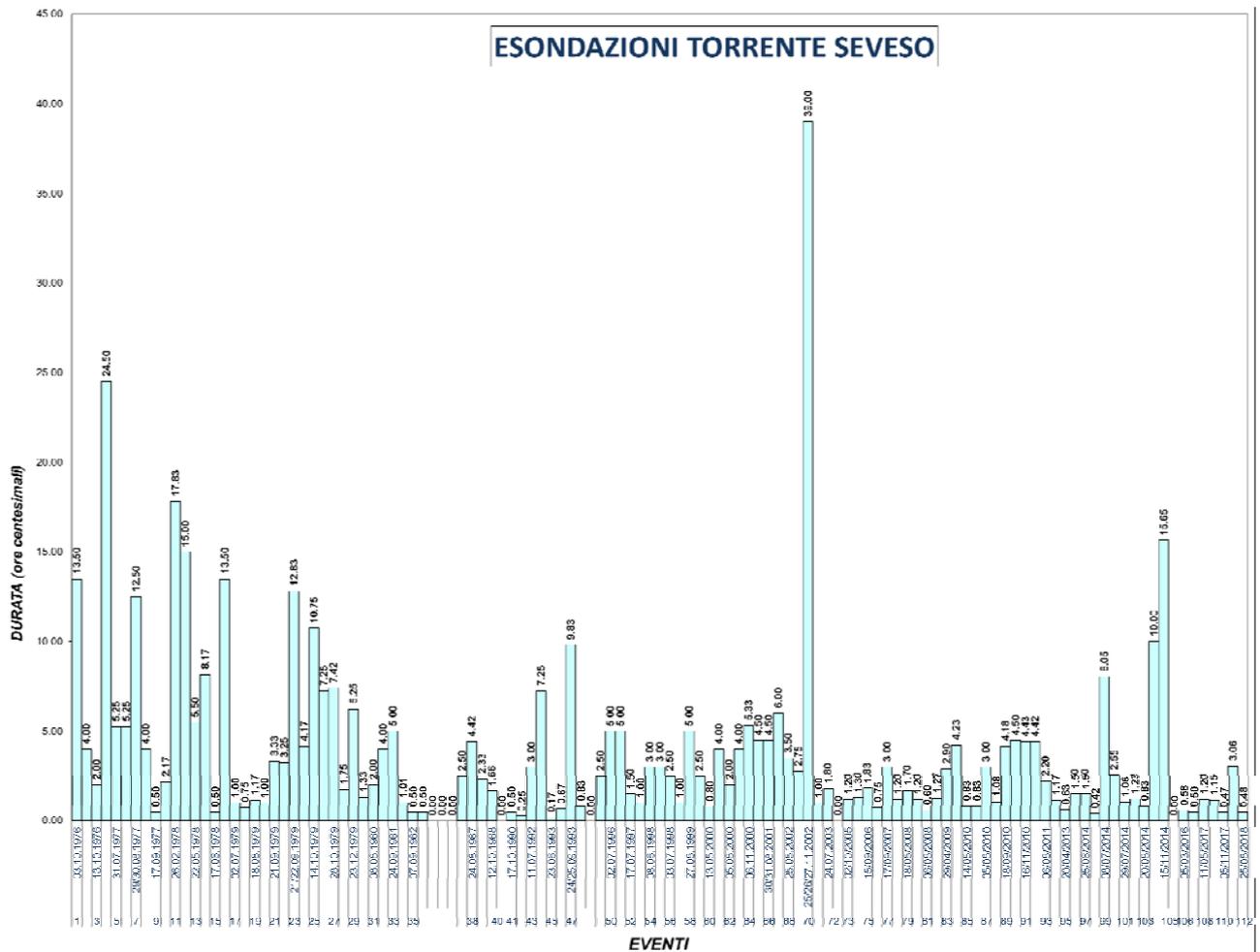


Tabella eventi delle esondazioni del Seveso a Milano e durata di esondazione



6.2 Studio Idrologico del torrente Seveso tra Palazzolo e Niguarda

A partire dai citati studi dell'Autorità di bacino del Po, nello stato attuale, le onde entranti provenienti dai bacini di Paderno Dugnano, Cusano Milanino, Bresso, Cinisello, Cormano (Bacini SEV 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21) per tempo di ritorno decennale e centennale sono di seguito tabellati:

Comune	Portata T= 10 anni (m ³ /s)	Portata T= 100 anni (m ³ /s)
Paderno (valle CSNO)	16	20
Cusano Milanino	9	11
Cormano	6	8
Bresso	4	5
Cinisello Balsamo	11	14
Totale	46	58

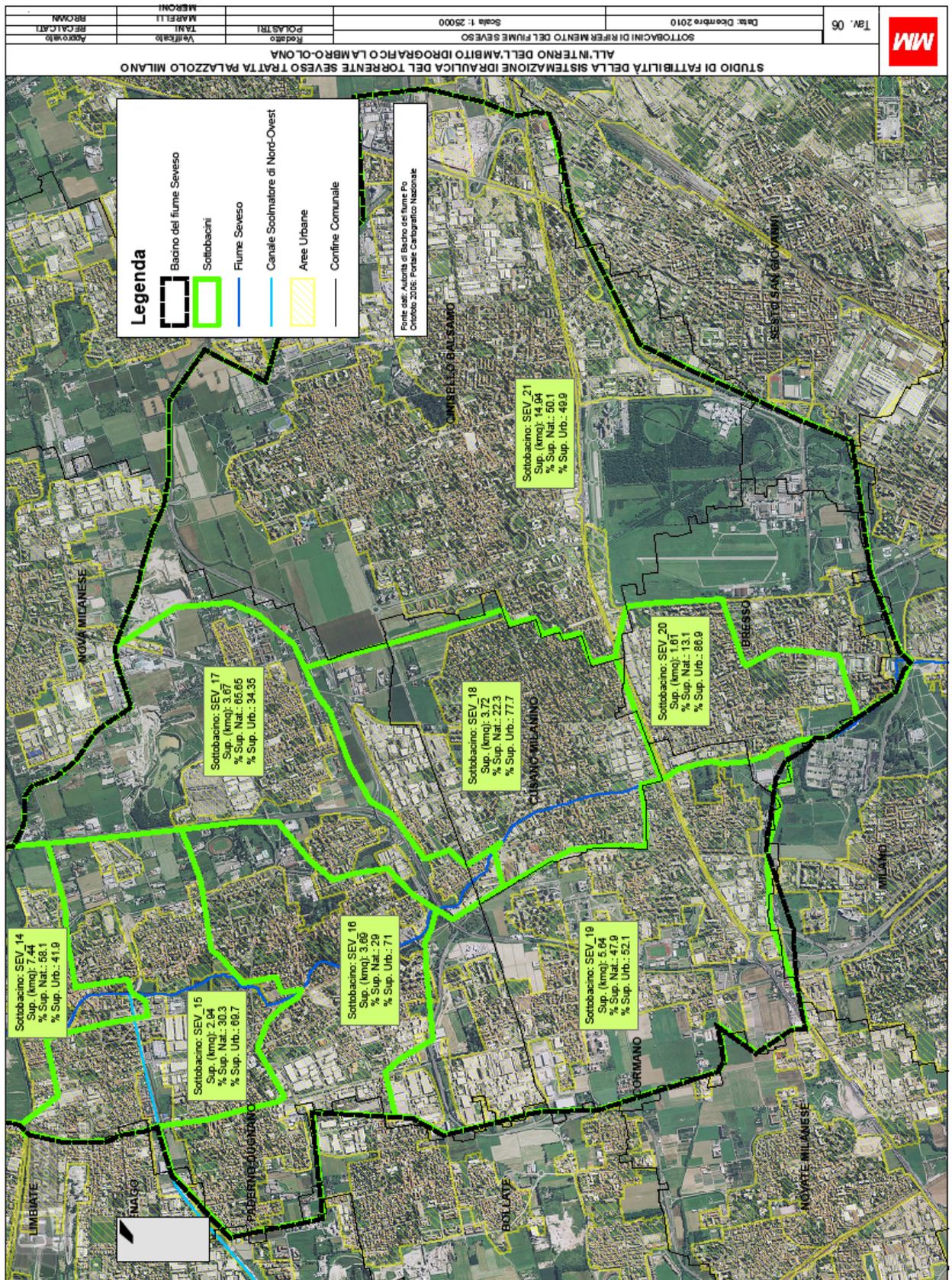
I valori di portate e volumi stimati dal modello dell'AdbPo per le piene decennali e centennali, così calcolati nel 2004, non tengono in conto dell'aumento delle superfici urbanizzate valutate, all'interno dello studio AIPO del maggio 2011 come di seguito riportato per i bacini SEV 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. Le superfici urbanizzate sono cresciute negli ultimi 10 anni nella tratta Palazzolo – Milano, mediamente, del 9 % con maggiori contributi sia nella formazione del picco di piena che del volume dell'evento di riferimento.

Per porre in sicurezza le aree critiche appartenenti al Comune di Milano, quartiere Niguarda, partendo dalla condizione di portata nulla a Palazzolo, è pertanto necessaria la realizzazione di interventi di laminazione o sul corso d'acqua principale o sui terminali delle reti urbane dei comuni di monte al fine di tagliare l'onda di piena di progetto provenienti dai bacini al valore massimo ammissibile in Milano (30 m³/s).

Tali laminazioni possono essere previste a carico di ciascun comune in relazione agli apporti attuali ed all'obiettivo di riduzione o tramite la laminazione sul corso d'acqua. Tuttavia, sulla base del censimento degli scarichi risulta possibile la laminazione unicamente per lo scarico del Canale Breda e del limitrofo scaricatore dei by-pass dell'impianto di depurazione Ianomi in quanto è disponibile un'area all'interno del depuratore stesso. Per gli altri 30 scarichi non risultano disponibili aree ove realizzare bacini di laminazione urbani, **pertanto si è ritenuto di proporre una vasca di laminazione del corso d'acqua in fregio allo stesso, del volume di 250.000 m³, localizzata nel comune di Milano, in destra idraulica alla sezione SV 3.1 per laminare le acque dei bacini compresi tra Palazzolo e l'opera in progetto e ridurre l'apporto da 50 m³/s a circa 20 m³/s.**

Ad opere eseguite i deflussi centennali in Milano saranno pari al massimo a circa 30 m³/s a fronte degli attuali 58 m³/s che si formano nella tratta Palazzolo – Milano.

Sottobacini di riferimento del Torrente Seveso.



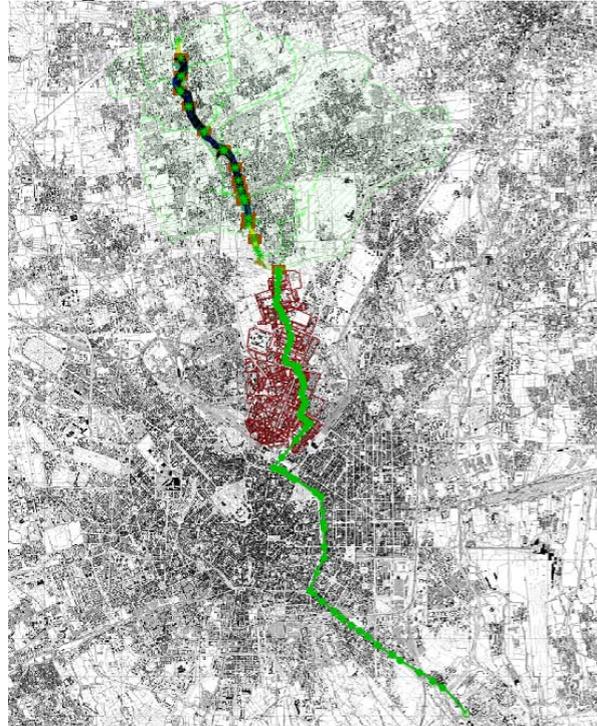
7 SCENARI SIMULATI CON IL MODELLO IDRAULICO

7.1 Definizione del modello matematico idraulico

Il dimensionamento delle opere contenute nel presente progetto esecutivo è stato condotto con l'ausilio del software di simulazione **Infoworks ICM** ed attraverso ulteriori approfondimenti di calcolo redatti con l'ausilio di formule note e consolidate in letteratura; il modello, approntato già dalla fase della Progettazione preliminare, è stato ulteriormente affinato in fase di progettazione definitiva ed esecutiva integrandolo con una serie aggiuntiva di **simulazioni bidimensionali** per la valutazione di massima delle dinamiche idrauliche all'interno del bacino di laminazione in periodo di tempo asciutto (ricircoli d'acqua attivi) e durante gli eventi di piena (attivazione della soglia di sfioro). Le stime dei volumi invasabili e dei movimenti terra e la redazione di sezioni e di profili longitudinali sono state condotte anche con l'ausilio del software di disegno **Civil Design**, di comprovata affidabilità in questo campo.

Il modello idraulico è stato costruito sulla base dei rilievi topografici condotti appositamente ai fini del presente progetto; le informazioni geometriche sui tratti di monte del Seveso sono state ottenute utilizzando le sezioni geometriche disponibili (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona) mentre la geometria e le quote di scorrimento della tombinatura di Seveso, Martesana e Redefossi sono state reperite dagli archivi di Metropolitana Milanese Spa.

Immagine del modello matematico realizzato



7.2 Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Al fine di far partire lo sviluppo del modello matematico del Seveso dal nodo di Palazzolo, in tale sezione sono stati inseriti come **condizione al contorno di monte** gli idrogrammi calcolati nello studio "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona", che ha fornito le portate idrologiche dei bacini afferenti al sistema per i tempi di ritorno $T=10$ e $T=100$ anni.

Come **condizione al contorno di valle** nel Redefossi a San Donato Milanese, è stato imposto un livello fisso pari al massimo riempimento della sezione idraulica disponibile; tale condizione al contorno risulta comunque sufficientemente distante dalla zona modellizzata da ritenere tale condizione al contorno influente sui livelli calcolati nella tratta di Torrente Seveso in studio.

Inoltre, a valle di Palazzolo sono stati inseriti per ciascun sottobacino gli idrogrammi del sopraccitato studio AdBPo 2004 (le cui caratteristiche sono riportate anche nel paragrafo precedente 6.2).

Gli **scenari di piena** modellati sono fondamentalmente 3:

- A. **Attuale:** si descrive il comportamento attuale del Seveso (nessuna vasca di laminazione lungo il Seveso a monte dell'intervento in progetto);
- B. **Finale:** si descrive il comportamento futuro del Seveso ipotizzato dalla pianificazione di bacino (attive tutte le vasche di laminazione lungo il Seveso a monte dell'intervento in progetto) e pertanto la portata al nodo di Palazzolo è nulla;
- C. **Transitorio:** si descrive una situazione ibrida tra la configurazione attuale e quella finale ipotizzata dalla pianificazione di bacino. L'idrogramma in ingresso al nodo di valle di Palazzolo è stato "tagliato", sottraendo linearmente 30 m³/s, ovvero la portata che la realizzazione del bacino di laminazione di Senago permetterà di derivare verso il CSNO, in aggiunta ai 30 m³/s già oggi sottratti dal Seveso.

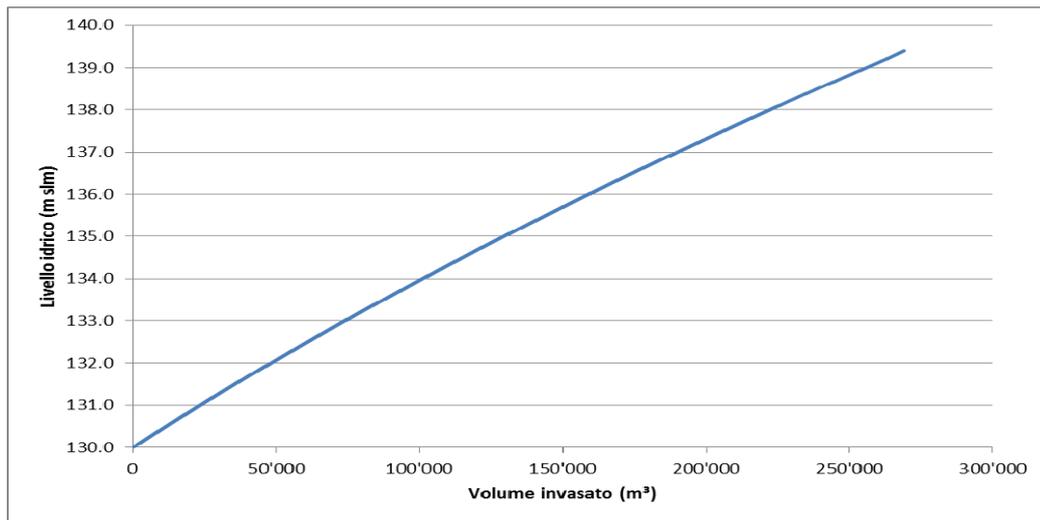
7.3 Caratteristiche idrauliche dell'area di esondazione

Grazie al modello idraulico utilizzato è stato possibile determinare l'effetto di laminazione assicurato dalla realizzazione dell'opera; l'area permette il contenimento delle esondazioni in Comune di Milano per tempi di ritorno crescenti in funzione della diminuzione delle portate in arrivo da Palazzolo, fino a garantire la sicurezza idraulica del Comune di Milano per eventi con tempo di ritorno oltre i cento anni una volta che la pianificazione di bacino a nord del nodo di Palazzolo abbia raggiunto l'annullamento delle portate provenienti dai bacini di monte.

I dati caratterizzanti l'area di esondazione sono i seguenti:

- Livello minimo: 130.0 m slm (volume invasato = 0 m³);
- Livello canale di svuotamento a gravità: 137.0 m slm (volume invasato = 189'000 m³);
- Livello di massima regolazione (pari all'altezza del petto della soglia di sfioro): 138.0 m slm (volume invasato = 222'000 m³);
- Livello di massimo invaso di progetto (scenario finale): 139.00 m slm (volume invasato = 255'000 m³);
- Livello di massimo invaso transitorio (scenario transitorio): 139.4 m slm (volume invasato = 270'000 m³).

Si considera dunque un volume invasabile pari a 255'000 m³ in fase definitiva e 270'000 m³ in fase transitoria (solo vasca di Senago oltre l'opera in progetto attiva). Si sottolinea che anche in fase transitori a è comunque garantito un adeguato franco idraulico (>1 m) rispetto al piano campagna delle sponde della vasca (poste a quota 141 m slm).



Curva di invaso del bacino di laminazione

La figura seguente indica il posizionamento delle sezioni di riferimento per gli idrogrammi mostrati nei paragrafi seguenti, suddivisi per:

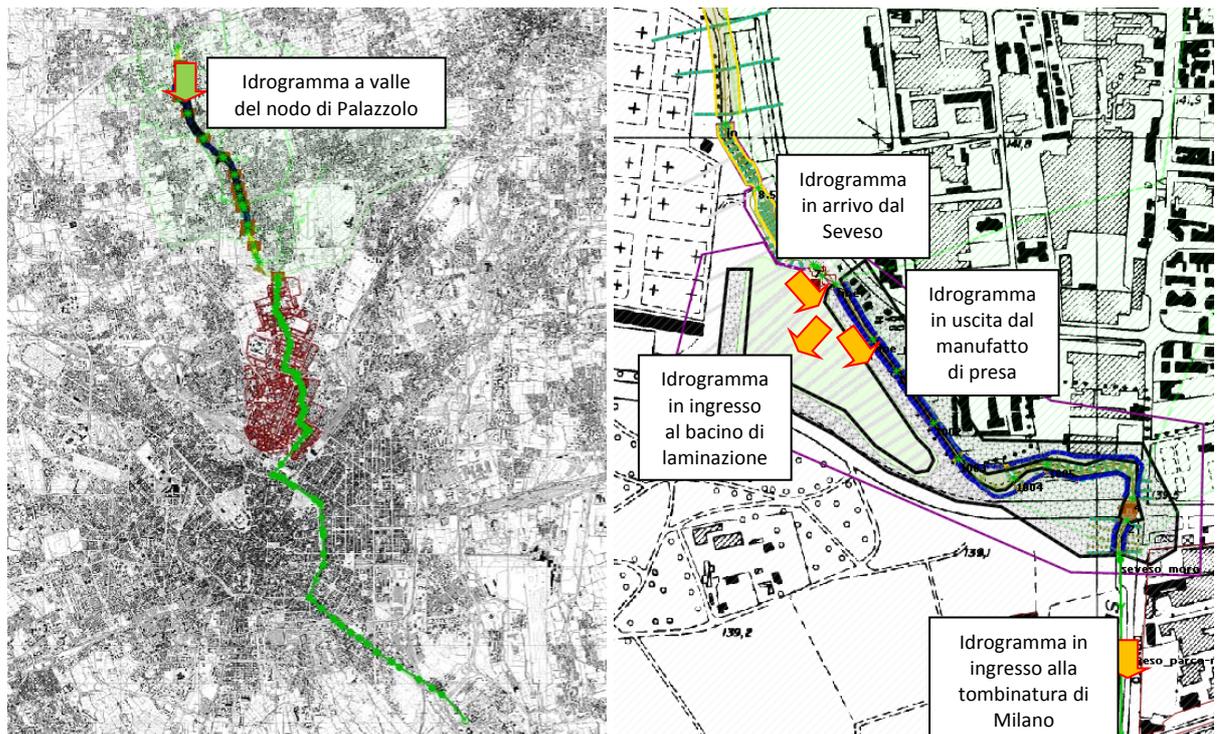
- Idrogrammi di input nel modello (verde);
- Idrogrammi di output simulati dal modello (arancione).

7.4 Simulazioni idrauliche

Il funzionamento del bacino di laminazione in progetto è stato verificato con il supporto del modello matematico del tratto di Seveso di interesse, nel quale sono state introdotte diverse onde di piena con tempo di ritorno rispettivamente $T=10$ e 100 anni.

Tali onde di piena sono riferite alle 3 scenari di piena (attuale, finale e transitorio), così come descritti nel paragrafo precedente, i quali rendono conto delle differenti condizioni al contorno dell'opera di laminazione in progetto nelle varie fasi di realizzazione del sistema di opere di difesa a monte dell'opera stessa.

Inoltre, viene valutato anche l'effetto di variazione di pervietà del canale tombinato in Milano, dato da un'eventuale rimozione di sedimenti.



Posizionamento delle sezioni di riferimento per gli idrogrammi mostrati negli scenari descritti nelle pagine seguenti

Nel seguito si riportano i risultati dei vari scenari di simulazione considerati, ovvero:

- **SCENARIO 0: attuale stato di fatto**
 - a. Stato di fatto ed evento con tempo di ritorno di 10 anni
 - b. Stato di fatto ed evento con tempo di ritorno di 100 anni
- **SCENARIO 1: transitorio stato di fatto**
 - a. Stato di fatto con vasca di Senago ed evento con tempo di ritorno di 10 anni
 - b. Stato di fatto con vasca di Senago ed evento con tempo di ritorno di 100 anni
- **SCENARIO 2: finale stato di fatto**
 - a. Stato di fatto con portata nulla a Palazzolo ed evento con tempo di ritorno di 10 anni

- b. Stato di fatto con portata nulla a Palazzolo ed evento con tempo di ritorno di 100 anni
- **SCENARIO 3: attuale stato di progetto**
 - a. Stato di progetto ed evento con tempo di ritorno di 10 anni
 - b. Stato di progetto ed evento con tempo di ritorno di 100 anni
- **SCENARIO 4: transitorio stato di progetto**
 - a. Stato di progetto con vasca di Senago ed evento con tempo di ritorno di 10 anni
 - b. Stato di progetto con vasca di Senago ed evento con tempo di ritorno di 100 anni*

*Nel seguito della relazione ci si riferirà a questo scenario come "scenario di progetto transitorio".

- **SCENARIO 5: finale stato di progetto**
 - a. Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo ed evento con tempo di ritorno di 10 anni
 - b. Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo ed evento con tempo di ritorno di 100 anni
- **SCENARIO 6: finale con variazione pervietà stato di progetto**
 - a. Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo, parziale occlusione della tombinatura del Seveso ed evento con tempo di ritorno di 10 anni
 - b. Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo, parziale occlusione della tombinatura del Seveso ed evento con tempo di ritorno di 100 anni**

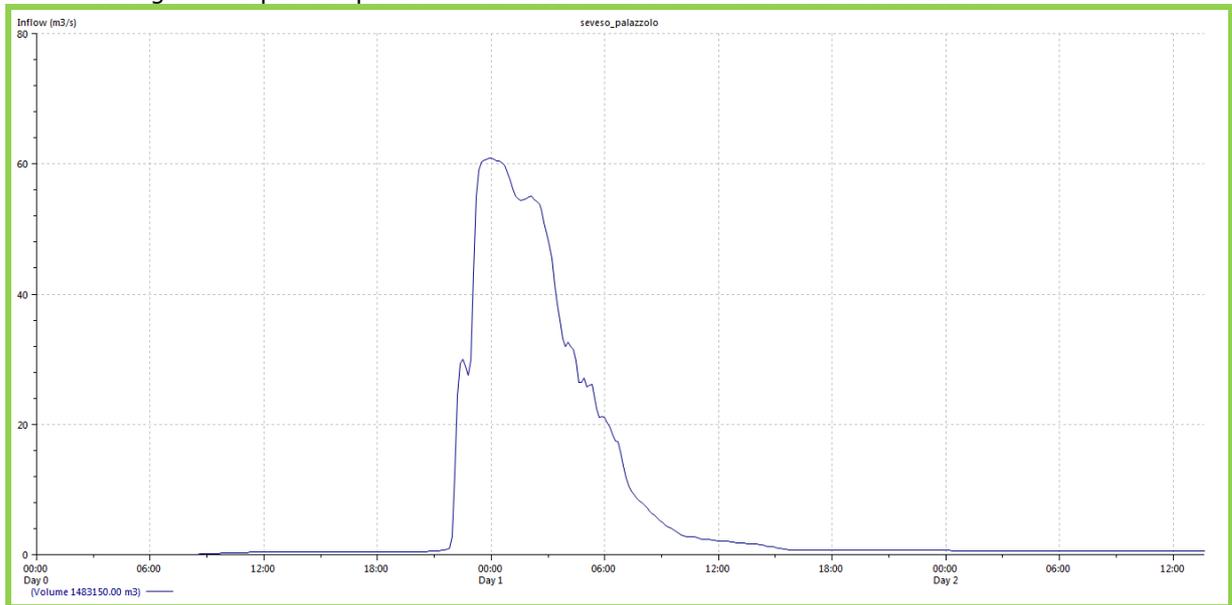
**Nel seguito della relazione ci si riferirà a questo scenario come "scenario di progetto finale".

7.4.1 Scenario di piena attuale: confronto scenari 0 e 3

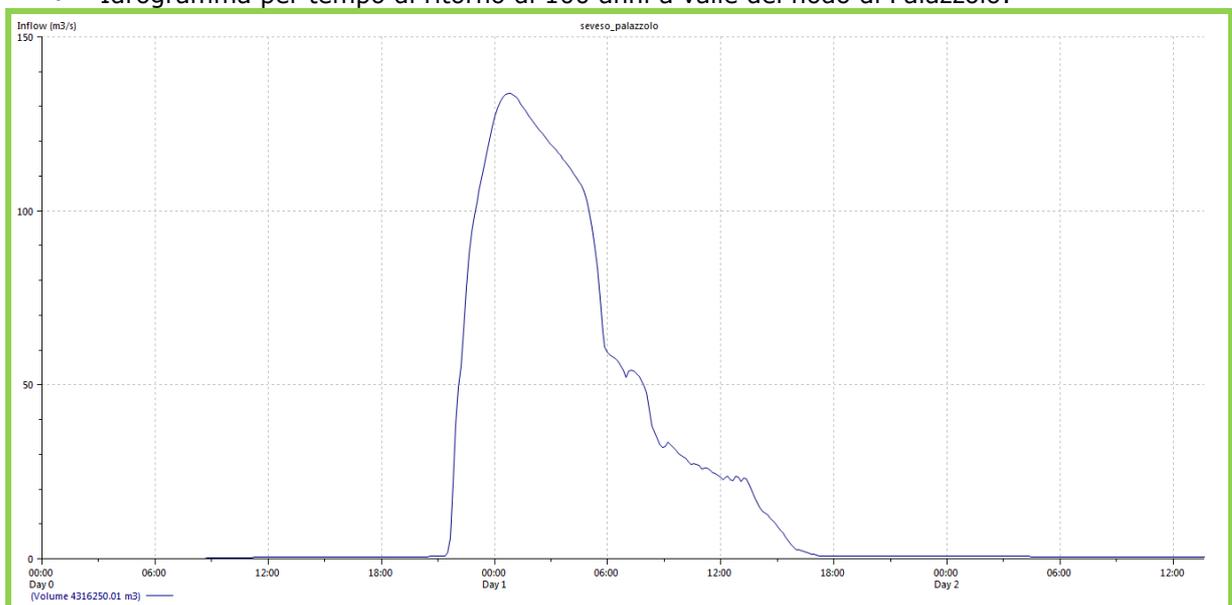
Confronto tra stato di fatto e di progetto per eventi con tempo di ritorno di 10 e 100 anni.

Idrogrammi di input:

- Idrogramma per tempo di ritorno di 10 anni a valle del nodo di Palazzolo:



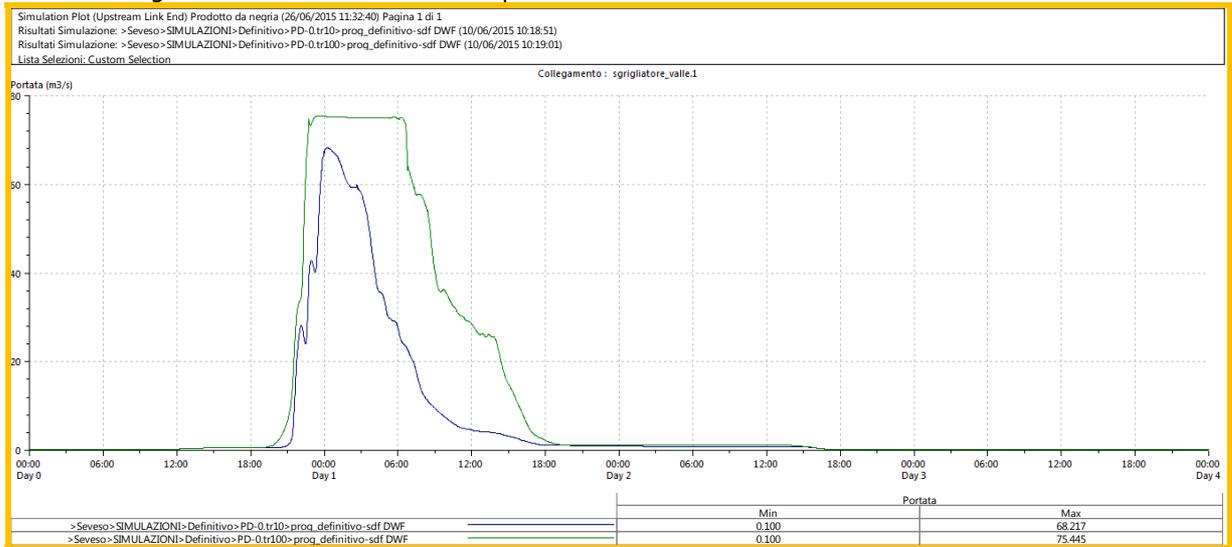
- Idrogramma per tempo di ritorno di 100 anni a valle del nodo di Palazzolo:



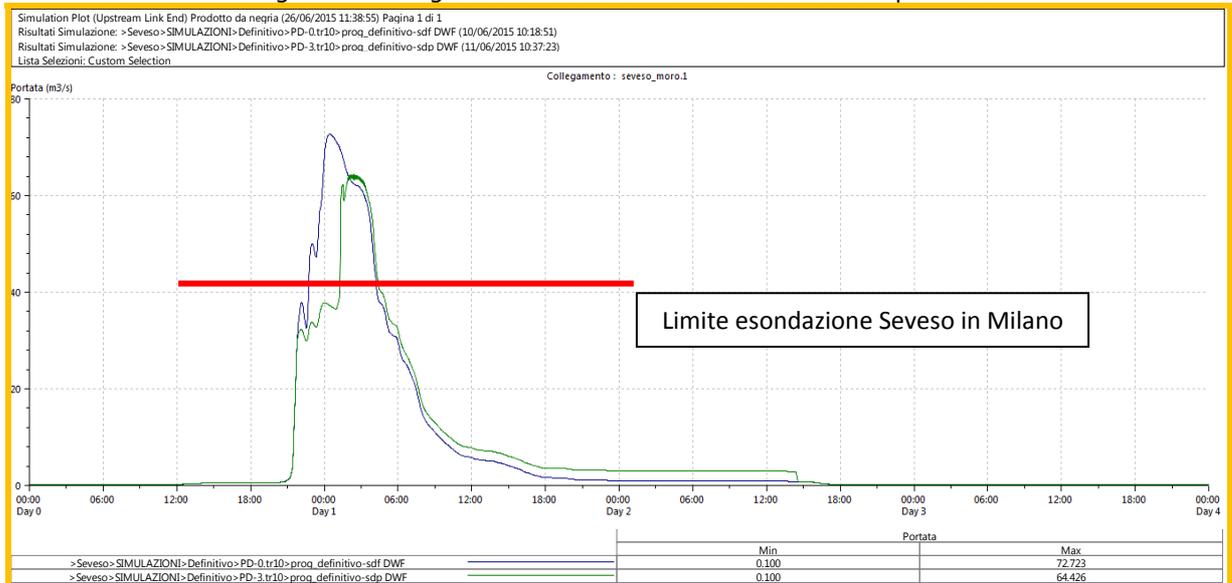
- Deflussi dei bacini gravanti sulla tratta di Seveso Palazzolo-Milano per tempi di ritorno di 10 e 100 anni (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona).

Idrogrammi in output:

- Idrogrammi in arrivo dal Seveso per 10 e 100 anni:

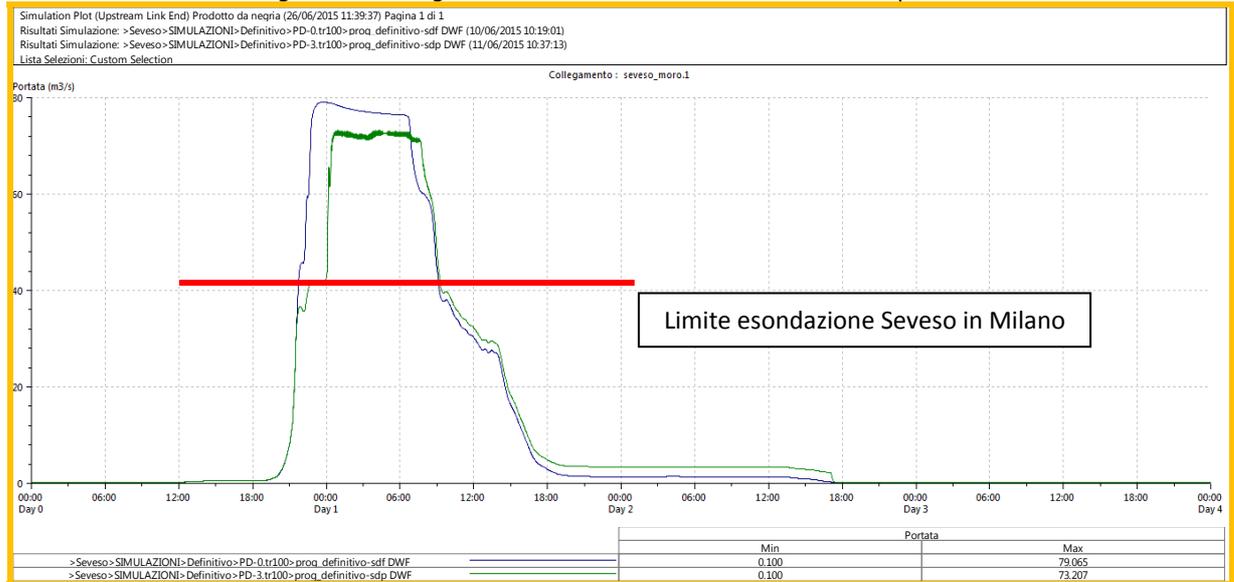


- Confronto idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 10 anni:



OSSERVAZIONI: il bacino è in grado di limitare significativamente le esondazioni in Milano (si osservi la minor area sottesa all'idrogramma "verde-progetto" rispetto al "blu-stato_di_fatto") riducendo sensibilmente il volume esondato.

- Confronto idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 100 anni:

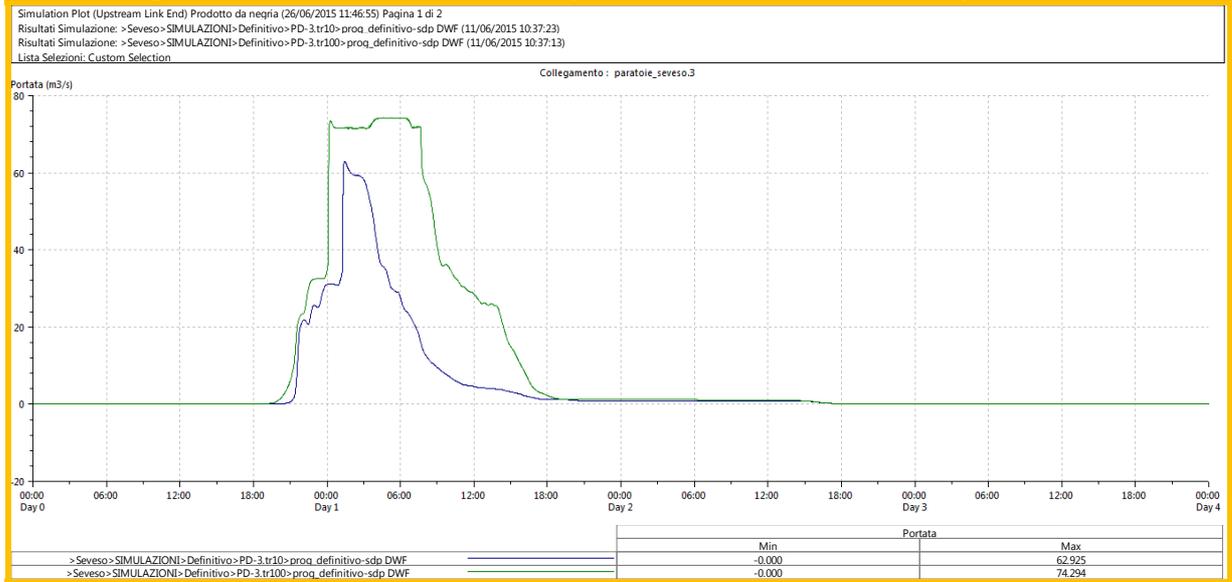


OSSERVAZIONI: il bacino è in grado di limitare leggermente le esondazioni in Milano (si osservi la minor area sottesa all'idrogramma "verde-progetto" rispetto al "blu-stato_di_fatto") senza però incidere visibilmente sui volumi esondati.

- Idrogrammi in ingresso al bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



• Idrogrammi in uscita dal manufatto di presa del bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



• Volume accumulato nel bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



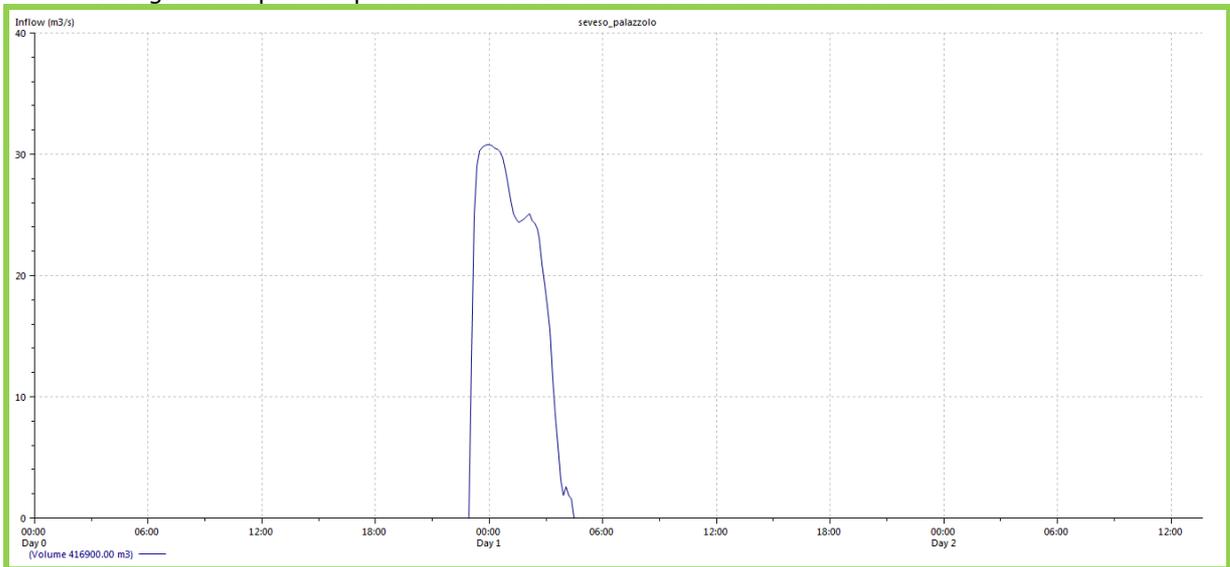
OSSERVAZIONI: in entrambe le simulazioni il bacino viene totalmente riempito in circa 3-6 ore.

7.4.2 Scenario di piena transitorio: confronto scenari 1 e 4

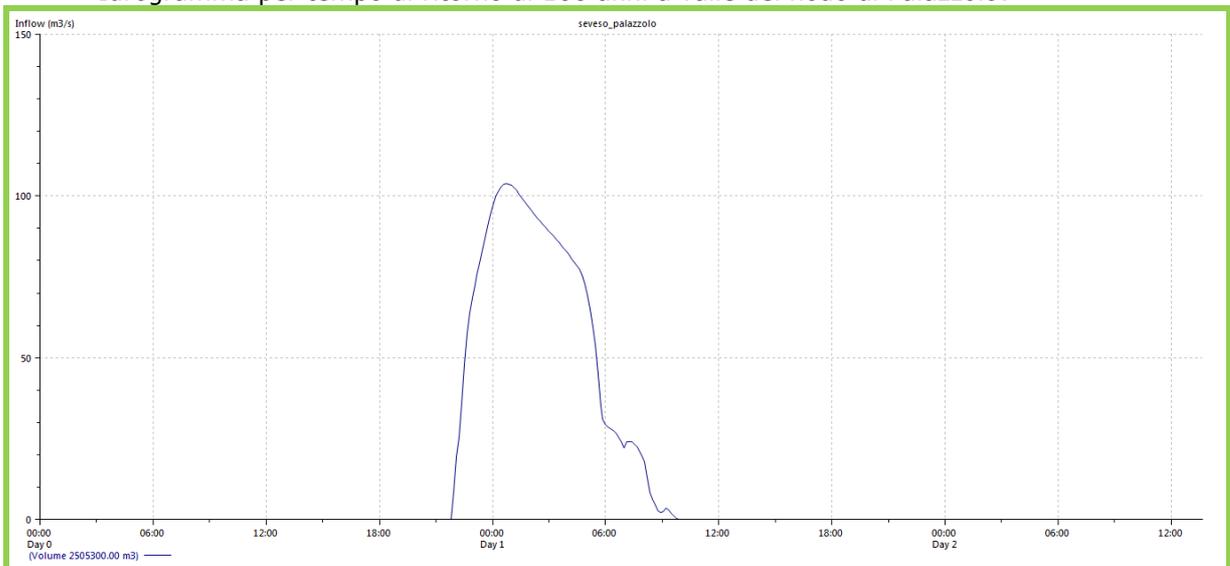
Confronto tra stato di fatto e di progetto con vasca di Senago per tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

Idrogrammi di input:

- Idrogramma per tempo di ritorno di 10 anni a valle del nodo di Palazzolo:

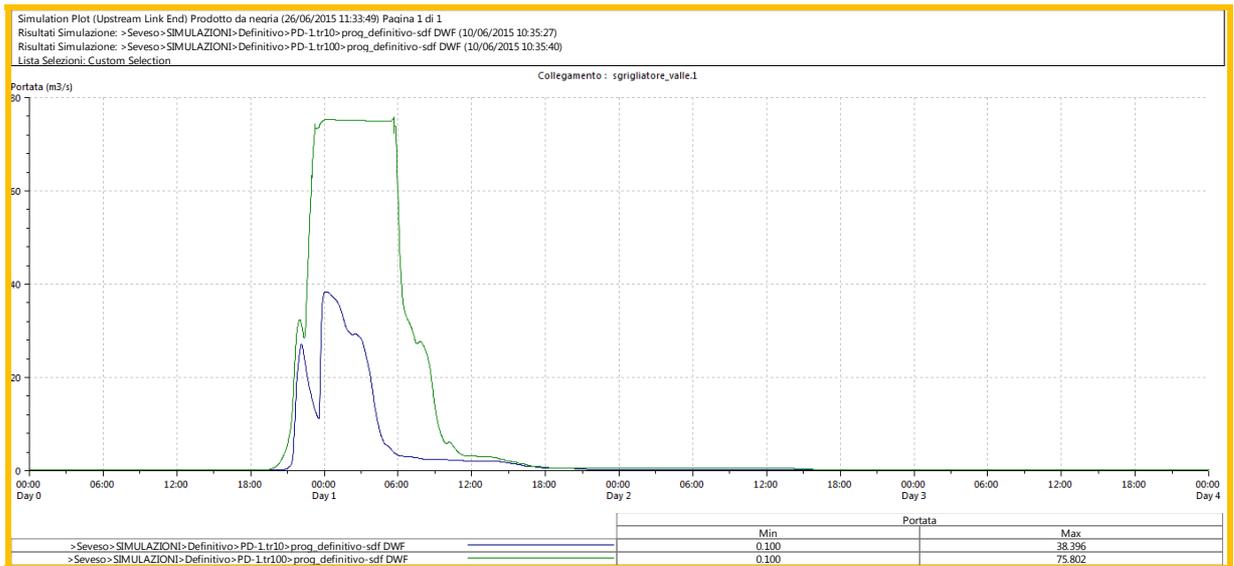


- Idrogramma per tempo di ritorno di 100 anni a valle del nodo di Palazzolo:

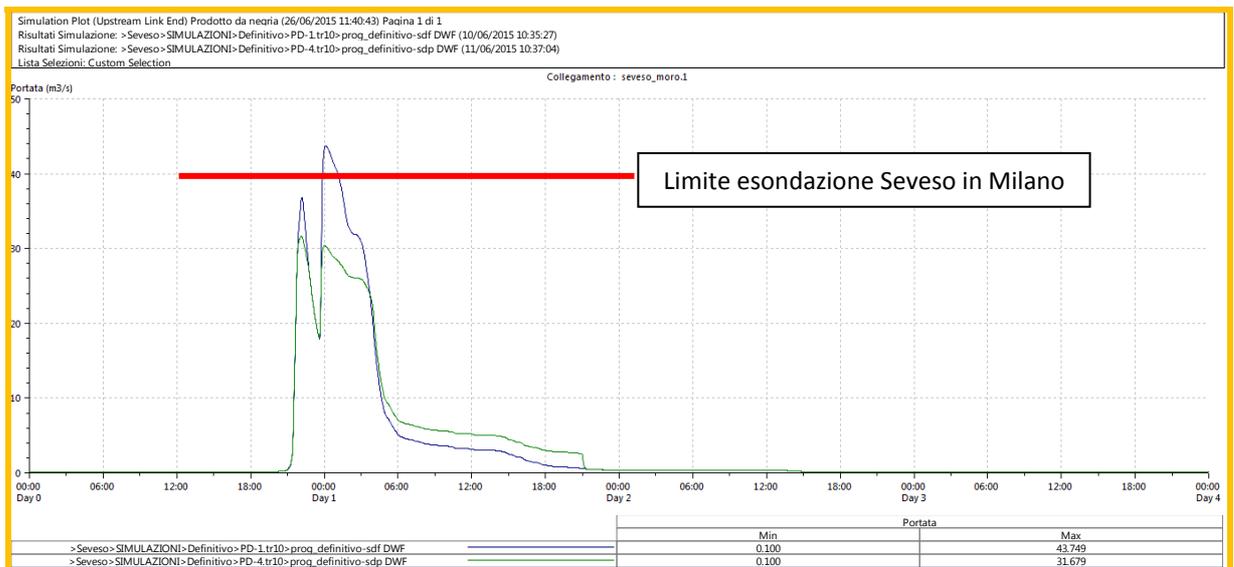


- Deflussi dei bacini gravanti sulla tratta di Seveso Palazzolo-Milano per tempi di ritorno di 10 e 100 anni (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro - Olona).

- Idrogrammi in arrivo dal Seveso per 10 e 100 anni:

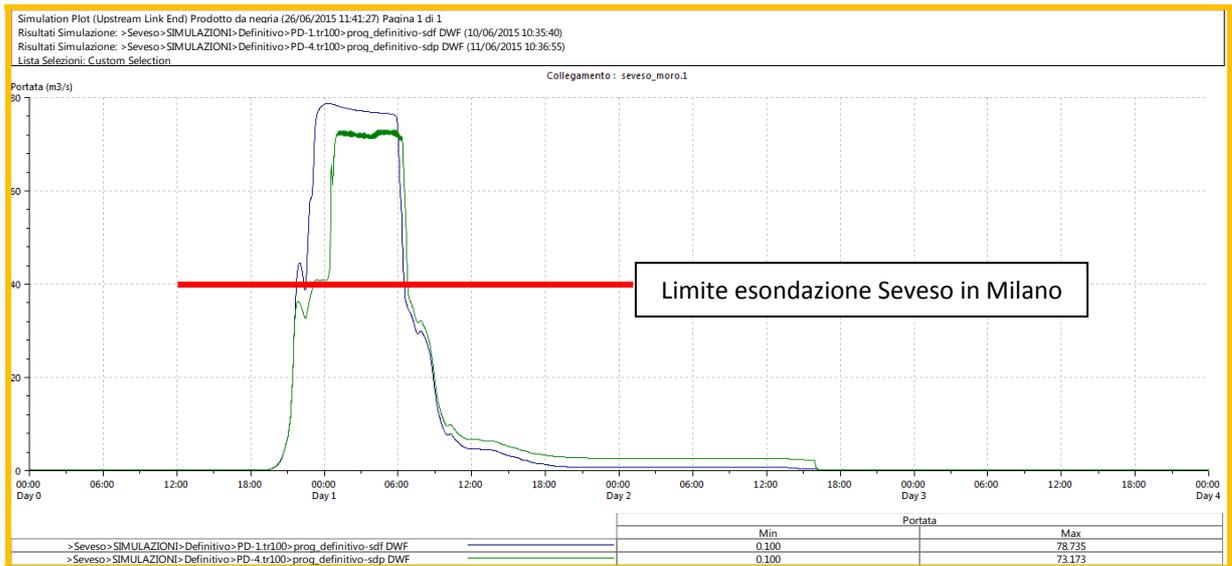


- Confronto idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 10 anni:



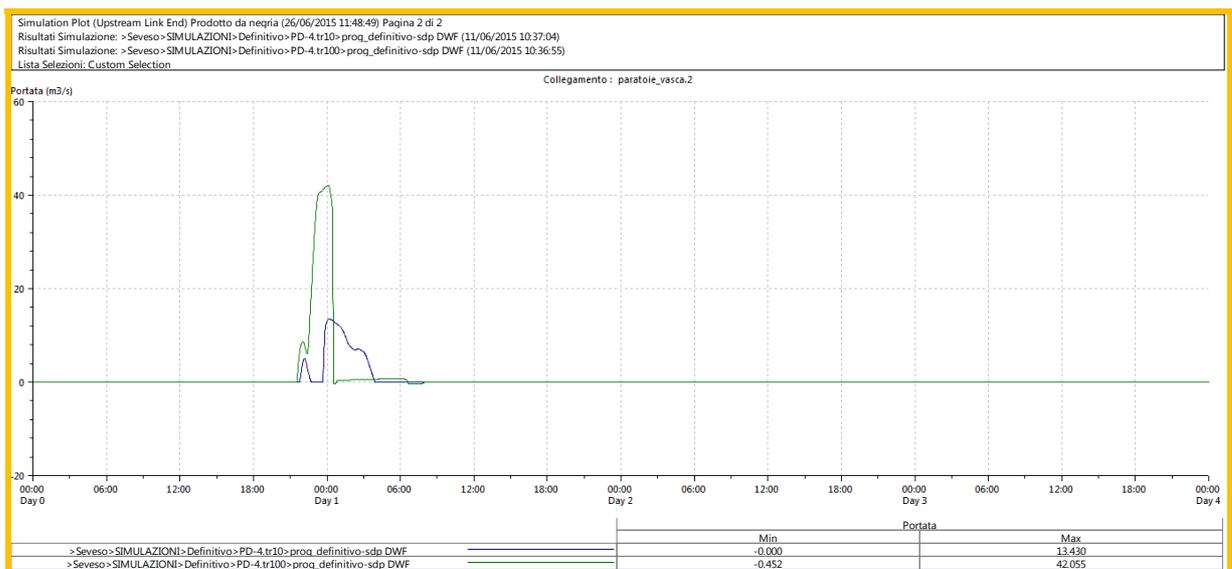
OSSERVAZIONI: il bacino è in grado di evitare le esondazioni in Milano.

- Confronto idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 100 anni:

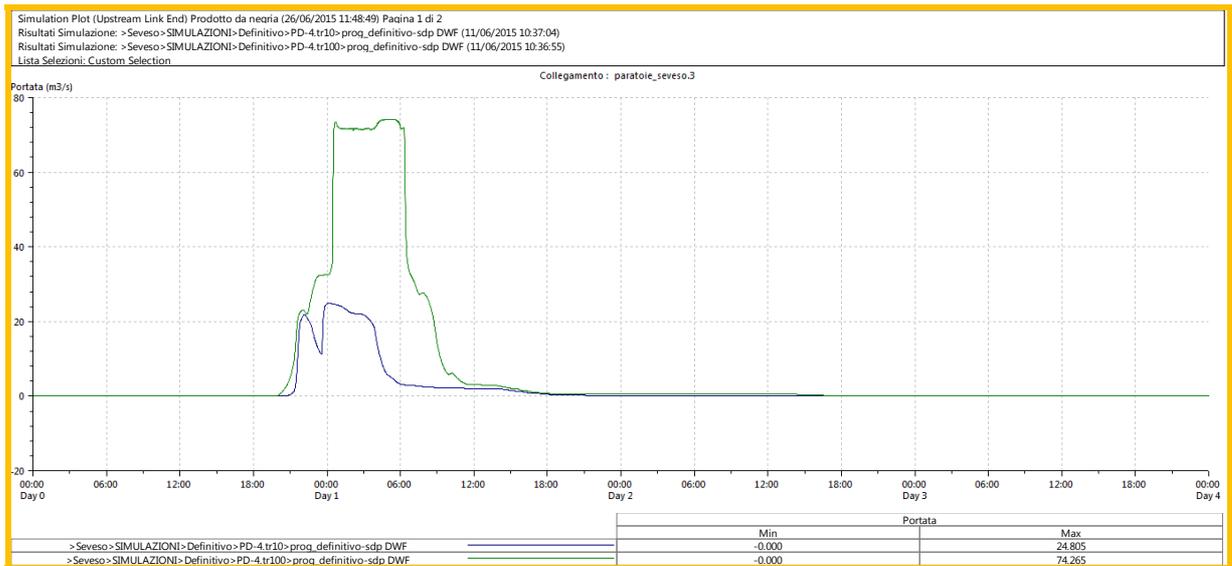


OSSERVAZIONI: il bacino è in grado di limitare leggermente le esondazioni in Milano (si osservi la minor area sottesa all'idrogramma "verde-progetto" rispetto al "blu-stato_di_fatto").

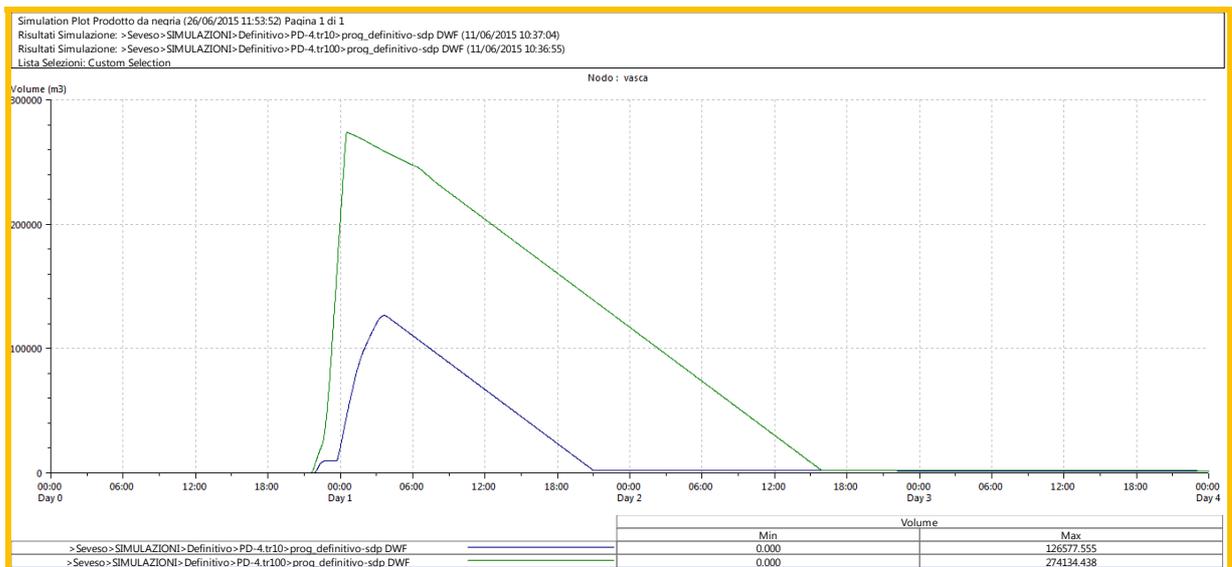
- Idrogrammi in ingresso al bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



- Idrogrammi in uscita dal manufatto di presa del bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



- Volume accumulato nel bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



OSSERVAZIONI: per tempi di ritorno di 10 anni il bacino è pienamente sufficiente (riempimento di 127'000 m³) mentre per 100 anni le esondazioni superano la volumetria disponibile.

7.4.3 Scenario di piena finale: confronto scenari 2 e 5

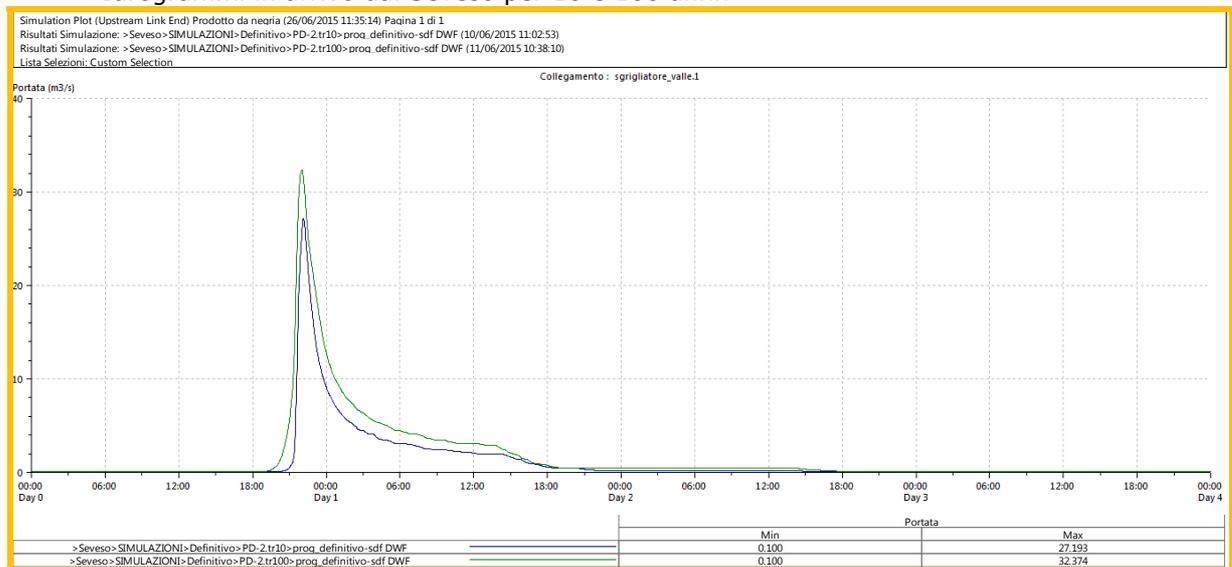
Confronto tra stato di fatto e di progetto con portata nulla a Palazzolo per tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

Idrogrammi di input:

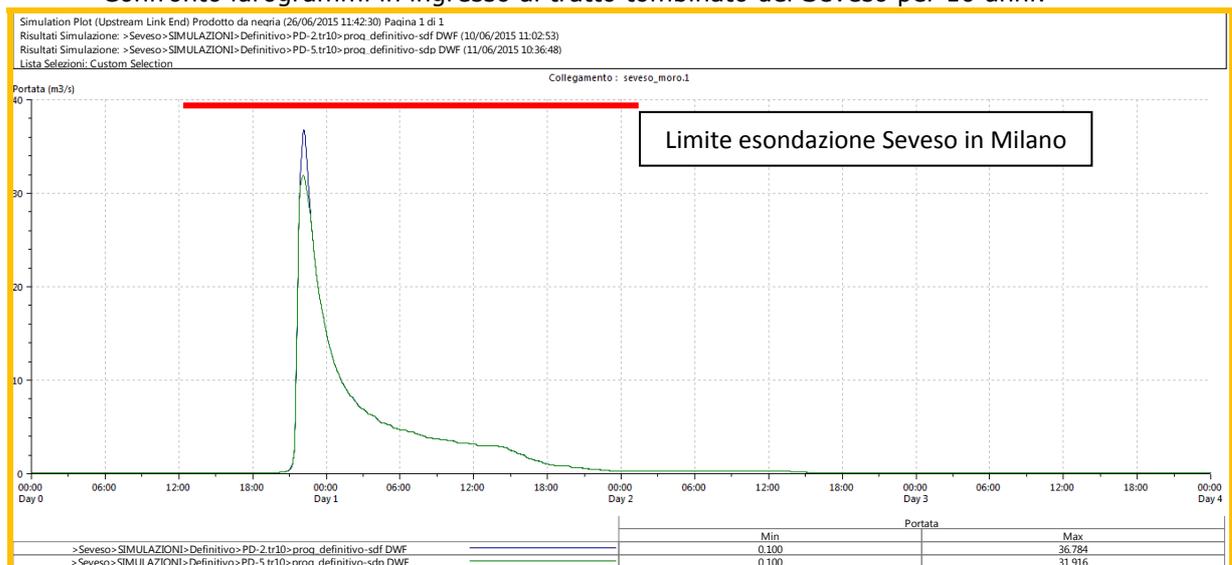
- Idrogramma nullo a valle del nodo di Palazzolo.
- Deflussi dei bacini gravanti sulla tratta di Seveso Palazzolo-Milano per tempi di ritorno di 10 e 100 anni (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona).

Idrogrammi in output:

- Idrogrammi in arrivo dal Seveso per 10 e 100 anni:

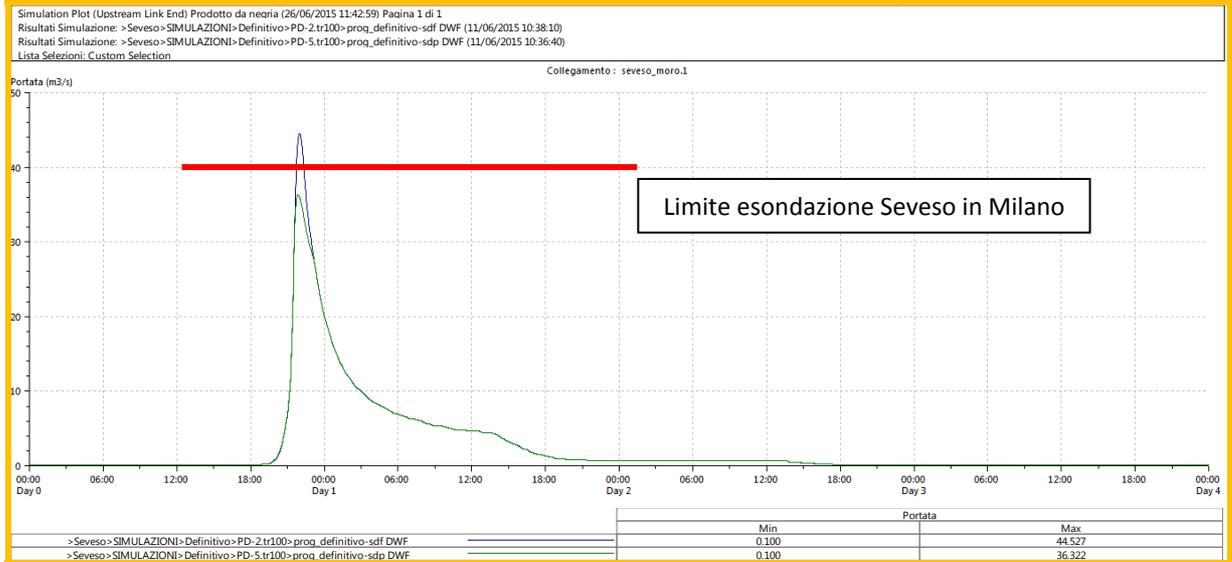


- Confronto idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 10 anni:



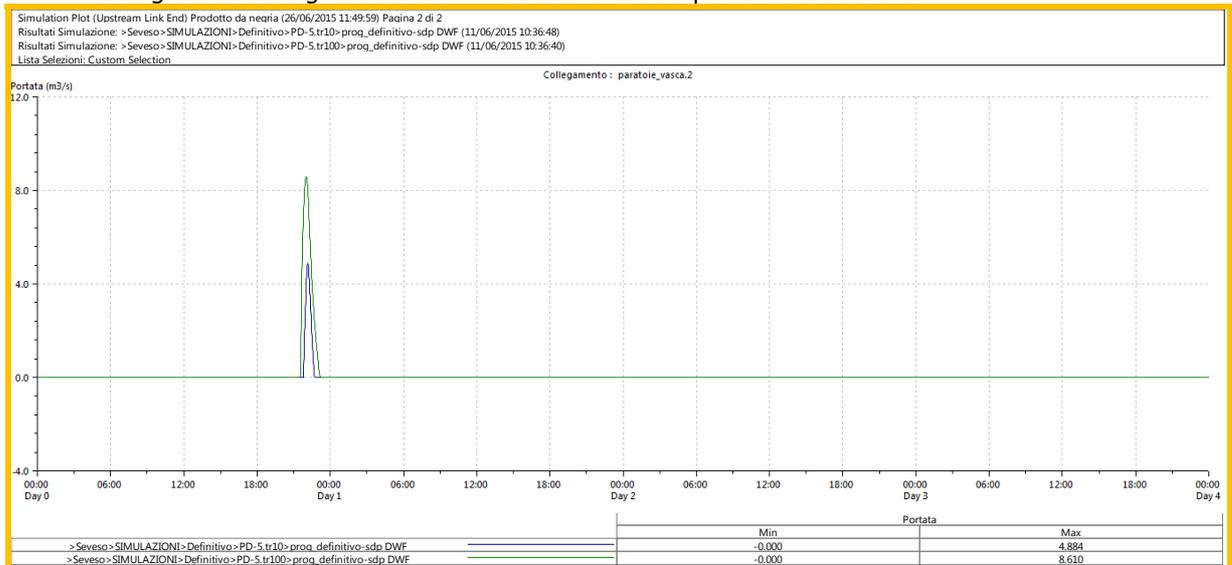
OSSERVAZIONI: il bacino è in grado di limitare le portate, già di per sé inferiori al limite dei 40 m³/s, al di sotto dei 35 m³/s, valore per il quale si evitano funzionamenti in pressione della tombinatura.

- Confronto idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 100 anni:

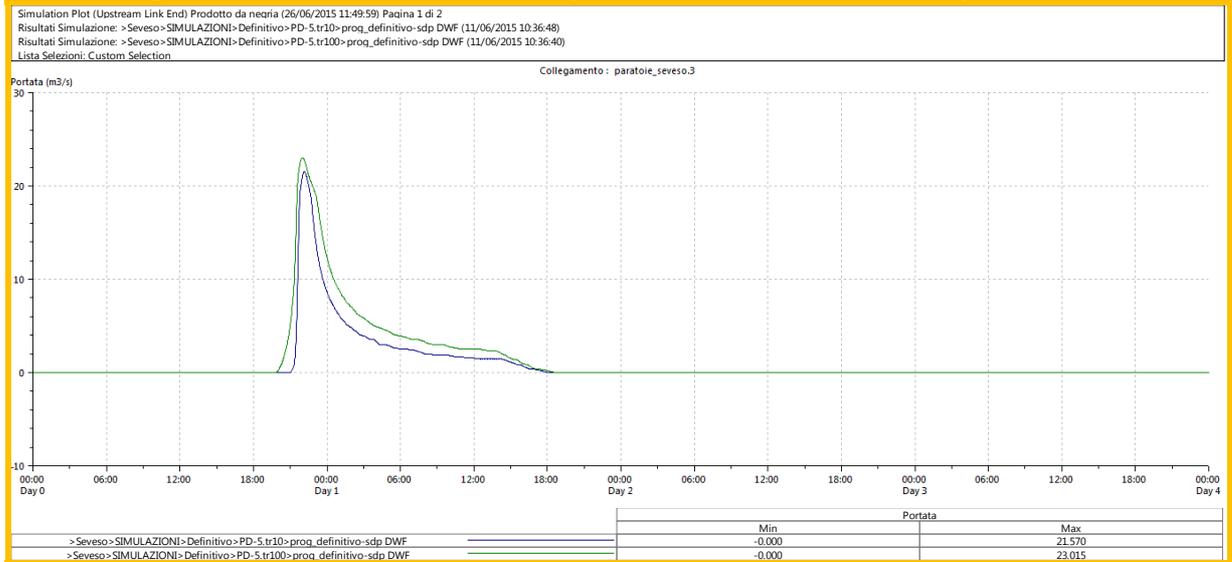


OSSERVAZIONI: il bacino è in grado evitare le esondazioni in Milano.

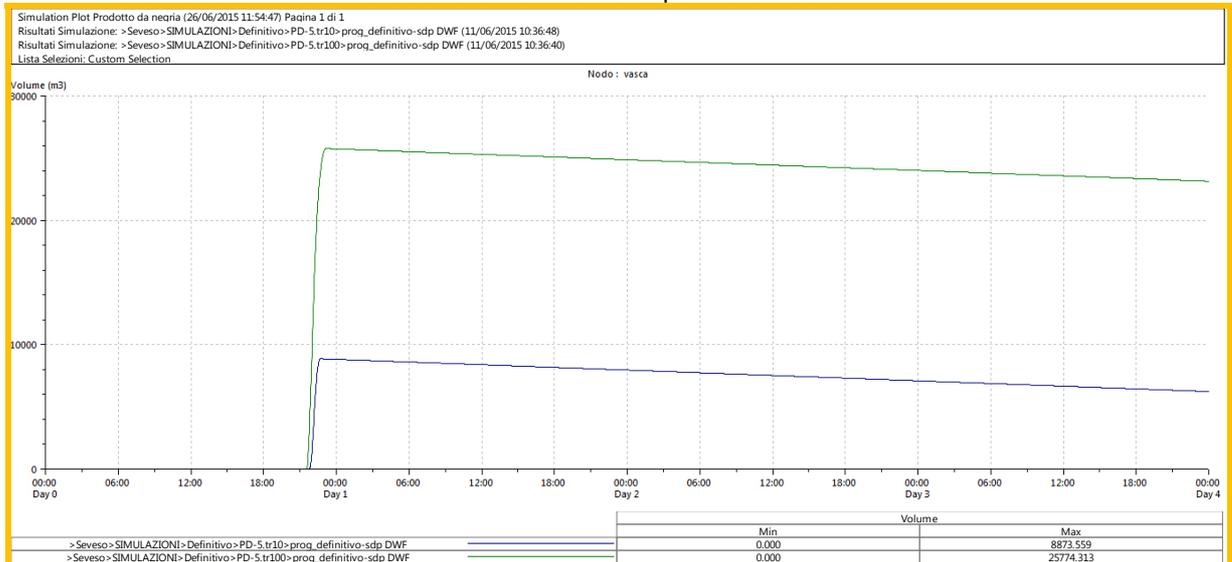
- Idrogrammi in ingresso al bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



• Idrogrammi in uscita dal manufatto di presa del bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



• Volume accumulato nel bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



OSSERVAZIONI: la volumetria del bacino è ampiamente sufficiente ed in grado di contenere esondazioni con tempi di ritorno superiori ai 100 anni.

7.4.4 Scenario di piena finale con variazione di pervietà: scenario 6

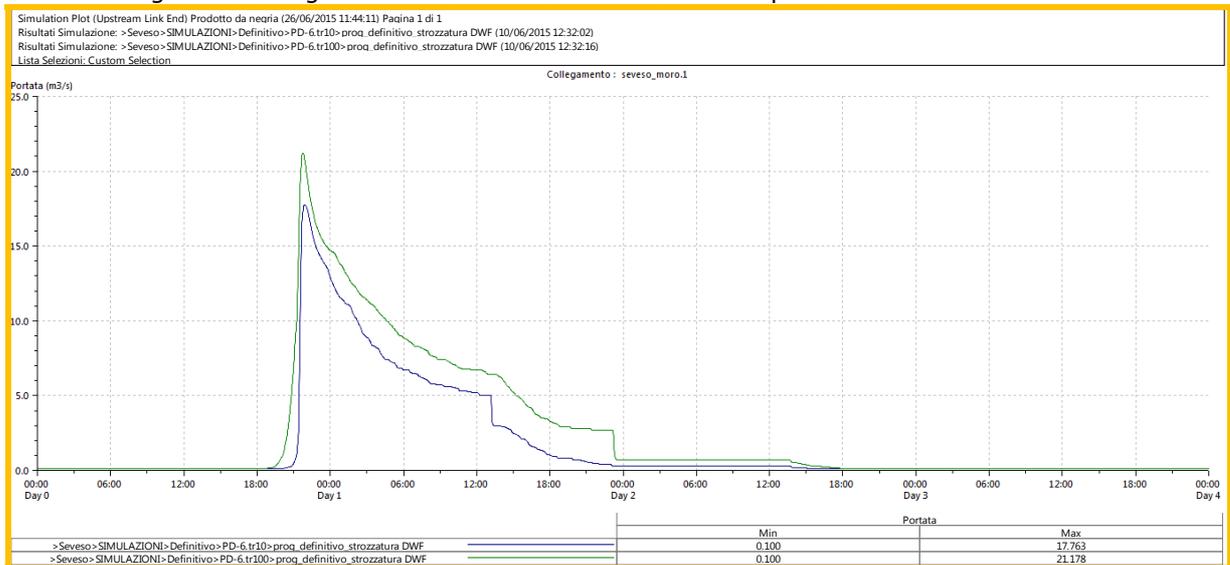
Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo e parziale occlusione della tombinatura del Seveso per eventi con tempi di ritorno di 10 e 100 anni.

Idrogrammi di input:

- Idrogramma nullo a valle del nodo di Palazzolo.
- Deflussi dei bacini gravanti sulla tratta di Seveso Palazzolo-Milano per tempi di ritorno di 10 e 100 anni (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona).

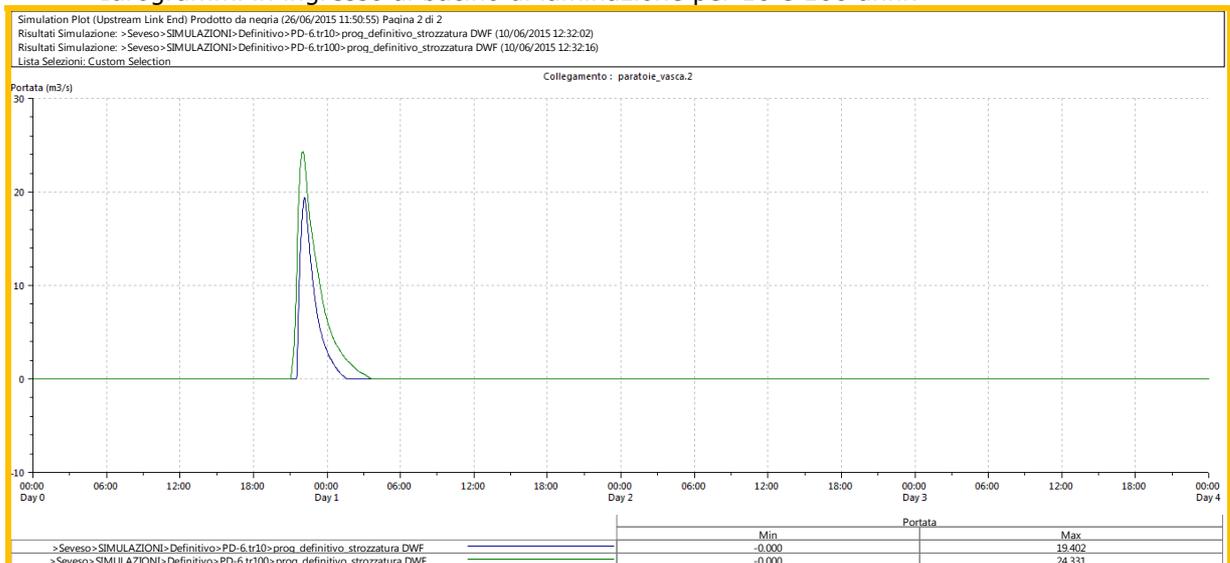
Idrogrammi in output:

- Idrogrammi in ingresso al tratto tombinato del Seveso per 10 e 100 anni:

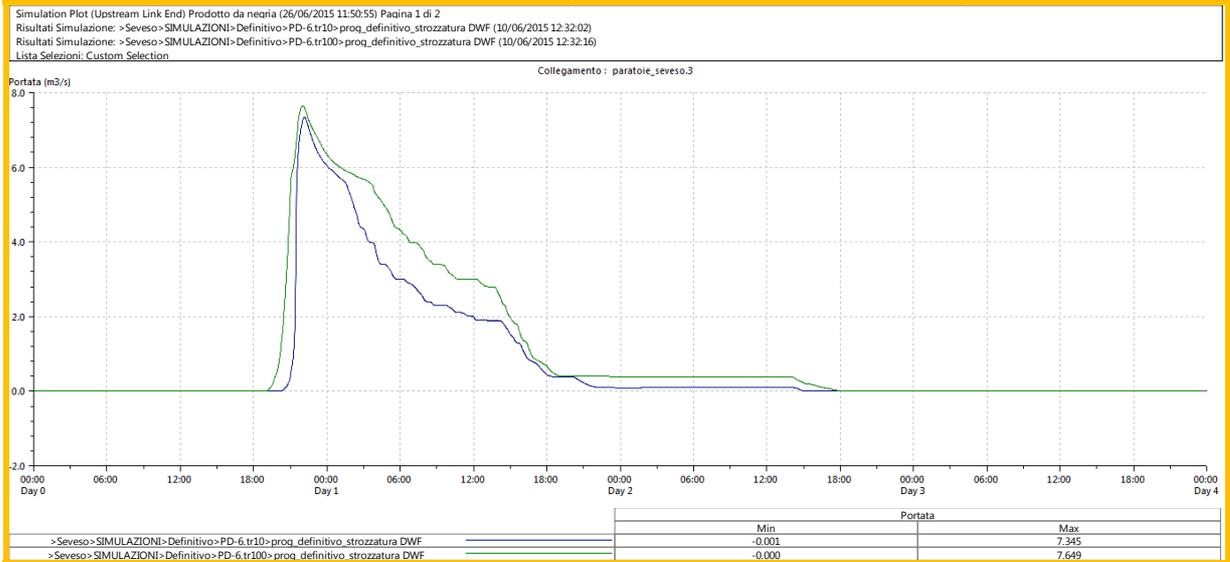


OSSERVAZIONI: l'ampia disponibilità di volume di laminazione presente nel bacino permetterà di gestire anche possibili situazioni di parziale ostruzione della tombinatura del Seveso che ne limitino le portate convogliabili.

- Idrogrammi in ingresso al bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



• Idrogrammi in uscita dal manufatto di presa del bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



• Volume accumulato nel bacino di laminazione per 10 e 100 anni:



7.5 Conclusioni sul dimensionamento della vasca

Le simulazioni relative agli scenari di piena attuali sullo stato di fatto (con opere di mitigazione di carattere più generale completamente assenti), indicato nella relazione come "Scenario 0", confrontate con quelle in presenza della vasca in progetto, situazione indicata in relazione come "Scenario 3", mostrano come la vasca possa eliminare solo gli eventi di minore tempo di ritorno, ovvero quelli più frequenti, mentre l'influenza di tale manufatto per gli eventi maggiori sia estremamente limitata.

La costruzione della vasca di Senago rappresenterà il primo passo verso la soluzione del problema della insufficienza del fiume Seveso e sarà raggiunto nel corso dei prossimi anni. La simulazione del comportamento del sistema dopo la costruzione della vasca di Senago è indicata in relazione come scenario transitorio e viene confrontata tra lo stato di fatto nello "Scenario 1" e lo stato di progetto "Scenario 4". Come si osserva dal confronto tra le due situazioni, con la presenza di entrambe le vasche (Senago e quella in progetto) nella città di Milano si evitano le esondazioni per tempi di ritorno anche superiori a dieci anni: in altri termini, gli allagamenti cittadini avverranno solo in presenza di eventi eccezionali, per i quali la presenza della vasca in progetto continuerà ad avere effetti piuttosto limitati.

Secondo le previsioni dell'Autorità competente, in situazione di regime il fiume Seveso dovrà avere portata nulla a Palazzolo Milanese e raccoglierà solo le acque drenate a valle di questa località fino a Milano, prima di immettersi nel tratto tombinato. La simulazione di questa situazione è di progetto finale è indicata in relazione come finale e simulata per lo stato di fatto, "Scenario 2", e per lo stato di progetto, "Scenario 5", nel quale si è ipotizzata la presenza della vasca in progetto. Si osserva come le esondazioni in Milano sono completamente evitate, anche per gli eventi di maggiore tempo di ritorno.

Infine, per si è considerata nello "Scenario 6" anche la possibile parziale occlusione del canale tombinato, proiettando nello scenario finale il problema attuale del continuo accumulo di materiale trasportato, soprattutto dovuto agli eventi di piena. Come era da attendersi, la presenza della vasca di laminazione in progetto, già essenziale per impedire l'allagamento di Milano per gli eventi di maggiore tempo di ritorno, assume maggiore importanza quando la portata di valle diminuisce, e consente in ogni caso di garantire la protezione della città anche in caso di eventi eccezionali.

In definitiva, le simulazioni idrauliche svolte evidenziano il ruolo della vasca di laminazione in progetto che permetterà di ottenere un'immediata utilità pratica grazie alla laminazione degli eventi di piena più frequenti che provocano le esondazioni a Milano più volte all'anno: tali esondazioni saranno drasticamente ridotte; occorre però riconoscere un impatto limitato della vasca per quello che riguarda gli eventi eccezionali. Nel momento in cui risultino completate le opere in progetto per la messa in sicurezza del fiume Seveso, la vasca di laminazione in progetto sarà parte di un sistema in grado di assicurare la completa protezione della città di Milano dalle esondazioni del Seveso.

7.6 Assetto finale di progetto del sistema Seveso-Martesana-Redefossi

Ai sensi della Direttiva 4 dell'autorità di Bacino del Fiume Po, l'invaso di laminazione in progetto, come tutte le opere di regimazione, contenimento e risistemazione in genere su fiumi e corsi d'acqua, dovrà garantire un assetto idraulico finale rispettoso dei criteri previsti dalla direttiva stessa. In particolare, la funzione principale della vasca di laminazione in progetto è quella di rendere compatibili le portate massime di piena all'interno della tombinatura del Seveso e, più a valle, del Naviglio Martesana e del Cavo Redefossi.

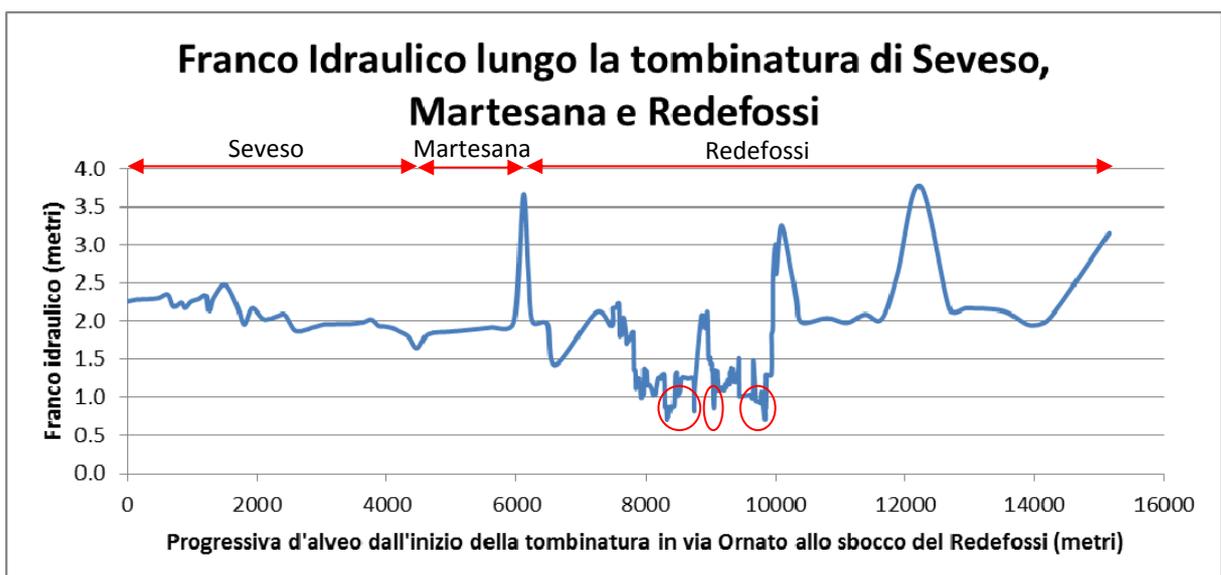
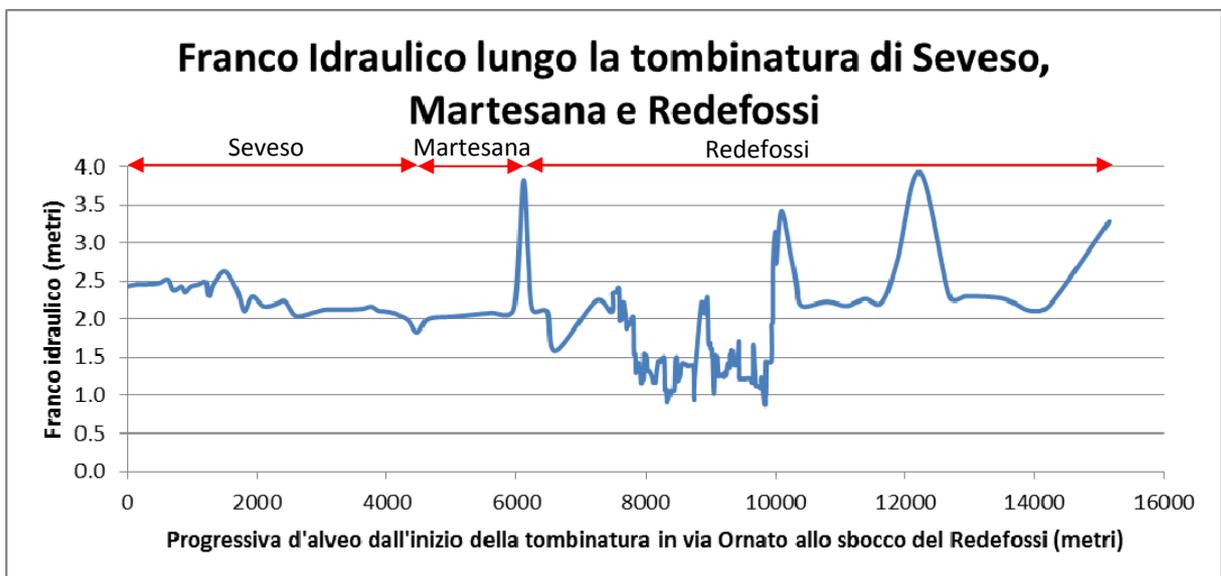
La compatibilità idraulica della tombinatura non può dunque prescindere dall'ottenimento di un franco minimo pari ad 1 metro lungo tutto il tracciato tombinato al di sotto della Città di Milano.

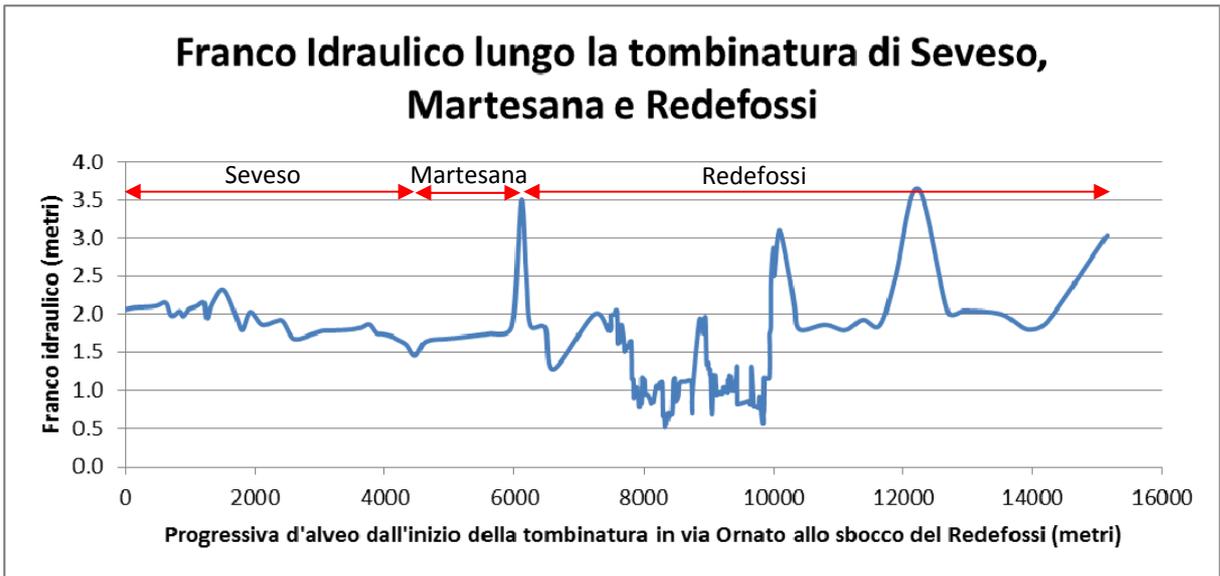
Non essendo oggettivamente possibile adeguare l'intera tombinatura di Seveso, Martesana e Redefossi per ottenere il franco minimo di sicurezza, si è operato "a ritroso", analizzando per quale portata si otterrebbe il rispetto del franco idraulico, valutando comunque la realizzazione di limitati interventi di adeguamento della tombinatura in maniera tale da non ridurre eccessivamente la portata massima compatibile ovvero portare all'insufficienza dell'opera in progetto per eventi con tempo di ritorno centennale e portata nulla a valle del nodo di Palazzolo.

Con l'ausilio del modello matematico già descritto, che comprende tutto il tratto tombinato considerato, è stata condotta una serie di simulazioni eliminando qualsiasi contributo proveniente dai sottobacini di monte ed immettendo in ingresso alla tombinatura una portata fissa. Tra una simulazione e l'altra è stata variata unicamente la portata in ingresso, ottenendo così una serie di profili di moto permanente lungo tutta la tombinatura. La serie di simulazioni è stata condotta considerando inoltre di aver rimosso tutti i sedimenti ed i detriti presenti lungo la tombinatura, in maniera tale da valutare il massimo franco idraulico ottenibile. I sedimenti presenti sul fondo, in particolare nella tratta di tombinatura del Seveso, attualmente funzionano da "regolazione" naturale della portata massima convogliabile anche dal Cavo Redefossi (si rimanda per approfondimento del tema ai capitoli precedenti); futuri interventi di asportazione dei sedimenti potranno dunque essere attuati solo in occasione del riassetto finale del Seveso, ovvero una volta che sarà stato conseguito l'azzeramento delle portate al nodo di Palazzolo.

Essendo note le quote di fondo, la geometria della tombinatura ed i tiranti idraulici nei vari punti grazie al profilo di moto permanente calcolato dal software, è stato redatto un grafico riportante il valore del franco di sicurezza lungo tutta la tombinatura per i tre valori di portata considerati maggiormente significativi (15, 20 e 25 m³/s).

Si riportano di seguito i tre grafici.

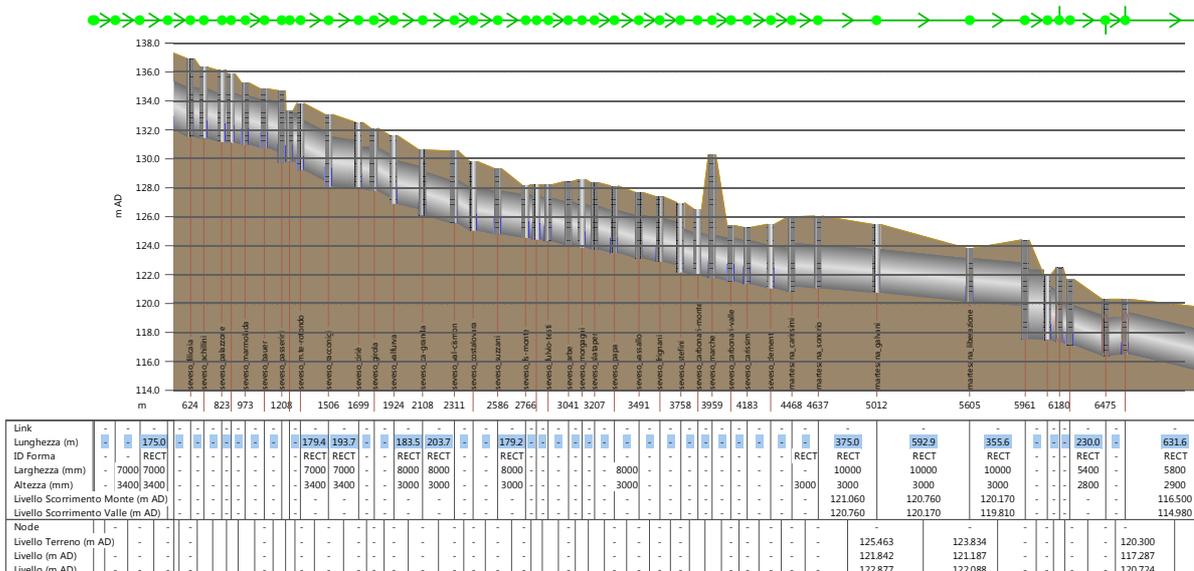




Dal confronto dei tre grafici precedenti si osserva in generale che la tratta più critica è rappresentata dal Cavo Redefossi tra Piazza Oberdan e Piazza Medaglie d’Oro; inoltre, sia per portate di 15 che per 20 m³/s, si individuano unicamente tre punti singolari in cui il franco di 1 metro non è rispettato; al contrario per portate di 25 m³/s, quasi 2 km di Cavo Redefossi non rispetterebbero più il franco minimo necessario.

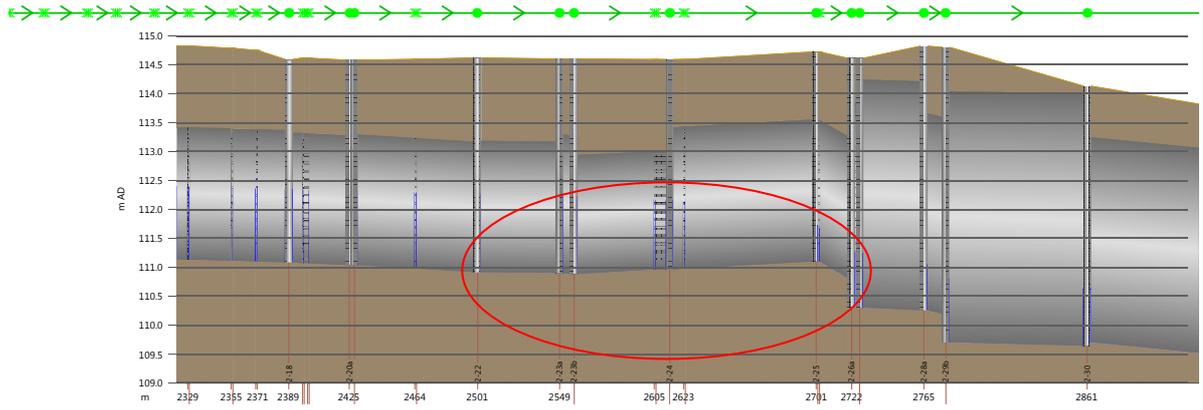
Adottando dunque la portata massima di 20 m³/s quale futura portata limite per la tominatura di Seveso, Martesana e Redefossi, è stato condotto un approfondimento per valutare quali interventi dovranno essere messi in atto per conseguire ovunque il franco di sicurezza necessario.

L’immagine seguente mostra il profilo longitudinale del Seveso e della Martesana fino alla confluenza nel Cavo Redefossi presso Piazza Principessa Clotilde. Questa tratta, a seguito della totale asportazione dei sedimenti ad oggi presenti, rispetterà il franco di sicurezza senza la necessità di ulteriori interventi aggiuntivi.



Profilo longitudinale Seveso e Martesana per porta transitante pari a 20 m³/s

Al contrario, il Cavo Redefossi, in particolare nella tratta tra Piazza Oberdan e Piazza Medaglie d’Oro evidenziata nell’immagine seguente, necessiterà di alcuni interventi di sistemazione qui brevemente presentati.



Link	2-176.1	-	-	-	-	-	2-184.1	2-20b.1	2-20b.2.1	2-22.1	-	2-23b.1	-	-	2-24.2.1	-	2-26b.1	-	2-29b.1
Lunghezza (m)	161	215	19.2	-	24.7	13.4	18.6	-	23.7	35.7	36.1	48.5	47.3	77.3	19.0	38.0	13.0	-	83.5
ID Forma	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ARCHSPRUNG	RECT	RECT	ARCHSPRUNG	ARCHSPRUNG	-	-	-	-	ARCH
Larghezza (mm)	9050	9050	9050	9050	2280	2280	9100	9100	9100	9100	2270	2050	8450	9600	9600	8300	3950	2450	8400
Altezza (mm)	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2240	2250	2250	2270	2050	2050	8450	9600	9600	8300	3950	2450	4350
Livello Scorrimento Monte (m AD)	111.133	-	-	-	111.133	-	111.074	111.040	110.980	110.920	110.900	110.890	110.890	110.984	-	110.300	-	110.700	109.700
Livello Scorrimento Valle (m AD)	111.115	-	-	-	111.115	-	111.040	110.981	110.920	110.900	-	110.957	-	111.110	-	110.260	-	109.650	109.650
Node	-	-	-	-	-	-	-	-	2-22	2-23a	2-23b	-	-	2-24.2	2-25	-	2-28a	2-29b	2-30
Livello Terreno (m AD)	-	-	-	-	-	-	-	-	114.620	114.600	114.600	-	-	114.590	114.720	-	-	114.800	114.130
Livello (m AD)	-	-	-	-	-	-	-	-	112.261	112.226	112.222	-	-	112.133	111.739	-	-	110.796	110.625
Livello (m AD)	-	-	-	-	-	-	-	-	113.483	113.307	113.283	-	-	113.036	112.394	-	-	112.101	111.950

8 CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'OPERA

8.1 Generalità

Le conclusioni che si possono trarre dagli studi fin qui effettuati possono essere riassunte come di seguito riportato.

1. Per il conseguimento di condizioni di sicurezza idraulica in linea con le previsioni del PAI dell'AdbPo, la pianificazione dell'Autorità di Bacino prevedeva la necessità di realizzare sul Seveso a monte di Palazzolo importanti vasche di laminazione e di intervenire anche sulle reti fognarie esistenti a valle del C.S.N.O. riducendo, attraverso sistemi di laminazione posti a monte degli scaricatori in oggetto, il valore della portata entrante in Milano caratterizzata da un tempo di ritorno di 100 anni a 40 m³/s.
2. Le portate collettibili dalla Tombinatura Seveso – Redefossi in Milano sono pari a 40 m³/s come da modellazione matematica, ma la necessità di disporre di un adeguato franco consiglia di adottare ai fini progettuali un valore di 20 m³/s.
3. La pianificazione dell'AdbPo non ha ancora trovato la necessaria attuazione. Gli interventi relativi alle cave Meda / Eges risultano non attuabili per vincoli urbanistici e disponibilità di aree e gli interventi per la realizzazione della vasca di laminazione di Senago devono ancora essere realizzati. Inoltre, non è stato ancora attuato il piano di riduzione delle portate limite scaricate nel Seveso dai reticoli di drenaggio urbano con la riduzione delle portate massime scaricate nella tratta Palazzolo – Milano e la conseguente imposizione delle relative vasche di laminazione in corrispondenza degli scaricatori di piena. I calcoli idrologici di AdbPo confermano che, anche solo per tempi di ritorno di 10 anni, le portate che si generano a valle del manufatto di presa del CSNO sono pari a 46 m³/s e, quindi, superiori alla capacità idraulica della tombinatura Seveso- Redefossi a Milano (pari a 40 m³/s). In altri termini, sussistono pesanti criticità nell'attuazione degli interventi previsti dal piano di Bacino per il fiume Seveso.
4. Le frequenze delle esondazioni del torrente Seveso a Niguarda in Milano sono crescenti e sulla base dell'analisi idrologica ed idraulica effettuata la portata che si forma a partire dagli scaricatori di piena tra Palazzolo e Milano (con portata nulla del Seveso a Palazzolo per la chiusura della relativa paratoia) può determinare da sola delle esondazioni a Milano. Tale analisi del funzionamento ha consentito di definire che gli interventi previsti nella tratta a nord del bacino non potranno essere sufficienti, con riferimento alla configurazione attuale ed eventi con tempi di ritorno pari a 100 anni. Sono pertanto necessari interventi anche nella tratta di valle da Palazzolo a Milano per garantire la difesa idraulica della città di Milano.

L'approfondimento effettuato relativo alla tratta più prossima a Milano, parte dal presupposto che in esito allo studio effettuato da AIPO sia possibile annullare o quantomeno ridurre drasticamente le portate del Seveso a valle della presa del C.S.N.O. Per fare ciò è necessario che sia completato il potenziamento del C.S.N.O. nonché la prevista vasca di laminazione in Comune di Senago. Dovranno essere inoltre realizzate ulteriori vasche di laminazioni più a nord del C.S.N.O.

Agli interventi di laminazione che annullano la portata a Palazzolo devono seguire ulteriori realizzazioni in quanto a valle di Palazzolo si forma una nuova onda di piena non compatibile con le portate che possono transitare nella tratta tombinata sotto la Città di Milano.

Lo studio ha pertanto esaminato questa tratta nonché valutato le possibili soluzioni con riferimento sia alla realizzabilità che all'accettabilità territoriale, individuando la soluzione proposta.

Tale soluzione comporta la formazione di un volume d'invaso artificiale lungo l'asta fluviale, da ubicarsi a nord di Milano subito a monte della tombinatura cittadina. Questa soluzione presenta la criticità di localizzazione dei bacini all'interno di un territorio densamente urbanizzato, la qualità delle acque da invasare e la frequente opposizione da parte delle comunità interessate. Al fine di limitare tali criticità è stata studiata una soluzione innovativa che riduca l'impatto negativo sul territorio.

La vasca è realizzata con fondo impermeabile e ne è previsto il parziale riempimento con acqua prelevata dalla prima falda, realizzando così un laghetto di acqua limpida e pulita nei periodi

“normali” in una parte dell’invaso, comunque rendendo fruibile la restante parte. Nell’avvicinarsi delle piene del Seveso (ormai la meteorologia consente una previsione sufficientemente precisa delle giornate ad alto rischio), il laghetto sarà rapidamente svuotato, con un tempo di svuotamento di poche ore.

Si avrà pertanto un bacino utilizzabile per scolare l’acqua di Seveso. Al termine della piena l’acqua sarà riportata (in parte per gravità ed in parte ripompata) nel Seveso, si ripulirà rapidamente il fondo da eventuali depositi e si ritornerà alla funzione ricreativa dell’area. In sostanza si potrà avere un bacino di acqua pulita per circa 320 giorni l’anno che svolgerà funzioni tecnologiche per i giorni residui.

8.2 Descrizione dell’intervento

L’opera ricade nel territorio comunale di Milano ed utilizza un’area di Parco Nord ora destinata a prato e bosco. L’area si trova all’estremità nord dell’abitato di Milano, in sponda destra del Seveso, ed a poche decine di metri di distanza da quest’ultimo.

L’opera di presa è sita a valle del manufatto sgrigliatore delle acque del Seveso in gestione al Comune di Milano, realizzato negli anni '80, a salvaguardia della tombinatura del Seveso - Redefossi, traendone i relativi benefici gestionali.

Il progetto prevede la realizzazione di un lago alimentato con acque di prima falda completato con una pista manutentiva perimetrale, la salvaguardia del circostante bosco che viene perimetrato e reintegrato con nuove alberature sul lato sud del lago lungo la via Aldo Moro.

Il lago manterrà per circa 320 giorni l’anno la funzione ricreativa - paesaggistica per trasformarsi in bacino di laminazione nel corso degli eventi di piena del torrente Seveso come cassa di laminazione controllata a salvaguardia dell’area urbanizzata.

La “vasca di espansione” prevista ha un volume di laminazione di circa 250’000 m³, ricavabile all’interno del bosco di betulle esistente con adeguate opere di sagomatura, regolarizzazione e sistemazione interna dell’area verde comprensive di nuove estese piantumazioni e realizzazione di pista manutentiva di raccordo con i percorsi interni del Parco Nord Milano. Mediante tale volume di laminazione l’idrogramma di piena del Seveso con TR = 100 anni, riduce la sua portata al colmo da circa 50 m³/s a 20 m³/s.

Le acque del Seveso vengono convogliate in questa “vasca di espansione” direttamente dal manufatto di presa costituito da una sezione di controllo realizzata con due paratoie piane di larghezza 5 metri ed altezza 4 metri ciascuna e da una soglia sfiorante lunga 20 metri in destra idraulica. In concomitanza con il verificarsi della massima soglia di allarme in via Valfurva a Milano, si procederà al controllo del deflusso dalle due paratoie con la drastica riduzione delle portate ad un valore compatibile con la massima transitabile in Comune di Milano.

Le acque del Seveso, invasate nella cassa di espansione, verranno successivamente restituite al Seveso tramite una condotta di restituzione a gravità ovvero alimentata da un impianto di pompaggio, per la parte della vasca al di sotto del piano di scorrimento del Seveso (e che quindi non consente di scaricare a gravità nel Seveso le acque invasate).

In caso di eventi meteorici estremi che comportino l’esaurimento del volume di laminazione disponibile all’interno della vasca, le paratoie poste a monte della soglia sfiorante verranno chiuse, escludendo di fatto il bacino dal Seveso, e contemporaneamente saranno aperte le due paratoie di controllo sul Seveso che permetteranno la ripresa del deflusso verso valle delle acque al fine di evitare la tracimazione delle sponde del bacino artificiale.

Le opere principali previste per realizzare questo intervento sono le seguenti:

- Opera di presa dal torrente Seveso, posta a quota 138.00 m s.l.m., costituita da due paratoie di regolazione del Seveso, due paratoie di carico del bacino, una soglia sfiorante fissa in sponda destra del torrente ed una paratoia di svaso del bacino di carico della soglia sfiorante. La limitazione delle portate del Seveso a valle dell’opera di presa, sarà ottenuta tramite la manovra di due paratoie che saranno installate sul Seveso poco a monte della

soglia sfiorante. Le paratoie in parola dovranno essere manovrate in maniera tale da creare sulla soglia sfiorante un tirante che consenta lo sfioro verso il bacino di laminazione delle portate in eccesso rispetto al valore limite prefissato per il tronco di Seveso a valle. Il sistema paratoie di regolazione – sfioratore – vasca e relativo sistema di svuotamento sarà controllato da un dispositivo automatico regolato dagli idrometri posti lungo il Seveso, all'interno del bacino e dall'idrometro del Seveso in via Valfurva (Comune di Milano), tale da permettere la maggiore flessibilità possibile di funzionamento nei confronti dei diversi eventi di piena;

- Scavi, riempimenti, profilature di scarpate, impermeabilizzazioni di fondo e pareti, sistemazioni varie all'interno della attuale area del Parco Nord per renderla in grado di invasare in condizioni di sicurezza fino ad un massimo di 250'000 m³ di acque di piena del Seveso a scopo di laminazione;
- Impianto di pompaggio e condotta di scarico delle acque invasate per lo svuotamento e la restituzione al Seveso del volume laminato (portata di progetto 2.0 m³/s, prevalenza pompe 8 -10 m, svuotamento della cassa di espansione in circa 34 h e 45 min);
- Impianto di svuotamento del lago dalle acque di falda con restituzione in Seveso mediante l'utilizzo della medesima stazione di pompaggio per lo svuotamento dell'intero invaso;
- Pista di servizio e manutenzione del lago / cassa di espansione carrabile;
- Pozzi di alimentazione del lago con acque di prima falda (7 pozzi);
- Percorso manutentivo comprensivo di parapetti in legno, opere di sistemazione esterna, inserimento ambientale, nuove piantumazioni, etc.

Occorre sottolineare che la posizione individuata per l'opera di presa è situata più a monte rispetto agli ultimi due scarichi di acque meteoriche gravanti sul Seveso, ovvero lo scarico del canale Breda e lo scarico del depuratore di Bresso. Ad oggi il funzionamento di tali scarichi in condizioni di piena risulta rigurgitato dai livelli presenti in Seveso mentre, una volta realizzata la laminazione oggetto del presente progetto, questi scarichi dovranno essere regolati in maniera tale che le portate in uscita dal manufatto di presa del bacino sommate a questi ultimi scarichi saranno compatibili con il corso d'acqua recettore di valle.

Nella scheda tecnica riassuntiva, che illustra l'intervento in esame, sono sintetizzati i dati tecnici, le caratteristiche e le dimensioni principali delle opere considerate.

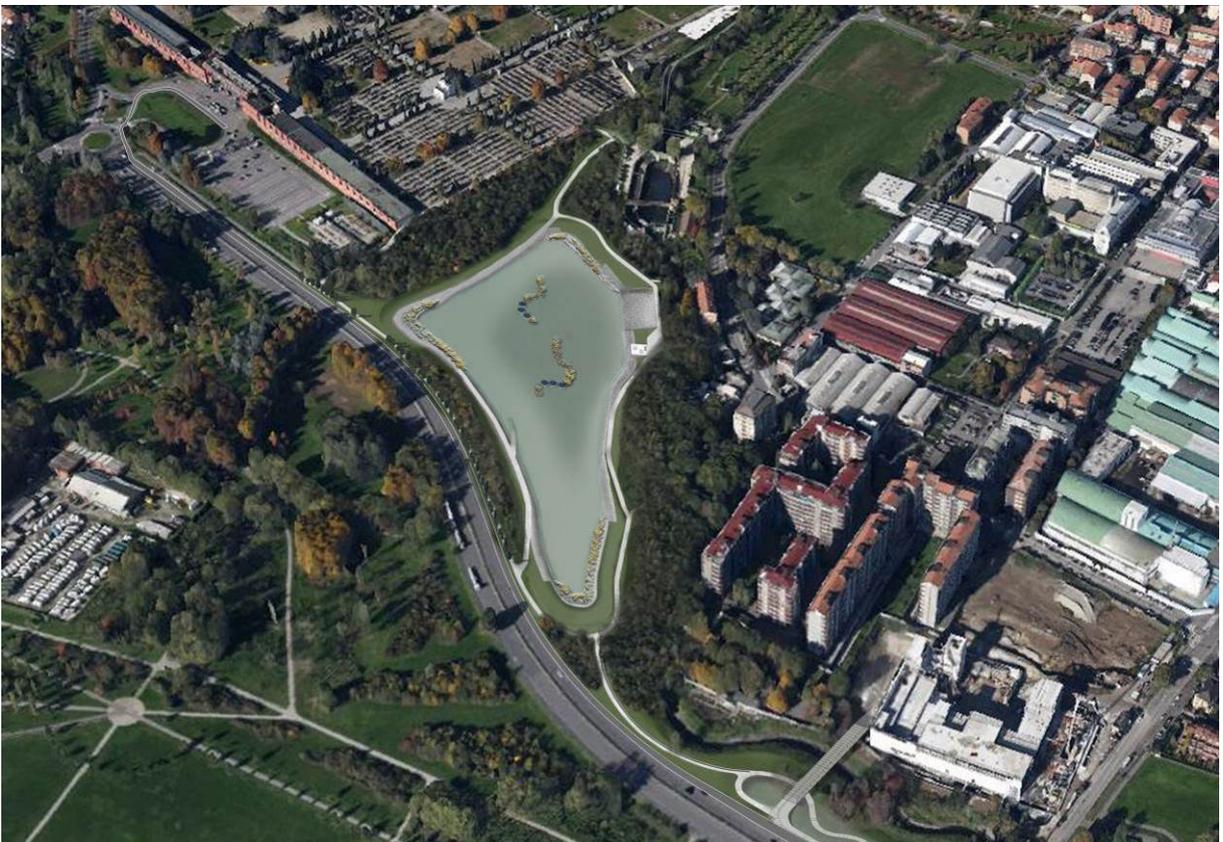
SCHEDA TECNICA

Ubicazione	Comune di Milano
Volume di laminazione	250'000 m ³
Opera di presa	costituita da una sezione di controllo sul Seveso e da una soglia sfiorante in sponda destra
Condotta di restituzione	Scatolare 2 x 1.5 m
Prevalenza media impianto di pompaggio per svuotamento vasca	8 m
Quota media del p.c. circostante	140.4 m s.l.m.
Profondità massima raggiunta dagli scavi	12 m
Situazione futura	Laghetto

Progetto laminazione parco nord Milano – stato di fatto



Progetto laminazione parco nord Milano – progetto



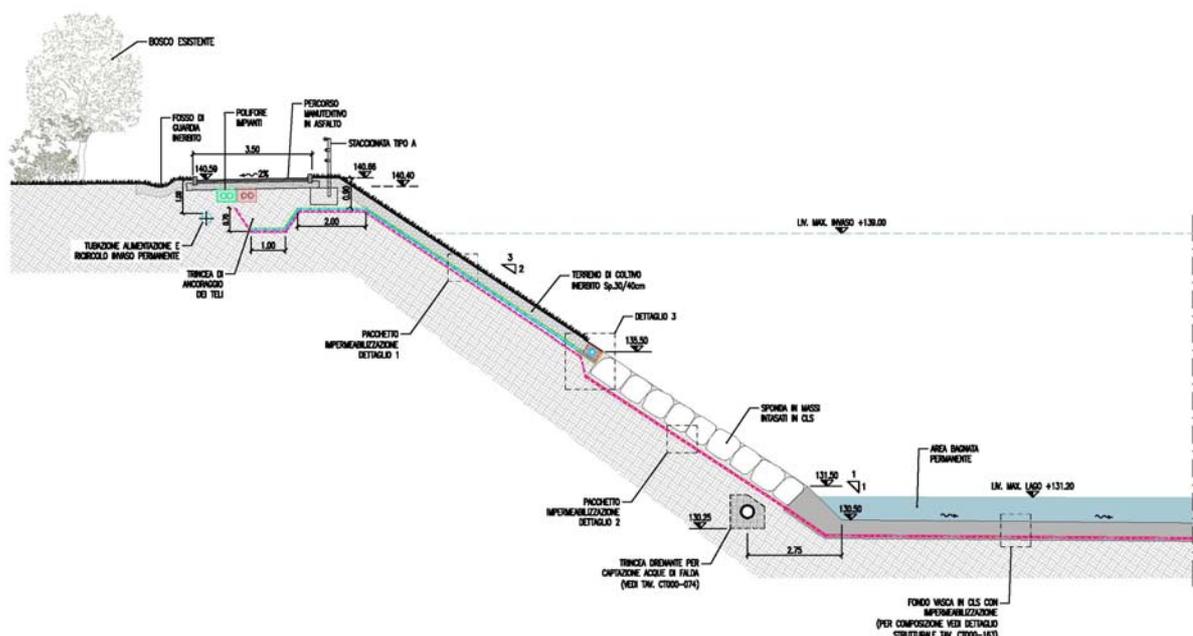
8.3 Caratteristiche delle sezioni tipologiche spondali della vasca

L'intero invaso di laminazione è ricavato in scavo: la quota di massimo invaso è infatti ovunque inferiore al piano campagna.

Le caratteristiche realizzative delle opere spondali differenziano l'invaso in tre settori distinti:

- **FONDO:** area occupata dal laghetto permanente: il fondo è costituito da una platea in calcestruzzo; al di sotto della platea è presente un telo in HDPE che garantisce l'isolamento delle acque invasate da quelle di falda, il tutto posato su un letto di magrone; la platea di fondazione si estende sulla prima parte di sponda fino alla quota 131.5 m s.l.m. al fine di contenere totalmente il laghetto permanente;
- **SPONDA IN SCOGLIERA:** la porzione bassa della vasca, dalla quota 131.5 m s.l.m. per un'altezza di 4 metri ovvero fino a quota 135.5 m s.l.m. è rivestita con una scogliera in massi cementati con telo in HDPE posato a tergo; la scelta di realizzare la parte bassa dell'invaso in massi è stata dettata dalla necessità di assicurare un'alta resistenza all'erosione dell'acqua durante le fasi di riempimento e svuotamento dell'invaso (più frequenti nella porzione più bassa della vasca in caso di eventi di media intensità) ed offrire una superficie lavabile anche con getti d'acqua in pressione durante le operazioni di manutenzione dell'invaso; appunto questa necessità manutentiva ha indotto a scartare soluzioni di ingegneria naturalistica che avrebbero potuto prevedere l'intasamento dei massi con terreno vegetale: si è infatti voluto ovviare al rischio che le operazioni di lavaggio e le rapide variazioni di livello idrico potessero dilavare il terreno di intasamento rendendo instabile il posizionamento dei massi con ovvie ricadute negative sulla durabilità dell'opera e sulla sicurezza delle viabilità di accesso interne;
- **SPONDA IN TERRA:** la porzione alta della vasca, dalla quota 135.5 m s.l.m. per un'altezza di circa 4.9 metri ovvero fino a quota 140.4 m s.l.m. è realizzata con terreno vegetale; la resistenza allo scivolamento del terreno è garantita da una geostuoia rinforzata con rete metallica, il drenaggio è assicurato da un geocomposito drenante e l'isolamento delle acque invasate dalle acque di falda è ottenuto sempre con il telo in HDPE.

Sezione tipologica spondale



Le sponde dell'invaso sono inoltre attraversate da stradelli che svolgono la funzione di accesso al fondo durante le operazioni di manutenzione e permettono la fruibilità dell'area durante il periodo

di tempo asciutto. Gli stradelli sono realizzati in asfalto al fine di garantire una sufficiente resistenza ai cicli di funzionamento dell'invaso.

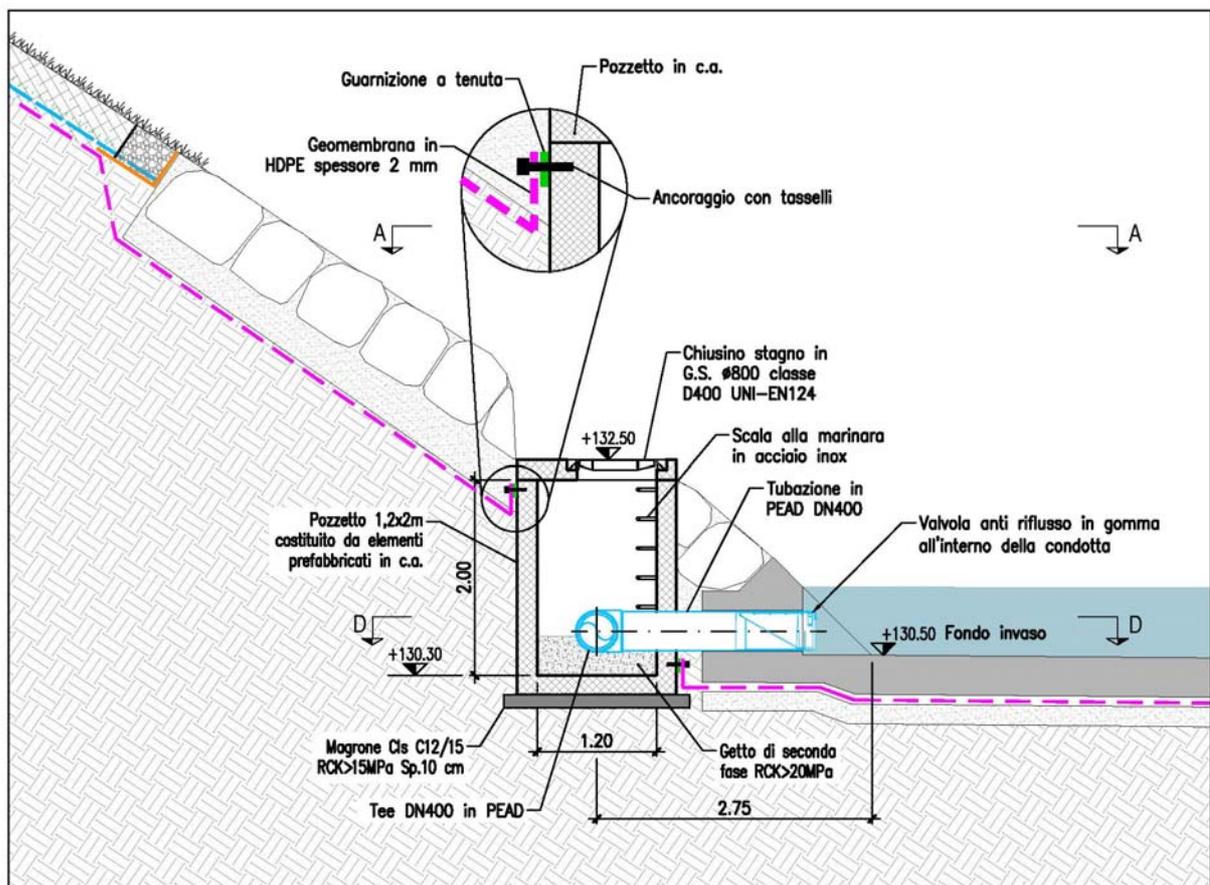
8.3.1 Sistema di prevenzione dalle sottospinte in caso di risalita della falda

Le indagini idrogeologiche hanno indicato che il livello della falda di riferimento si attesta alla quota di 126.5 m s.l.m. mentre, nelle vicinanze del Seveso può localmente raggiungere quota 130.5 m s.l.m.

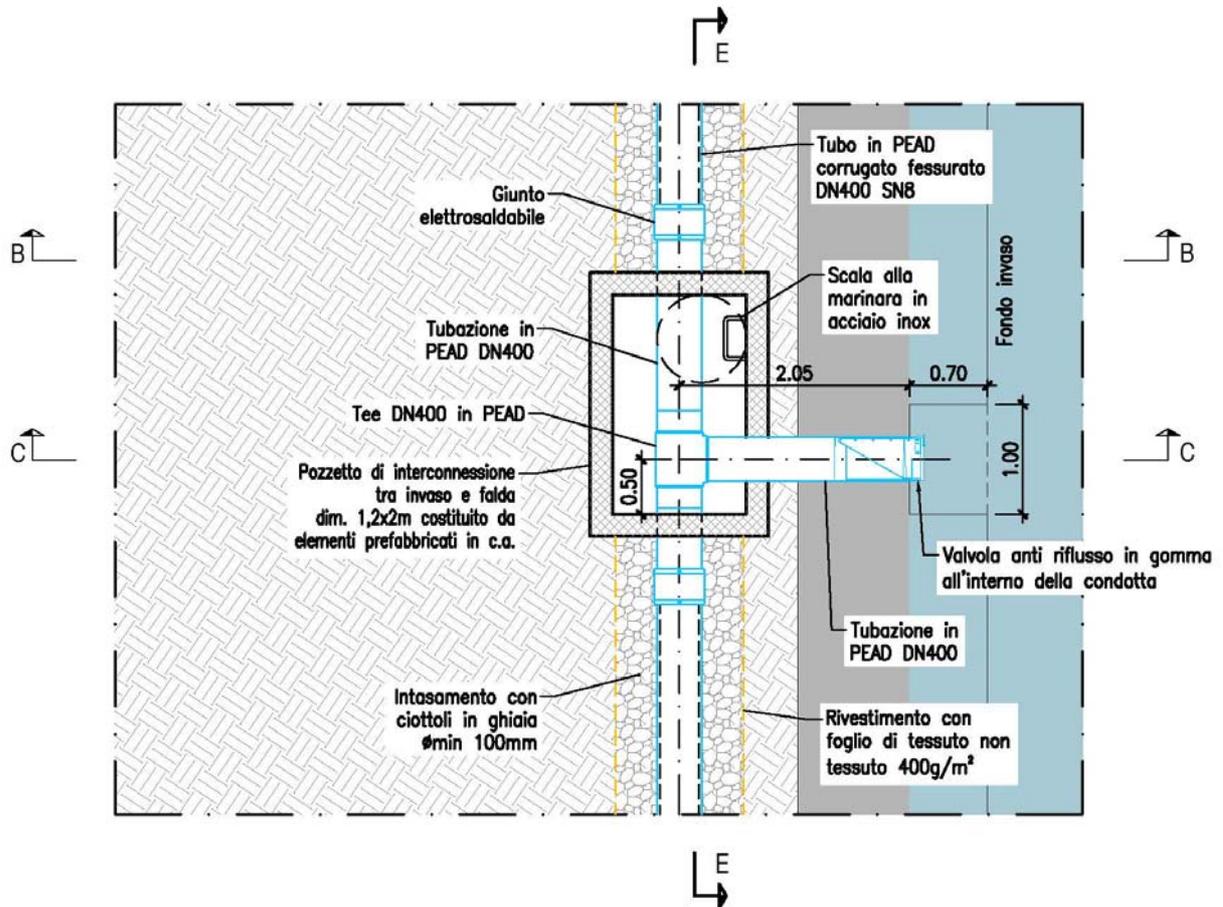
Nell'eventualità che la parte finale della vasca presenti interferenze con la prima falda durante la vita dell'opera a causa di sensibili incrementi dei livelli di falda, è fondamentale garantire l'assenza di eccessive sottospinte sulla platea di fondo; a tal fine l'invaso è stato dotato di un sistema che intercetta le acque di falda ad un livello pari alla quota di fondo, veicolandole all'interno della vasca in maniera tale da equiparare i livelli idrici ovvero evacuare le acque verso il manufatto di scarico durante le operazioni di manutenzione.

Il sistema è costituito essenzialmente da un dreno in ghiaietto dotato di una tubazione corrugata microforata posta alla base della sponda dell'invaso e che corre lungo tutto il perimetro dell'opera. Ad intervalli di circa 50-70 metri sono presenti dei manufatti che permettono di scaricare le acque di falda eventualmente captate all'interno dell'invaso. Tali manufatti sono dotati di clapet che assicura l'unidirezionalità del flusso (dalla falda alla vasca), impedendo inaccettabili reflussi delle acque invase verso i tubi drenanti.

Manufatto di interconnessione vasca-falda - sezione

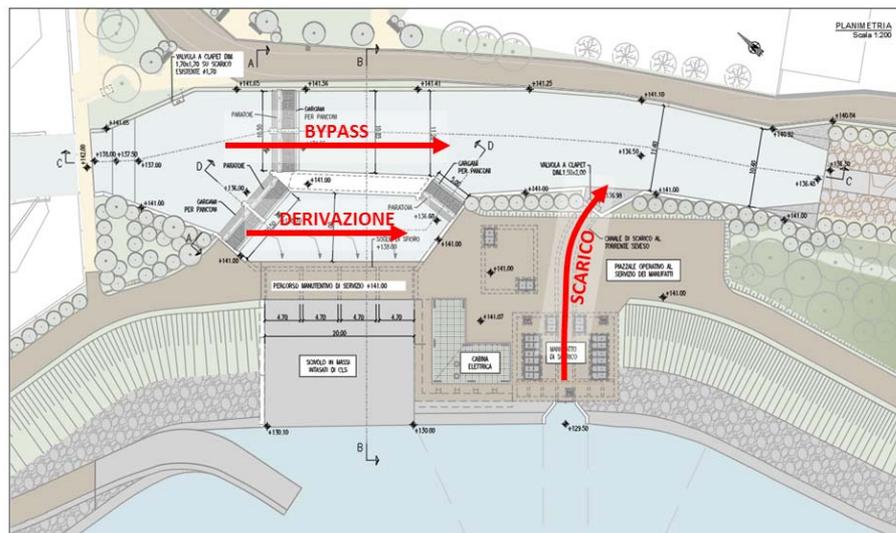


Manufatto di interconnessione vasca-falda - pianta



8.4 Dimensionamento idraulico dei manufatti

Il dimensionamento e la verifica dei vari manufatti idraulici e dell'intera opera è stato condotto con l'ausilio del software di modellazione matematica Infoworks ICM; ai fini di un pre-dimensionamento di massima dei manufatti e di un controllo dei risultati delle simulazioni condotte, i manufatti sono stati verificati con l'ausilio di formule idrauliche di uso consolidato in letteratura.



8.4.1 Dimensionamento canali di derivazione, di scarico vasca e canale di bypass

Il canale di derivazione è il canale che deriva l'acqua del Seveso verso la vasca di laminazione. Attraverso la regolazione delle paratoie del manufatto di sbarramento a monte della vasca, manovrando solo le due paratoie lato Seveso e lasciando completamente aperte le paratoie lato vasca, è possibile derivare in vasca la maggior parte dell'idrogramma di piena al di sopra della soglia di taglio delle paratoie (che andremo a specificare meglio nel seguito) e lasciare effluire verso Milano un'onda di piena laminata.

Il canale di derivazione è largo circa 9 metri e lungo 25 metri, ha pendenza pari a 0.5% e termina con una paratoia di regolazione che deve essere completamente chiusa in caso di normale esercizio della vasca (sia in fase di riempimento sia svuotamento della vasca) e che può essere aperta ai fini di lavaggio del canale di derivazione stesso, scaricando così fino a circa 50 m³/s in Seveso senza attivare la soglia di sfioro verso la vasca (calcolata in moto uniforme, $k_s=60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), per cui di capacità maggiore rispetto alla massima portata compatibile con la tombinatura di Milano.

Pare opportuno sottolineare che in fase di costruzione del manufatto di presa il canale di derivazione sarà in grado di smaltire una portata compatibile con la tombinatura esistente di valle del Seveso, senza comportare esondazioni nella adiacente vasca di laminazione in fase di costruzione.

Il canale di bypass della vasca è largo circa 10 metri e lungo circa 70 metri, ha pendenza pari a 0.1%. Nel caso le paratoie siano aperte 1 metro, può passare senza risentire delle paratoie una portata pari a circa 16 m³/s. Nel caso le paratoie siano completamente aperte, (il che delinea un possibile scenario di emergenza in cui la vasca è fuori servizio) il canale consente di far passare una portata di 40 m³/s con un tirante pari a 1.77 m (e franco idraulico di 2.4 metri); in caso di portate maggiori, il canale ha una portata massima di 85 m³/s con un tirante pari a 3 m (1 metro di franco idraulico) per cui se dovesse arrivare la portata massima prevista T100 il canale ce la farebbe, tuttavia tale massima portata non essendo compatibile con la tombinatura del Seveso nella tratta Milanese creerebbe una situazione di rigurgito e quindi di esondazione del tutto identica all'attuale scenario di stato di fatto senza vasca.

Il canale di scarico della vasca è una condotta scatolare di sezione rettangolare 2,0 m x 1,5 m lunga circa 15 metri, ha pendenza pari a 0.1%. Questo canale può essere alimentato a gravità finché il livello di invaso nel bacino di laminazione è superiore alla quota di 137 m slm; per svuotare il restante volume di invaso - previa chiusura della paratoia di alimentazione del canale dalla vasca - il canale di scarico riceverà la portata sollevata dal gruppo di pompe del manufatto di scarico.

La portata massima di alimentazione del canale di scarico corrisponde a 2 m³/s (5 pompe attive da 400 l/s), la portata minima a 400 l/s (1 sola pompa in funzione).

In moto uniforme il canale di scarico riuscirebbe a smaltire la massima portata di alimentazione (2m³/s) con un grado di riempimento pari a 0.53 e tirante 0.80 m.

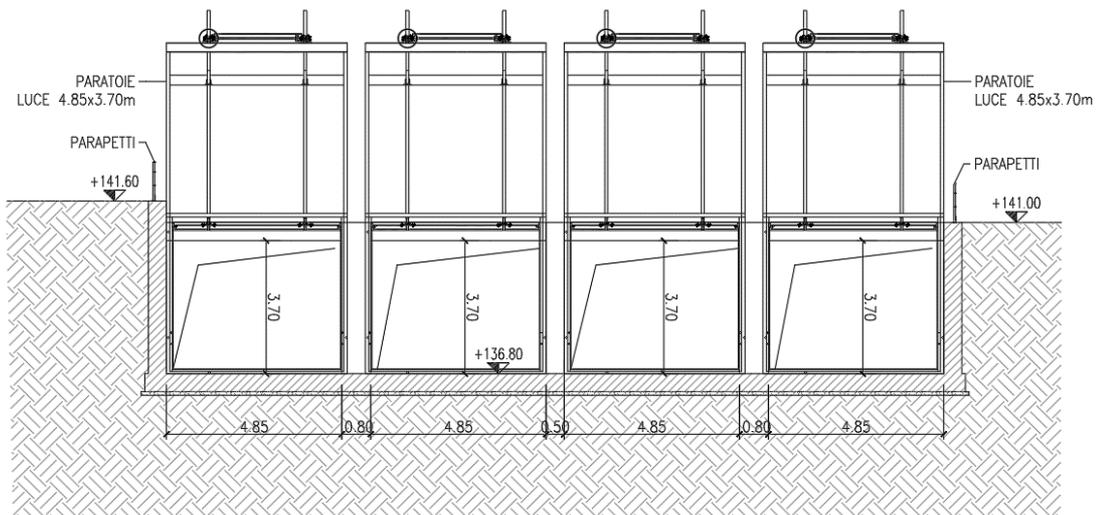
La sezione terminale del canale di scarico è dotata di valvola a clapet affinché non la corrente non possa entrare dal Seveso verso la vasca attraverso il canale di scarico, inoltre tale valvola dovrà essere in grado di aprirsi per un battente idrico di 50-100 mm. Per ulteriori dettagli sulle specifiche tecniche si rimanda al capitolo tecnico degli impianti meccanici CT 1033.

Lo scarico entrerà in funzione solo dopo il passaggio dell'onda di piena, che guardando gli idrogrammi di progetto T10 e T100 al capitolo 7.4 si esaurisce nel giro di qualche decina di ore; al fine di garantire la capacità di scarico del suddetto canale verso il Seveso, la sezione di sbocco presenta un salto di circa 50 cm rispetto al fondo del Naviglio (che corrisponde ad una portata di moto uniforme nel Seveso di circa 5 m³/s - superiore alla portata di magra per quella sezione, che si attesta pari a circa 2.6 m³/s - si veda cap.12).

8.4.2 Dimensionamento e regolazione paratoie di carico del bacino di laminazione

La sezione di controllo lungo il Torrente Seveso è costituita da due paratoie piane a strisciamento verticale ciascuna di larghezza pari a 4.85 metri ed altezza pari a 3.70 metri. La completa apertura delle paratoie garantisce una sezione libera per il deflusso delle acque di poco superiore alla sezione attuale dell'alveo, assicurando dunque l'assenza di perdite di carico significative in caso di piena che possano alterare il profilo idrico a monte del manufatto per eventi con tempo di ritorno superiore a quanto previsto per il bacino.

L'apertura completa di tali paratoie è prevista unicamente in caso di raggiungimento del livello di massimo invaso nel bacino di laminazione; in tutte le altre situazioni, le paratoie saranno regolate con un grado apertura tale da permettere il transito verso valle di una portata massima compresa tra 6 e 24 m³/s che, con l'aggiunta delle portate scaricate dagli ultimi due scaricatori a valle del bacino di laminazione, portano al raggiungimento della portata massima ammessa nella tombinatura del Seveso, ovvero pari a circa 35-40 m³/s in assetto transitorio e pari a 20 m³/s in assetto finale.



Per la definizione del grado di apertura a cui tali paratoie saranno regolate può essere applicata in prima approssimazione l'equazione di efflusso libero da luce a battente con contrazione della vena liquida.

L'equazione d'efflusso della paratoia è:

$$Q = \mu \cdot d \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (h_m - C_c d)}$$

$$\mu = C_c \cdot C_v$$

Occorre inoltre verificare che effettivamente l'efflusso sia libero, vale a dire che il risalto non sia sommerso, confrontando la spinta della sezione contratta con la spinta di valle.

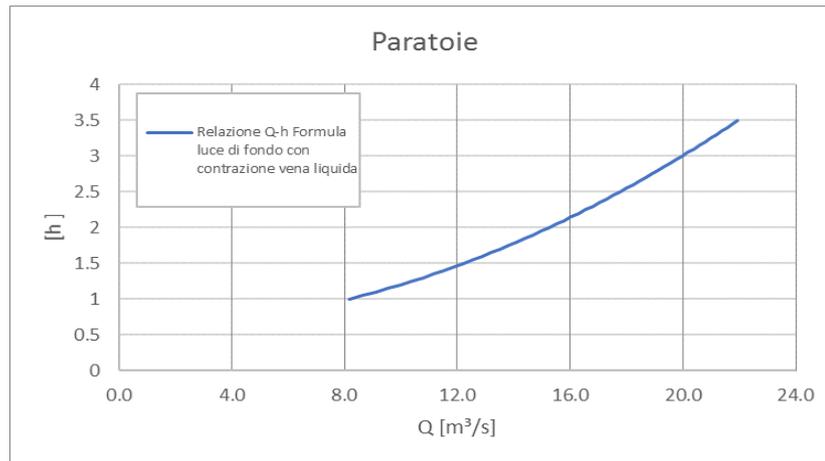
$$S_{par} = 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot (C_c \cdot d)_{par}^2 \cdot A_{par} + \rho \cdot \frac{Q^2}{C_c \cdot d \cdot B} \right) \geq S_{valle}$$

$$= \frac{1}{2} \gamma \cdot h_{valle}^2 \cdot A_{valle} + \rho \cdot \frac{Q^2}{A_{valle}}$$

Nel caso prevalga la spinta di valle, la descrizione dell'efflusso da paratoia piana si trasforma nella seguente equazione:

$$Q = \mu \cdot d \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (h_m - h_v)}$$

Assegnando alla sezione di efflusso una larghezza B pari a 4.85 metri ed un'apertura d pari ad 1 metro e considerando un coefficiente di efflusso $\mu = 0.6, C_c = 0.61, C_v = 0.92$ si ottiene la seguente curva di efflusso.



Dunque, regolando le paratoie con apertura pari a circa 1 metro, si ha dunque la portata effluente di inizio del funzionamento a battente sarà pari a circa 16 m³/s.

Si ottiene che il funzionamento idraulico passerà a battente per tiranti idrici superiori pari ad 1 metro.

Negli scenari di progetto (scenario 5 e 6) dove a Milano la massima portata del Seveso è rispettivamente 40 m³/s e 20 m³/s, la regolazione delle paratoie prevede che siano entrambe aperte con luce 1 metro nello scenario 5 e luce 0.3 nel caso dello scenario 6 (oppure meglio 1 sola aperta con apertura 0.5).

In entrambi gli scenari, l'efflusso è verificato essere libero poiché la spinta del profilo di corrente veloce sotto la paratoia è superiore alla spinta della corrente lenta di valle.

Scenario P5 confronto spinte (Q40 a Milano): 2 paratoie aperte 1 metro										
	h	B	A	P	R	K_s	pendenza	V	Q	Spinta
	m	m	m ²	m	m	m ^{1/3} /s	%	m/s	m ³ /s	kN
Monte	1.520	10.00	15.20	13.04	1.1656	60	0.8	1.58	24	210
Paratoia	0.600	10.00	6.00	11.20	0.5357	60	0.8	4.00	24	107
Valle	0.920	10.00	9.20	11.84	0.7770	60	0.8	2.61	24	101

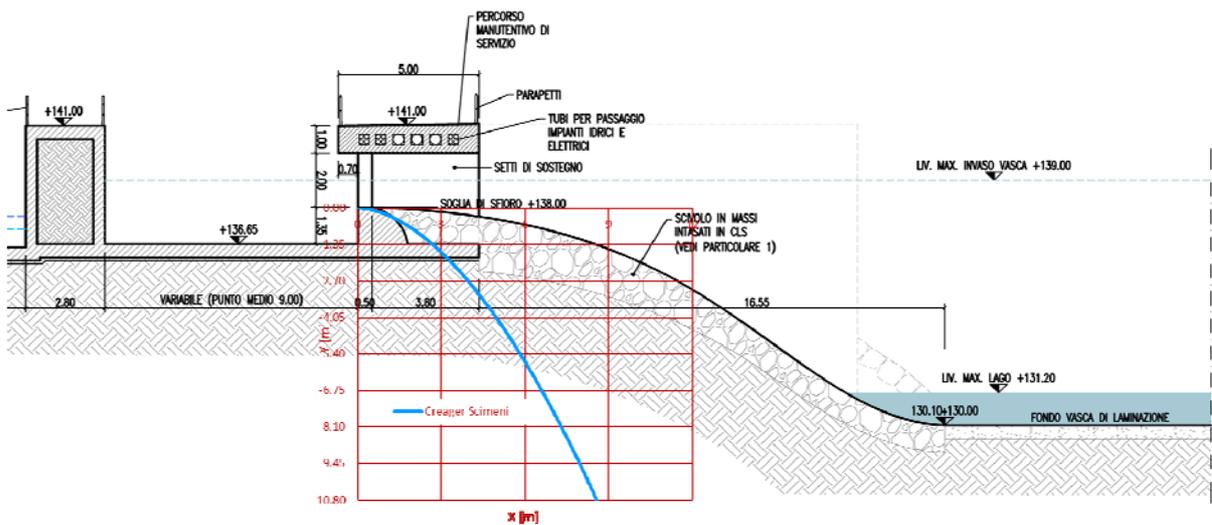
Scenario P6 confronto spinte (Q20 a Milano): 1 paratoia aperta 0.5										
	h	B	A	P	R	K_s	pendenza	V	Q	Spinta
	m	m	m ²	m	m	m ^{1/3} /s	%	m/s	m ³ /s	kN
Monte	1.970	10.00	19.70	13.94	1.4132	60	0.8	0.41	8	378
Paratoia	0.300	5.00	1.50	5.60	0.2679	60	0.8	5.33	8	43
Valle	0.470	10.00	4.70	10.94	0.4296	60	0.8	1.70	8	19

8.4.3 Dimensionamento soglia di sfioro

Il bacino di laminazione è alimentato da una soglia di sfioro che si attiva per livelli idrici a monte della paratoia di regolazione sul Seveso pari a 138.0 m slm, ovvero al livello per il quale tale paratoia di regolazione entra in funzionamento sotto battente.

Il petto della soglia di sfioro è alto 1.35 m rispetto al fondo del canale, quindi sulla soglia di sfioro ci sarà un tirante pari a quello nel canale diminuito del petto. Il massimo tirante compatibile con la soglia di sfioro e la geometria delle paratoie è pari a circa 2 metri, pari cioè alla differenza tra il massimo pelo libero sul canale (139.4 m slm massimo invaso) e la quota del petto di sfioro (138 m slm - massima regolazione). Tale massima altezza sulla soglia di sfioro è compatibile con l'intradosso del percorso manutentivo al di sopra della soglia di sfioro stessa (140 m slm).

Il profilo della rampa è più dolce di un profilo Creager-Scimemi al fine di evitare il verificarsi di pressioni negative al di sotto della vena effluente e quindi il fenomeno di attacco e stacco di quest'ultima sul paramento (si veda figura sottostante).



Il battente massimo sulla soglia di sfioro è pari a circa 2 metri, ne consegue un valore di portata massima che lo sfioratore è in grado di convogliare verso il bacino di alimentazione calcolabile mediante la ben nota formula dello sfioratore libero:

$$Q = \mu \cdot l \cdot h \sqrt{2 g h}$$

La lunghezza efficace della soglia di sfioro può essere calcolata come:

$$L_{eff} = L - [N \cdot L_p + 2 \cdot (N \cdot k_p + k_a) \cdot h]$$

$$L_{eff} = 21 - [3 \cdot 0.4 + 2 \cdot (3 \cdot 0.1 + 0.1) \cdot (2)] = 18.2 \text{ m}$$

Dove,

L=21 m, lunghezza soglia di sfioro;

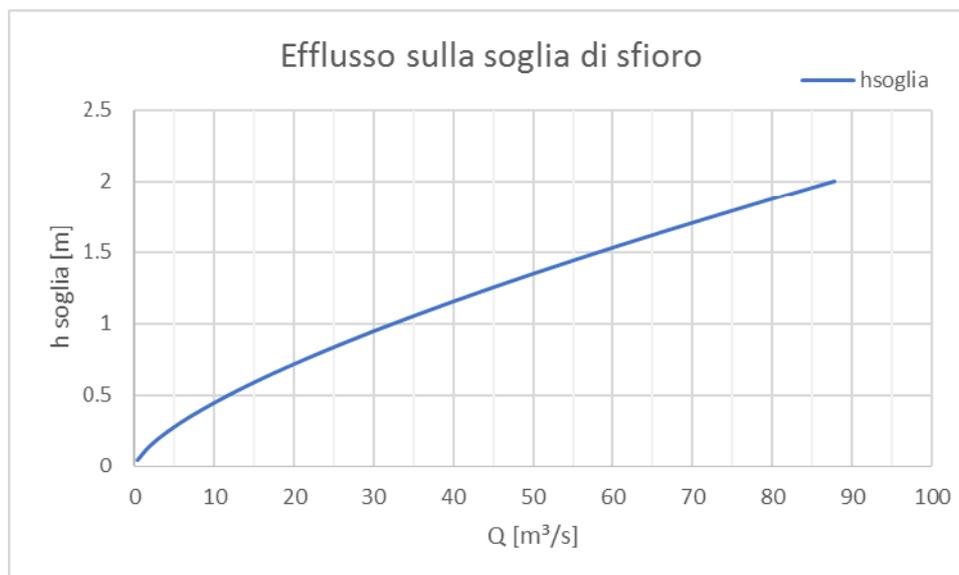
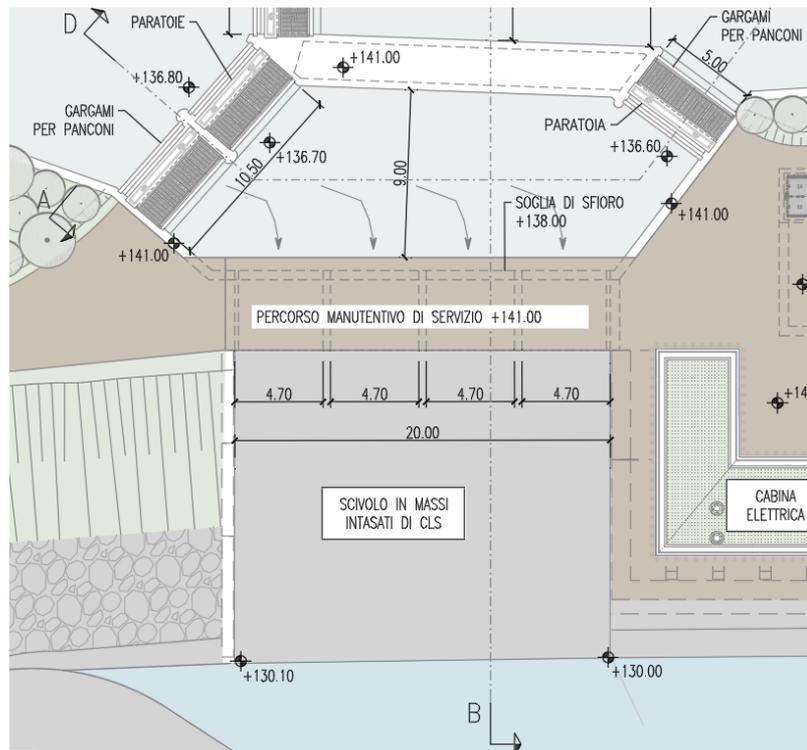
N=3, numero di pile;

L_p=0.4, larghezza pile;

k_p=coefficiente di contrazione dovuto alle pile; k_a= coefficiente di contrazione dovuto alle spalle (per entrambi si può assumere: 0.1 spigolo vivo, 0.05 spigolo arrotondato, 0 se a ogiva).

h= 2, massimo battente sullo stramazzo.

Assegnano allo sfioratore lunghezza efficace pari a 18.2 metri si assicura, con battente sullo sfioro di 2 metri e considerando un coefficiente di efflusso $\mu = 0,385$, una capacità di smaltimento di circa 90 m³/s, adeguata a sfiorare la massima portata in arrivo da monte (42 m³/s).



Si riporta a titolo esemplificativo il caso dello scenario di progetto transitorio P4 : vasca di Senago attiva e idrogramma di piena T100.

In questo scenario la massima portata scaricata dallo sfioratore verso la vasca è pari a $42 \text{ m}^3/\text{s}$, e il livello di massimo invaso previsto è 139.40 m slm (nello scenario definitivo sarà invece 139 m slm).

Il livello massimo di invaso dalla vasca in questo scenario è pari a 139.20 m slm superando quindi il petto di sfioro ma garantendo un franco idraulico di 80 cm rispetto alla quota di intradosso del ponticello soprastante la soglia di sfioro.

Nel momento di picco di piena (istante in cui $Q=42 \text{ m}^3/\text{s}$) la portata riesce comunque ad essere sfiorata liberamente poiché in tale condizione il livello della vasca è inferiore alla soglia del petto di sfioro e soprattutto è inferiore all'altezza critica sulla soglia di sfioro; pertanto la spinta della corrente è maggiore alla spinta dell'acqua pressoché ferma nel bacino di laminazione.

$$S_{monte} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h_{monte}^2 \cdot A_{monte} + \rho \cdot \frac{Q_{monte}^2}{A} \geq S_{valle} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h_{valle}^2 \cdot A_{valle}$$

Si riporta il profilo di corrente lenta che si instaura lungo la soglia di sfioro nel caso vengano sfiorati 42 m³/s (si ricorda che il canale sulla cui destra idraulica è innestato lo sfioratore laterale è cieco, poiché si prevede che in esercizio le paratoie di valle debbano essere completamente chiuse). Il profilo lungo lo scaricatore laterale viene ricavato nell'ipotesi di conservazione dell'energia lungo la soglia di sfioro.

Le equazioni che modellano il processo di sfioro sono:

- l'equazione di continuità delle portate:

$$Q_m = Q_{sf} + Q_v$$

- l'equazione dello sfioro a larga soglia (p=petto):

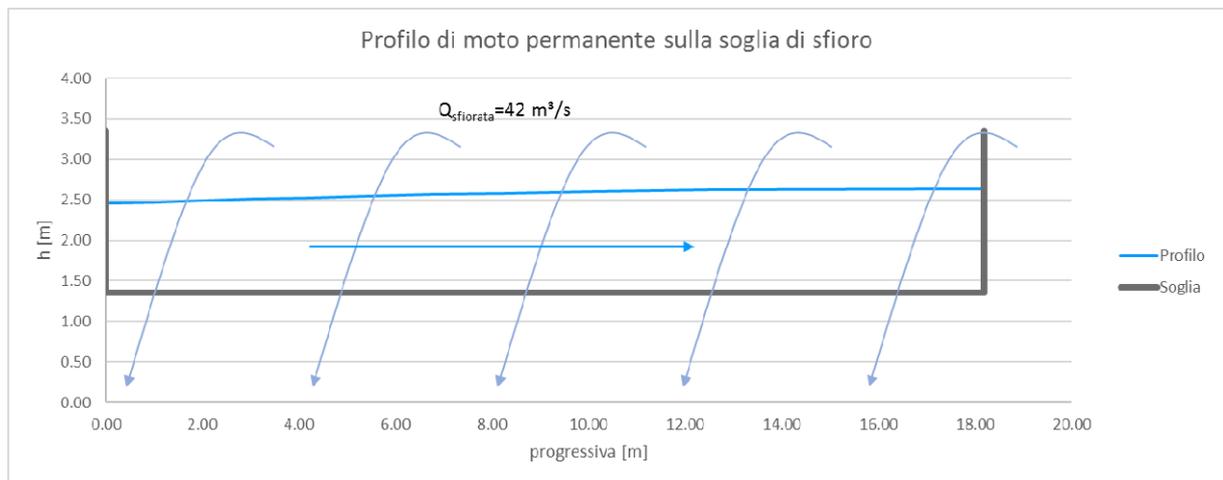
$$Q_{sf} = \mu \cdot L \cdot (h - p) \cdot \sqrt{2g(h - p)}$$

- l'ipotesi di energia costante lungo tutto lo sfioro:

$$\frac{ds}{ds} = 0, \text{ per } s \in [0, L]$$

Si procede, fissata in questo caso la lunghezza della soglia di sfioro (L=18.9 m), integrando per n passi di integrazione pari a $\Delta s=L/n$ la variazione di portata via via scaricata sulla soglia di sfioro:

$$\Delta Q_n = \mu \cdot (h_n - p) \cdot \Delta s \cdot \sqrt{2g \cdot (h_n - h_v)}$$



Si verifica che lo sfioratore è in grado di sfiorare 42 m³/s con un tirante di monte e di valle riportati in tabella.

VALLE		MONTE	
h _v	2.64 (139.29) m	h _m	2.46 (139.11) m
Q _v	0 m ³ /s	Q _m	42 m ³ /s
Ev	2.64 m	Em	2.64 m

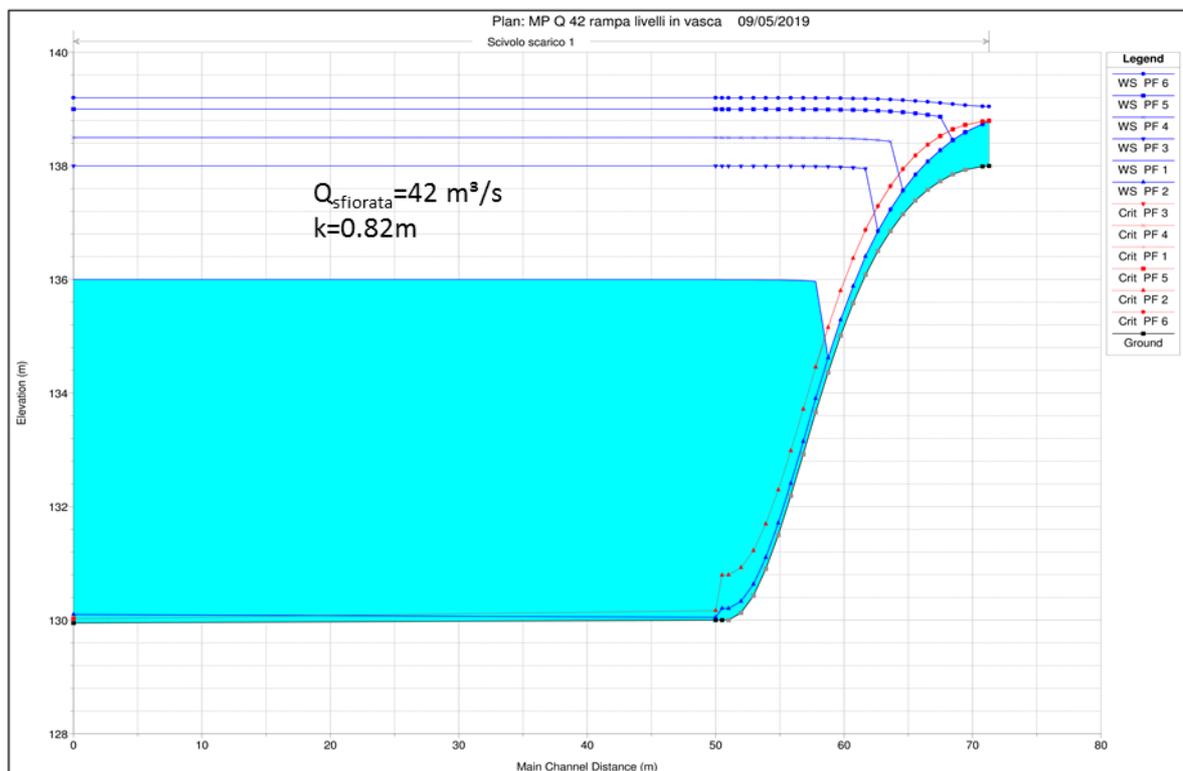
Tali risultati sono in linea con il livello sulla soglia di sfioro ottenuto tramite il modello idraulico completo costruito in Infoworks (Scenario P4 T100 h_{soglia}=1.3 m = 139.3 m slm).

Si riportano infine alcuni profili longitudinali lungo lo scivolo di scarico verso la vasca per il caso di portata sfiorata costante e pari a 42 m³/s e diversi livelli di invaso ricavati tramite simulazioni in HecRas. Si può notare che per altezze di tirante nell'invaso superiori alla soglia di sfioro (138 m slm) e anche superiori all'altezza della soglia più l'altezza critica (k=0.82 m, la corrente continua a passare per l'altezza critica (scenario 5, H=139 m slm >138.82 m slm); nello scenario 6 dove l'altezza di invaso è pari a 139.2, la corrente non riesce più a passare per k e la legge di efflusso dipende dal delta di tirante fra monte e valle.

Pare opportuno evidenziare che questo risultato è coerente con quanto previsto dalla teoria per il caso dello stramazzo a larga soglia e la formula dell'efflusso libero resta valida anche quando il livello della corrente a valle dello stramazzo aumenta in guisa da sommergere la vena effluente dallo stramazzo: la corrente passa ancora per l'altezza critica, vedremo formarsi un risalto a valle

della soglia o addirittura nel suo tratto terminale, e questo risalto garantisce della presenza di un breve tratto di corrente veloce dove si stabilisce ancora lo stato critico e questo fa sì che la corrente di valle non possa esercitare la propria influenza sulla portata effluente dallo stramazzo. Pertanto, anche per minime differenze di tirante tra monte e valle la portata effluente è funzione univoca del carico sullo stramazzo. Solo quando la differenza di tiranti raggiunge una frazione molto piccola del carico, il tirante scompare e allora l'efflusso è funzione anche del delta di livello e lo stramazzo è rigurgitato (Citrini Nosedà, "Idraulica", 2° edizione, Casa Editrice Ambrosiana, 2012, capitolo 11.2).

Verso la fine della piena il livello della vasca supera il petto della soglia di sfioro, in questo caso le paratoie di regolazione verso la vasca devono essere chiuse prima che il livello della vasca raggiunga il massimo livello di invaso e di conseguenza le paratoie di regolazione lato Seveso devono essere aperte al fine di far passare tutta la portata. In questo modo si riesce ad evitare che raggiunto il massimo livello di invaso l'acqua venga richiamata dalla vasca verso monte e si mette in sicurezza l'opera a fronte di eventi di piena superiori a quello di progetto.



8.4.4 Dimensionamento e regolazione del canale di scarico

Il canale di scarico della vasca è una condotta scatolare di sezione rettangolare 2,0 m x 1,5 m lunga circa 15 metri, ha pendenza pari a 0.1%.

Questo canale può essere alimentato a gravità finché il livello di invaso nel bacino di laminazione è superiore alla quota di 137 m slm; per svuotare il restante volume di invaso - previa chiusura della paratoia di alimentazione del canale dalla vasca - il canale di scarico riceverà la portata sollevata dal gruppo di pompe del manufatto di scarico.

Durante la fase di svuotamento a gravità, il grado di apertura della paratoia potrà essere regolato in funzione del livello di invaso.

La definizione del grado di apertura della paratoia può essere applicata in prima approssimazione l'equazione di efflusso libero da luce a battente con contrazione della vena liquida.

L'equazione d'efflusso della paratoia è:

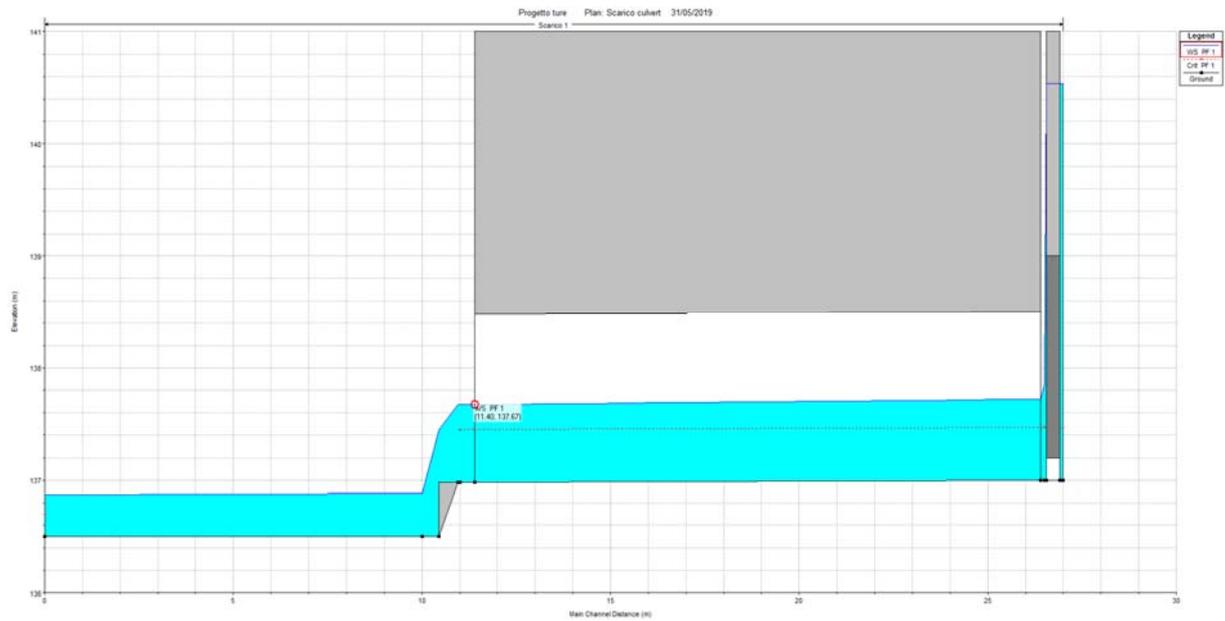
$$Q = \mu \cdot d \cdot B \cdot \sqrt{2g \cdot (h_m - C_c d)}$$

Assegnando alla sezione di efflusso una larghezza B pari a 2 metri ed un'apertura d pari ad 0.3 metro e considerando un coefficiente di efflusso $\mu = 0.6$, $C_c = 0.61$, $C_v = 0.98$, perdite concentrate pari a 1 e 0.5 considerando l'imbocco del canale e lo sbocco con clapet.

Supponendo che ci si trovi nella condizione di massimo invaso di progetto (139 m slm), le paratoie per scaricare una portata pari a $Q=2\text{m}^3/\text{s}$ dovrà avere una luce di circa 20 cm.

In condizioni di magra del Seveso, nel canale di scarico si instaura un profilo di moto accelerato (tipo D2 in moto permanente) con tirante di circa 70 cm.

Il canale è stato dimensionato considerando cautelativamente condizioni di moto uniforme, per cui il canale di scarico riesce a smaltire la massima portata di alimentazione ($2\text{m}^3/\text{s}$) con un grado di riempimento pari a 0.53 e tirante 0.80 m.



8.5 Dimensionamento delle difese spondali antierosione lungo il Torrente Seveso

A completamento delle opere di difesa idraulica del torrente Seveso, sono previsti interventi di sistemazione spondale e riprofilatura lungo tutta la tratta di alveo in adiacenza al bacino di laminazione.

Erosioni al piede lungo l'alveo del Seveso nella tratta di intervento



Al fine di prevenire e limitare l'estensione di tali erosioni dovute all'azione della corrente idrica è stato previsto di realizzare protezioni spondali in massi intasati con terreno vegetale lungo tutta la tratta. In letteratura sono disponibili numerose e diverse formulazioni per il dimensionamento di tali protezioni, con risultati che, come è ben noto, sono oltremodo variabili.

L'intensità dei fenomeni erosivi provocati dal deflusso delle correnti a pelo libero nei corsi d'acqua è dovuta sia alle azioni tangenziali sulle superfici bagnate, normalmente valutabili per via teorica semplificata in funzione della velocità e della profondità della corrente (assunta monodimensionale), sia alle turbolenze locali, di più difficile schematizzazione e normalmente valutabili solo per via sperimentale. Molte delle varie formulazioni empiriche proposte negli ultimi decenni per il dimensionamento delle protezioni d'alveo con massi tengono conto, infatti, del grado di turbolenza della corrente o comunque considerano l'applicazione di un coefficiente di sicurezza che va aumentato o ridotto in funzione della maggiore o minore turbolenza delle acque.

Di seguito vengono riportate le equazioni utilizzate per il dimensionamento dei massi di protezione per i casi in esame:

Izbash (1970):

$$d = C_t \frac{V^2}{g(s-1)}$$

dove:

- d è il diametro medio dei sedimenti (o delle protezioni), d50 (m);
- V è la velocità media della corrente nella sezione;
- s è il rapporto tra il peso specifico del materiale e quello dell'acqua;
- g è l'accelerazione di gravità;
- C_t è il coefficiente di turbolenza di Izbash i cui valori sono compresi entro l'intervallo 0,3 (condizioni di bassa turbolenza) ÷ 0,7 (condizioni di alta turbolenza, per esempio nel caso di presenza di risalti multipli).

U.S. Corp of Engineers (1970):

$$d = 0,347 \frac{V^2}{g(s-1)} \quad (\text{per bassa turbolenza})$$

“Antica” formula pratica:

$$V = 5\sqrt{d} \Rightarrow d = 0,04V^2$$

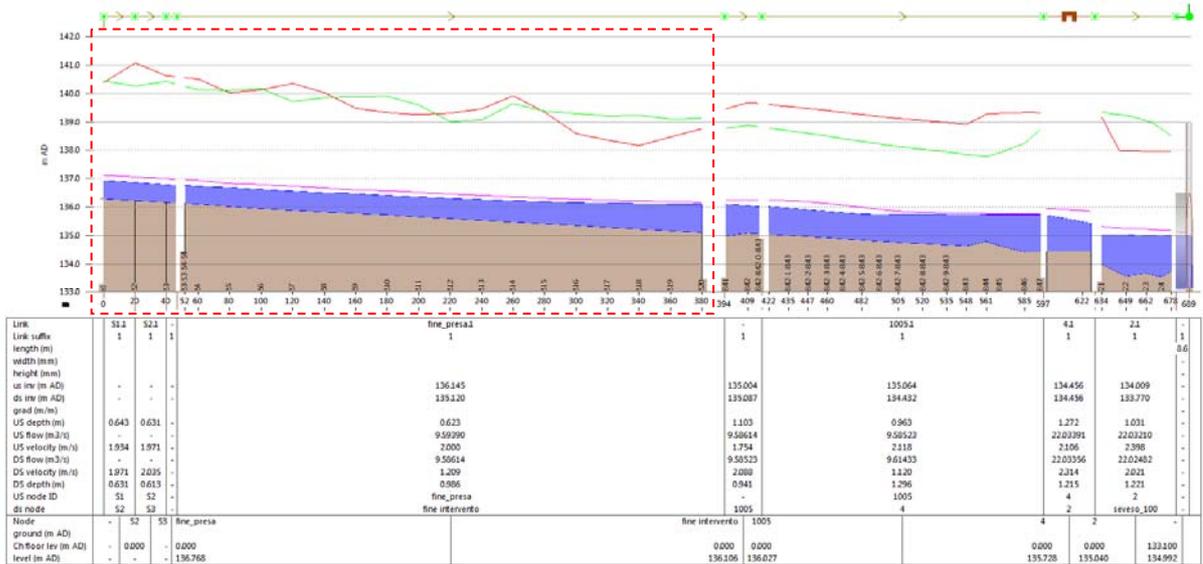
La velocità media della corrente utilizzata nei calcoli è stata ottenuta dai risultati dalle simulazioni idrauliche, in particolare nello scenario di progetto transitorio in cui entrano nella tombinatura di Milano massimo 40 m³/s, che è la massima compatibile con la tombinatura del Seveso, e lo scenario in cui entrano 20 m³/s che è lo scenario di progetto finale, che garantisce un franco idraulico di almeno 1 metro lungo la tombinatura del Seveso.

Tra i due scenari sopracitati, senza dubbio il più critico è il transitorio per la maggiore portata. Se in ingresso alla Tombinatura entrano 40 m³/s vuol dire che a valle della vasca di laminazione possono uscire 25 m³/s, considerando il contributo a valle del cavo Breda e dello scolmatore del depuratore di Cinisello.

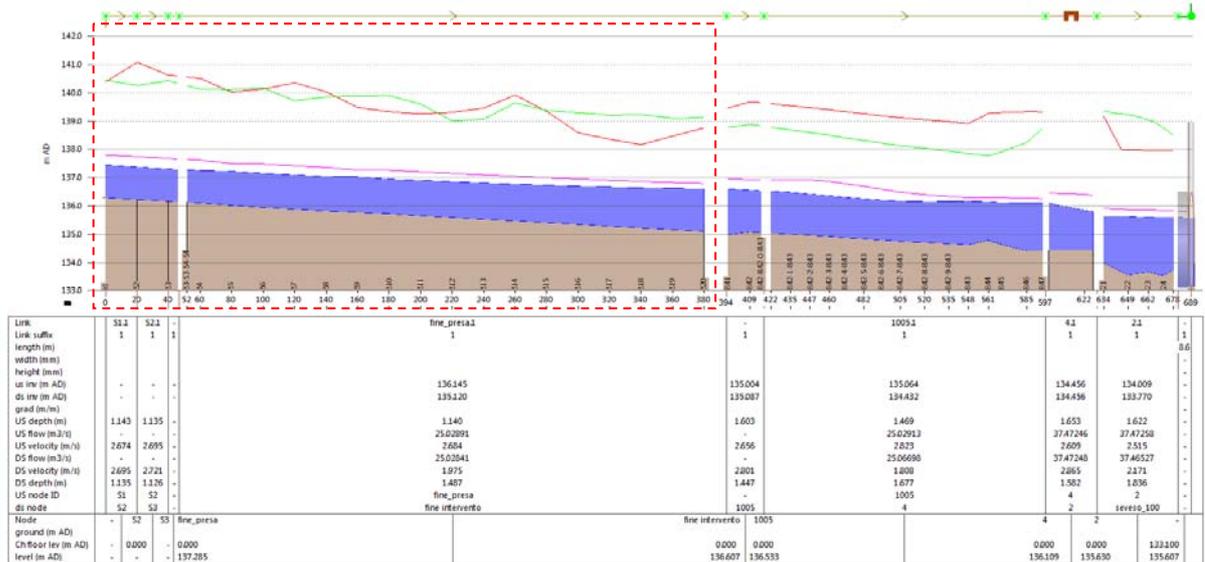
Si è proceduto a valutare l’altezza di moto uniforme pari a circa 1.3 metri per una portata pari a 25 m³/s nelle sezioni di valle del manufatto di presa.

Inoltre, sono state svolte le simulazioni idrauliche della tratta oggetto di interesse, di cui si riportano nel seguito i profili longitudinali della piena T100 nel tratto oggetto di intervento a valle della presa della vasca fino a una distanza di 400 metri lineari (si veda tavola CT000-018) nei due scenari sopracitati.

“Profilo longitudinale di piena T100 nella tratta di intervento – Q=20 m³/s in ingresso alla tombinatura di Milano”



“Profilo longitudinale di piena T100 nella tratta di intervento – Q=40 m³/s in ingresso alla tombinatura di Milano”



Dai risultati delle simulazioni idrauliche di progetto si evince che la massima altezza d’acqua si instaura nella sezione di valle della tratta oggetto di intervento ed è pari a circa 1.5 m nello scenario Q=40 m³/s. Tale altezza d’acqua è maggiore di quella di moto uniforme per via del profilo rigurgitato da valle; si è dunque scelto di realizzare una **protezione spondale di altezza minima pari a 2 metri dalla quota di fondo alveo**.

La velocità massima della corrente nei due scenari di progetto simulati si può leggere dalle tabelle sotto i profili longitudinali ed è pari a circa 2.6 m/s.

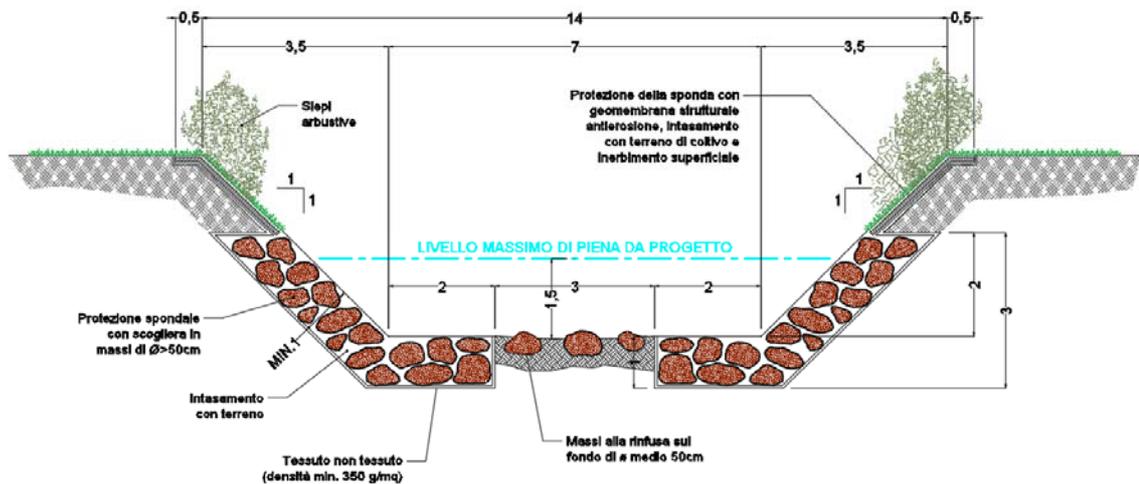
Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli effettuati con le formule descritte.

velocità media della corrente nella sezione	V	3,0 m/s
densità delle scogliere	scogliera	2700 kg/m ³
coeff di turbolenza (0.3 bassa - 0.7 alta)	Ct	0.6
criterio di Izbash		
diametro scogliera	d50	0.32 m
criterio U.S. Corp of Engineers		
diametro scogliera	d50	0.19 m
criterio della formula "Antica"		
diametro scogliera	d50	0.36 m

Per il dimensionamento delle protezioni spondali in massi previste dal progetto è consigliabile utilizzare il criterio di Izbash e la “antica formula pratica” descritti in precedenza, che risultano essere maggiormente cautelativi.

Volendo garantire un discreto margine di sicurezza per le scogliere in progetto, il diametro dei massi calcolato come sopra è stato aumentato del 30%, adottando un **diametro dei massi di protezione pari a 50 cm**.

A titolo cautelativo, si riporta la verifica di stabilità dei massi così dimensionati secondo il metodo dell'abaco di Shields sia per il fondo sia per le sponde delle sezioni della tratta.



L'azione di trascinamento della corrente in condizioni di moto uniforme è espressa dalla relazione $\tau = \gamma \cdot R \cdot i$.

Dove γ è il peso specifico dell'acqua, R il raggio idraulico nella sezione considerata, i la pendenza longitudinale del canale.

Il valore dello sforzo di trascinamento relativo ad una certa portata può essere confrontato con quello critico, dato ad esempio dalla funzione di Shields, che lega i due parametri adimensionali Φ e Re^* .

Il canale oggetto di verifica ha sezione trapezia larga al fondo $b = 7$ m e con scarpa delle sponde $z = 1$, che convoglia la portata $Q = 25$ m³/s con la pendenza $i = 0.0022$ (2.2‰).

Il canale è rivestito con un fondo con le seguenti caratteristiche: $d_{50} = 500$ mm; $\gamma_s = 26500$ N/m³, $\varphi = 50^\circ$ (angolo di attrito del materiale).

Critério di Shields – verifica sul fondo

Per la verifica della stabilità del fondo del canale non rivestito si utilizza il critério di Shields. Risulta quindi necessario calcolare il parametro di Shields, che rappresenta il rapporto tra l'azione di trascinamento della corrente ed il peso immerso della particella:

$$\phi = \frac{R \cdot i}{\beta \cdot d_{50}} \quad [-]$$

Dove:

$$\beta = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \quad [-]$$

$$R = \frac{A}{P} \quad [m]$$

Per il calcolo del raggio idraulico risulta necessario valutare l'altezza di moto uniforme h_0 , che verrà calcolata con la formula di Chézy:

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

dove per la sezione trapezia:

$$A = h_0 \cdot (b + zh_0)$$

$$P = b + 2h_0 \sqrt{1 + z^2}$$

il valore del coefficiente di scabrezza di Strickler k_s :

$$k_s = 50 \quad [m^{1/3}/s]$$

Si ottiene:

$$h_0 = 1.3 \text{ m}$$

$$A = 10.65 \text{ m}^2$$

$$P = 10.63 \text{ m}$$

$$R = 1 \text{ m}$$

Si procede quindi al calcolo del parametro di Shields, risultando β pari a 1.65.

$$\phi = \frac{R \cdot i}{\beta \cdot d_{50}} = 0.0027$$

Tale parametro va confrontato con il valore limite ϕ_c che il parametro assume in condizioni di moto incipiente.

Se $\phi < \phi_c$ ALVEO STABILE (NON c'è movimento delle particelle sul fondo)
Se $\phi > \phi_c$ ALVEO INSTABILE (SI HA MOVIMENTO delle particelle sul fondo)

Per valutare il parametro ϕ_c si utilizzano le formule di Brownlie [1981]:

$$\phi_c = \frac{0.22}{Re_p^{0.6}} + 0.06 \cdot e^{\frac{17.77}{Re_p^{0.6}}} \quad [-]$$

dove la variabile:

$$Re_p = \frac{d_{50}^{3/2}}{\nu} \sqrt{g \cdot \beta} \quad [-]$$

è il cosiddetto numero di Reynolds della particella. ν è la viscosità cinematica dell'acqua, che misura la resistenza a scorrere di una corrente sotto l'influenza della gravità. Essa vale $0.01018/10^4 \text{ m}^2/\text{s}$, mentre $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Risulta:

$$Re_p = 1'397'281$$

$$\phi_c \approx 0.056$$

Essendo $\phi < \phi_c$ il fondo dell'alveo risulta stabile.

Critero di Shields – verifica sulle sponde

Siccome nel canale esaminato anche le sponde non sono rivestite, occorre effettuare una verifica di stabilità anche sulle sponde. Si procede in modo analogo a quanto fatto per il fondo del canale, tranne che per il fatto che il valore critico del parametro di mobilità di Shields sarà minore in quanto andrà moltiplicato per il coefficiente correttivo di Lane:

$$K_L = \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi} \right)^{1/2} \quad [-]$$

dove α è l'inclinazione delle sponde e φ l'angolo di attrito del materiale.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{z}\right) = 45^\circ$$

Il coefficiente correttivo di Lane, che risulta pari a 0.54, tiene conto dell'azione destabilizzante della forza di gravità sulle sponde.

Risulta:

$$\phi_{\text{scponde}} = K_L \cdot \phi_c = 0.38 \cdot 0.056 = 0.022$$

Ovviamente il parametro di mobilità di Shields ϕ è lo stesso calcolato precedentemente. Siccome $\phi < \phi_{c,\text{sponde}}$, anche le sponde sono stabili.

8.6 Dimensionamento impianti del manufatto di scarico dell'invaso e ricircolo acque del laghetto

Il manufatto di restituzione delle acque al Seveso costruito a margine della vasca è stato equipaggiato con le seguenti apparecchiature:

- n° 5+1 pompe di restituzione al Seveso dell'acqua laminata;
- n° 2 pompe in grado di svolgere una doppia funzione: restituzione al Seveso delle acque esondate non sollevabili dalle precedenti pompe (scarico di fondo del manufatto) e ricircolo delle acque chiare del laghetto al fondo nei periodi di tempo asciutto.

A valle dello stesso è poi stata prevista una rete di tubazioni di alimentazione, ricircolo e scarico per poter far fronte alle diverse situazioni operative prevedibili.

8.6.1 Pompe di restituzione al Seveso

Si è considerato un livello di massimo riempimento dell'invaso pari a 9.50 m, (da quota 129.50 a quota 139.00) assumendo così un volume utile di invaso pari a circa 250.000 m³. Si è poi previsto di dimensionare l'impianto in modo da predisporre la vasca ad un nuovo evento in meno di 36 ore.

Poiché sono state previste 5 pompe in funzione, alla portata nominale di 400 l/s la vasca verrebbe svuotata in 34 ore e 45 minuti circa.

Nel calcolo della prevalenza della pompa si è partiti dalla prevalenza geodetica, differenza fra il livello in aspirazione e quello in mandata della pompa.

Nel caso in esame si è previsto di considerare un livello medio nella vasca di presa, pari a 133.25 m s.l.m.; il recapito avviene in un canale sovrastante, per cui si è presa come quota di valle l'asse della curva a manico d'ombrello che scarica nel canale (139.65 m s.l.m.). Da qui ne deriva che l'altezza geodetica da considerare risulta pari a $H_g = 6.40$ m.

Le perdite di carico distribuite lungo i circa 15 m di tubazione di scarico DN 600 sono state calcolate con la formula di Hazen Williams ($c=90$) ed hanno portato ad un valore pari a $DH_d = 0.09$ m.

Calcolo delle perdite di carico concentrate:

singolarità	portata nominale	diametro	velocità nominale	K	perdita nominale
cono diffusore	400	600	1,42	0,17	0,020
curva a 90°	400	600	1,42	0,21	0,020
curva a 90°	400	600	1,42	0,21	0,020
sbocco	400	600	1,42	2,00	0,210
TOTALE PERDITE CONCENTRATE					0,270

Prevalenza nominale $H = H_g + DH_d + DH_c = 6.4 + 0.09 + 0.27 = 6.76$ che arrotonderemo a 7.00 m

Alla luce di quanto sopra descritto si è pertanto previsto di dimensionare la pompa per erogare i 400 l/s nominali ad una prevalenza media di 7.0 m; si è poi verificato che sul mercato fossero disponibili pompe in grado di lavorare in un campo di portate comprese fra 280 e 560 l/s e prevalenze comprese fra 10.33 e 3.33 m;

Le pompe prese in considerazione sono di tipo centrifugo per acque sporche, con girante multicanale autopulente antintasamento, senza valvola di flussaggio, con passaggio libero di sezione circolare di diametro ≥ 110 mm; esse saranno equipaggiate di motore elettrico asincrono trifase, con rotore a gabbia, con tensione di 400 V, frequenza di 50Hz con assorbimento di potenza elettrica, nel punto più gravoso, pari a circa 40,0 kW.

Ogni elettropompa sarà completa di piede di accoppiamento automatico da fissare sul fondo vasca, con curva flangiata UNI PN 10, di tubi guida o funi per il calaggio e l'estrazione in acciaio inox AISI 316, di catena per il sollevamento in acciaio zincato, di cavo elettrico sommergibile di lunghezza idonea a raggiungere la presa a decontattore senza l'utilizzo di giunti.

Le tubazioni di mandata delle pompe sono state previste per contenere le velocità dell'acqua al di sotto dei 2 m/s anche in condizioni di portata massima; si è pertanto previsto una tubazione in acciaio inox DN 600, che in corrispondenza della portata nominale di 400 l/s convoglia l'acqua ad una velocità di 1.42 m/s, velocità che scende intorno a 1.0 m/s in corrispondenza della portata minima e rimane contenuta entro i 2 m/s nel caso di portata massima.

8.6.2 Pompe multifunzione

Come precedentemente accennato le pompe in oggetto devono potersi adattare a due diverse tipologie di servizio:

1. restituzione al Seveso delle acque esondate non sollevabili dalle precedenti pompe:

questo scenario si verifica quando le pompe principali durante lo svuotamento raggiungono il livello di sommersa minimo, viene interrotto il loro utilizzo e il restante volume d'acqua nella vasca verrà recapitato al Seveso mediante l'utilizzo di 2 ulteriori pompe, più piccole e ancorate ad una quota più bassa delle precedenti. Tali pompe permetteranno anche una sommaria fase di lavaggio della stazione a fine evento con l'arrivo in vasca di nuova acqua pulita;

2. ricircolo delle acque chiare del laghetto al fondo nei periodi di tempo asciutto:

per evitare ristagni e creare movimento nell'acqua pulita del bacino, con logica temporizzata in modo da variare regolarmente i regimi di flusso che si instaureranno nel laghetto, le pompe verranno messe in funzione; sono stati previsti quattro punti di ricircolo nel bacino, considerando le zone a maggior pericolo di ristagno.

Dalle simulazioni effettuate, per le quali si rimanda al paragrafo 8.7, si è verificato che la portata di 150 l/s per ciascuna pompa è idonea per creare la giusta movimentazione dell'acqua attivando a turno uno o due dei quattro ricircoli previsti.

Si è valutata la pressione necessaria nei punti di erogazione, considerate le perdite di carico nella condizione più gravosa;

Nel calcolo della prevalenza della pompa si è partiti dalla prevalenza geodetica, differenza fra il livello in aspirazione e quello in mandata della pompa, considerando la condizione più gravosa, che è risultata essere la funzione di ricircolo.

In questa situazione in vasca sarà presente un battente d'acqua compreso fra 129.5 m s.l.m. (livello minimo) e 131.2 m s.l.m. (livello massimo). Per la determinazione della prevalenza si è preso in considerazione un invaso medio pari a 130.55 m s.l.m.

Poiché tali pompe hanno lo scopo di contribuire alla movimentazione dell'acqua all'interno del laghetto, è stata presa in considerazione la quota massima da superare raggiunta dalla tubazione di distribuzione, pari a 142.39 m s.l.m.

Ne deriva che l'altezza geodetica da considerare risulta pari a $H_g = 12.04$ m

Le perdite di carico distribuite sono state calcolate con la formula di Hazen Williams

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{10.67 Q^{1.852}}{C^{1.852} d^{4.8704}}$$

Lungo i circa 25 m di tubazione DN 300 in acciaio inox, considerando un coefficiente di rugosità pari a 90, è stato ricavato un valore pari a $DHd1 = 0.52$ m.

Le perdite di carico distribuite lungo i circa 528 m di tubazione De 315 in PEAD calcolate con coefficiente di rugosità pari a 140, hanno portato ad un valore pari a $DHd2 = 9.14$ m.

Per il calcolo delle perdite di carico concentrate sono state analizzate le singolarità presenti lungo il percorso delle tubazioni, come desumibile dalla tabella seguente:

singolarità	portata nominale	diametro	velocità nominale	K	perdita nominale
fabbricato di scarico					
cono diffusore	150	300	2,12	0,17	0,040
valvola di ritegno	150	300	2,12	6,50	1,490
curva 90°	150	300	2,12	0,21	0,050
curva 45° (4)	150	300	2,12	0,56	0,130
totale fabbricato di scarico					1,710

cameretta manifold					
valvola di ritegno	150	300	2,12	6,50	1,490
valvola a farfalla	150	300	2,12	0,35	0,080
giunto di smontaggio	150	300	2,12	0,30	0,070
valvola di ritegno	150	300	2,12	6,50	1,490
valvola a farfalla	150	300	2,12	0,35	0,080
giunto di smontaggio	150	300	2,12	0,30	0,070
TEE	150	600	0,53	0,37	0,010
TEE	150	600	0,53	0,48	0,010
valvola di ritegno	150	300	2,12	6,50	1,490
valvola a farfalla	150	300	2,12	0,35	0,080
giunto di smontaggio	150	300	2,12	0,30	0,070
curva a 90°	150	300	2,12	0,21	0,050
totale cameretta manifold					4,990

pozzetto distribuzione					
valvola di ritegno	150	300	2,12	3,00	0,690
curva 90°	150	299	2,14	0,21	0,050
curva 45° (4)	150	300	2,12	0,56	0,130
totale pozzetto distribuzione					0,870

sbocco in vasca					
valvola di ritegno	150	300	2,12	3,00	0,690
perdite di sbocco	150	300	2,12	1,00	0,230
curva 45°	150	300	2,12	0,14	0,030
totale pozzetto distribuzione					0.950

Totale perdite di carico concentrate	8,520
---	--------------

Pertanto, il calcolo della prevalenza nominale da assegnare alle pompe risulta:

$$H = H_g + D_{Hd1} + D_{Hd2} + D_{Hc} = 12.04 + 0.52 + 9.14 + 8.52 = 30.22$$

che arrotonderemo a 30.50 m.

Si è poi verificato che sul mercato risultano presenti pompe con le caratteristiche suddette, le quali richiedono un motore elettrico con potenza pari a circa 82 kW.

Sono state previste pompe di tipo centrifugo per acque sporche, con girante autopulente con passaggio libero di sezione circolare di diametro ≥ 150 mm; esse saranno equipaggiate di motore elettrico asincrono trifase, con rotore a gabbia, con tensione di 400 V, frequenza di 50Hz con assorbimento di potenza elettrica, nel punto più gravoso, pari a circa 80,5 kW.

Ogni elettropompa sarà completa di piede di accoppiamento automatico da fissare sul fondo vasca, con curva flangiata UNI PN 10, di tubi guida o funi per il calaggio e l'estrazione in acciaio inox AISI 316, di catena per il sollevamento in acciaio zincato, di cavo elettrico sommergibile di lunghezza idonea a raggiungere la presa a decontattore senza l'utilizzo di giunti.

Per le suddette pompe è stata considerata una tubazione di mandata in acciaio inox DN 300, in modo da mantenere la velocità dell'acqua al di sotto dei 2.5 m/s.

Poiché l'utilizzo come pompe di scarico delle acque esondate non sollevabili dalle pompe principali richiede una prevalenza inferiore, dovranno essere previsto sulla linea di scarico un'opportuna flangia tarata che limiti la portata a 200 l/s allo scopo di mantenere la suddetta velocità massima dell'acqua ed evitare che la pompa vada a lavorare fuori del campo di buon funzionamento.

8.6.3 Tubazioni di ricircolo / scarico

Le tubazioni di mandata delle pompe di ricircolo e scarico fanno capo ad un manifold di distribuzione, corredato di opportune valvole di sezionamento e di non ritorno che, regolate da una logica di funzionamento meglio descritta nella relazione descrittiva dell'impianto elettrico, smistano le acque sollevate verso lo scarico o verso uno o più ricircoli.

Tale distribuzione è stata prevista facendo ricorso a tubazioni in PEAD De 315, in grado di soddisfare le varie richieste distributive limitando al massimo le perdite di carico distribuite grazie all'ottimo coefficiente di scabrezza caratteristico di tale prodotto.

Sia allo scarico nel Seveso che agli sbocchi dei ricircoli è stata prevista l'installazione di valvole antiriflusso a membrana in gomma, del tipo preformato a becco d'anatra con apertura azionata dal fluido in un solo senso.

Sulle linee di ricircolo saranno inoltre ricavati opportuni pozzetti dotati di valvola di ritegno e sfiato, con attacco standard UNI 70 per l'attacco di manichette idonee al riempimento dei serbatoi dei mezzi di lavaggio o al montaggio di lance per la pulizia delle sponde della vasca.

8.6.4 Alimentazione laghetto permanente

L'alimentazione del laghetto permanente, necessaria per ricostituire il laghetto a seguito di eventi di piena e comunque utile per contrastare la normale evaporazione a cui la superficie idrica andrebbe incontro, è assicurata dai pozzi di prima falda.

Per il dimensionamento e le caratteristiche dei pozzi si rimanda alla relativa relazione specialistica; si vuole qui invece valutare l'opportunità di alimentare il laghetto permanente con acque superficiali irrigue, in alternativa alle acque di falda.

L'immagine seguente indica la presenza di due canali irrigui nell'intorno dell'area di progetto, entrambi derivatori secondari del Canale Villoresi, uno ad est ed uno ad ovest dell'area di progetto.

Il canale ad est, denominato "Derivatore di Nova", dista oltre 800 metri dall'area di progetto, è situato dalla parte opposta del Seveso rispetto alla vasca ed inoltre è separato dall'invaso di progetto da un'area densamente urbanizzata; è chiaro che un suo potenziale utilizzo non è praticabile.

Il canale ad ovest, denominato "Novello", nel suo punto più prossimo alla vasca dista circa 350 metri e le sue acque sono già utilizzate per l'alimentazione del laghetto recentemente realizzato dal Parco Nord a sud di via Aldo Moro; inoltre, durante le asciutte stagionali del Canale Villoresi, l'alimentazione del laghetto non sarebbe garantita, lasciando la vasca vuota in caso di entrata in funzione dell'invaso di laminazione.



L'alimentazione del laghetto con i pozzi di falda è stata dunque valutata come la soluzione più idonea.

8.7 Modellazione bidimensionale del comportamento delle acque all'interno dell'invaso

8.7.1 Generalità

La propagazione della corrente all'interno della vasca di laminazione è stata calcolata mediante un modello bidimensionale.

Mentre i modelli monodimensionali necessitano della conoscenza della direzione della corrente per calcolarne le caratteristiche (velocità ed altezza), cosa che avviene normalmente nel caso del moto nei corsi d'acqua, nel caso degli allagamenti questa direzione non è a priori conosciuta. Di conseguenza, descrivendo il campo di moto come un piano cartesiano di coordinate x e y , le incognite del problema sono pertanto le tre seguenti: l'altezza idrica e le velocità nelle due direzioni ortogonali. Le equazioni risolventi sono l'equazione di continuità e le equazioni del moto nelle due direzioni ortogonali citate; nella forma compatta si possono scrivere in forma conservativa come:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} = S$$

dove:

$$U = \begin{pmatrix} h \\ uh \\ vh \end{pmatrix} \quad E = \begin{pmatrix} uh \\ u^2h + \frac{1}{2}gh^2 \\ uvh \end{pmatrix} \quad F = \begin{pmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{pmatrix}$$

e t è la coordinata temporale; h l'altezza idrica; u e v le velocità della corrente nelle direzioni x e y rispettivamente; g l'accelerazione di gravità; S_0 la pendenza del terreno; S_{fx} e S_{fy} la resistenza al moto lungo le direzioni x e y rispettivamente.

Queste equazioni, note come di De Saint Venant bidimensionali o come "delle shallow water" (cioè "delle acque basse") assumono come ipotesi che la velocità nella terza dimensione, quella verticale, sia trascurabile e che la velocità nelle due dimensioni orizzontali sia ben rappresentata dal loro valore medio sull'altezza. In altri termini, in questo modo si evita la modellazione tridimensionale, che necessiterebbe dell'introduzione di modelli di turbolenza complessi, la cui scelta e calibrazione è affidata ad un notevole empirismo e inadeguati per simulazioni di grandi campi di moto.

Trattandosi di equazioni differenziali alle derivate parziali, per la definizione della soluzione è ovviamente necessario imporre delle condizioni iniziali e delle condizioni al contorno.

Il modello utilizzato integra numericamente le equazioni sopra citate (la cui risoluzione analitica è impossibile) mediante un metodo ai volumi finiti: in particolare, viene adottato il solutore di Roe Riemann. Questo schema appartiene alla famiglia dei cosiddetti "shock capturing", ovvero è tale da evitare instabilità ed assicurare la corretta convergenza alla soluzione anche nel caso l'onda risulti a fronte ripido, quindi rigorosamente al di fuori delle ipotesi di applicabilità di modelli di shallow water.

Operativamente, occorre descrivere adeguatamente l'area potenzialmente investita dalla corrente bidimensionale e suddividerla in celle di calcolo triangolari contigue e non regolari, che assicurano la migliore descrizione del terreno, accettando la possibilità di infittire il reticolo dove necessario.

Il modello utilizzato, Infoworks, è stato controllato dalla britannica Environment Agency, insieme ad altri modelli matematici della stessa tipologia, con risultati riportati nel rapporto "Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling Packages" (giugno 2010) ed emergendo come prodotto senz'altro affidabile.

8.7.2 Simulazioni effettuate

Per il caso della vasca di laminazione in progetto, la simulazione bidimensionale si è resa necessaria al fine di verificare sia le modalità di riempimento in caso di evento di piena, sia le modalità di ricircolo dell'acqua nel caso della gestione ordinaria.

8.7.2.1 Evento di piena

La simulazione relativa al riempimento della vasca mostra come il riempimento avvenga con la necessaria gradualità e come i maggiori valori di velocità si concentrino sostanzialmente in prossimità della luce di ingresso.

Dai risultati ottenuti, parzialmente riportati in forma grafica nel seguito, si evince come le sponde non siano in nessun caso interessate da valori di velocità della corrente tali da produrre instabilità ed in particolare come la distanza tra la luce d'efflusso dal fiume alla sponda opposta della vasca sia tale da smorzare le maggiori turbolenze.

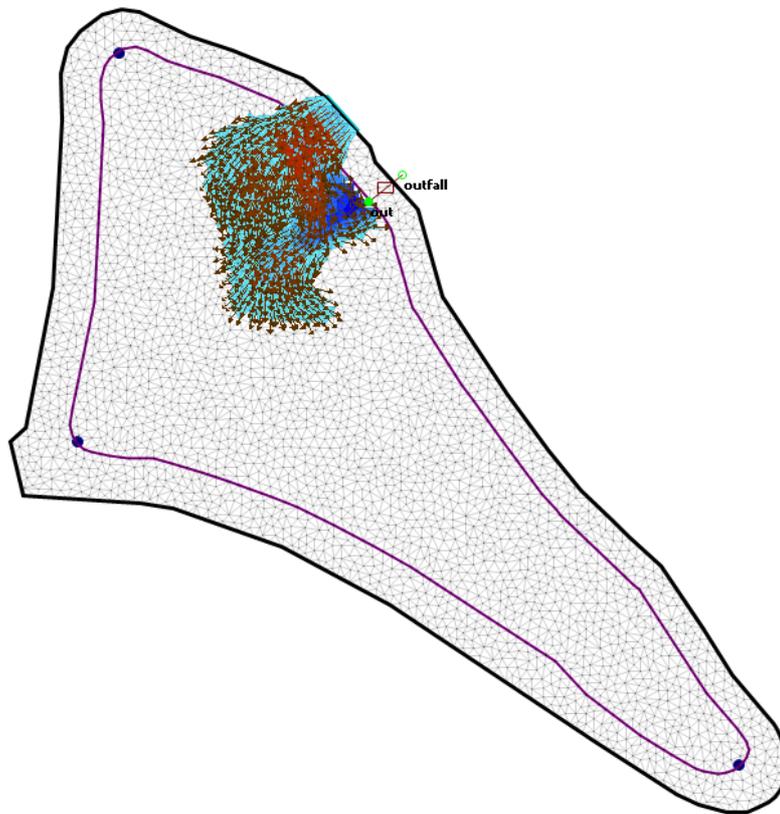
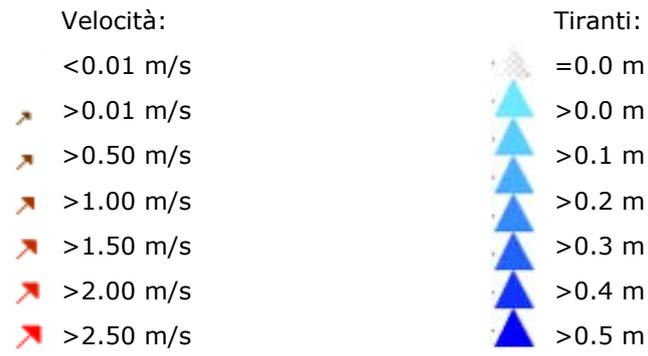
8.7.2.2 Gestione ordinaria – ricircoli

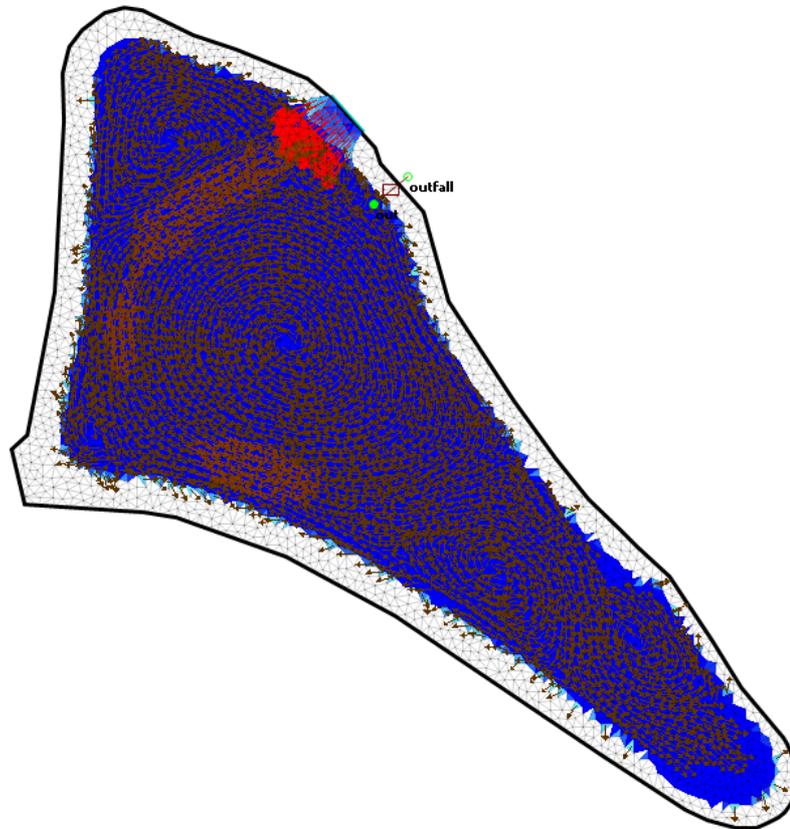
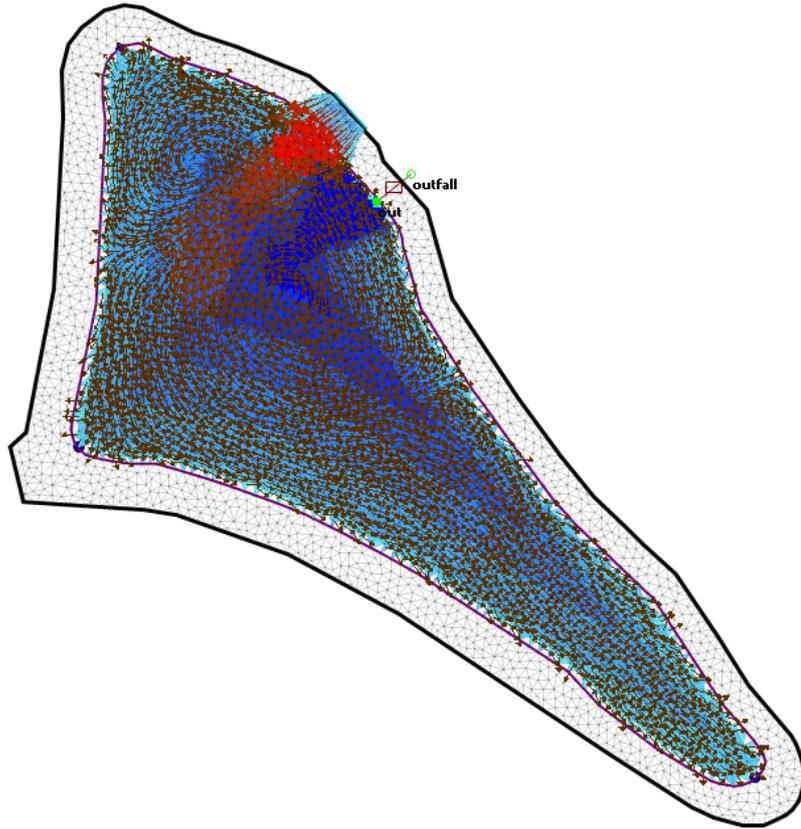
Nel caso della gestione ordinaria il problema principale è la possibile presenza di aree cosiddette "morte" nelle quali la velocità della corrente è molto bassa se non nulla, dove pertanto si producono ristagni che danno luogo a problemi olfattivi e visivi. Lo studio della corretta alimentazione della vasca nel periodo della gestione ordinaria, che è quindi relativo a circa 320 giorni all'anno, è di importanza fondamentale per consentire la fruizione del parco e delle strutture ricreative.

Come è visibile dal risultato delle simulazioni, riportato parzialmente in modo grafico nel seguito, non esiste una modalità di alimentazione della vasca che garantisca l'assenza di "zone morte", a causa dell'elevata estensione areale della stessa e del relativamente basso valore della portata immessa.

Ne consegue pertanto la necessità di alternare diverse modalità di alimentazione, come mostrato nel seguito, in modo tale che ciascuna modalità abbia aree nelle quali la corrente è ferma che siano differenti dalla modalità precedente e successiva, così da garantire il ricambio complessivo dell'acqua invasata ed eliminare i problemi sopra citati.

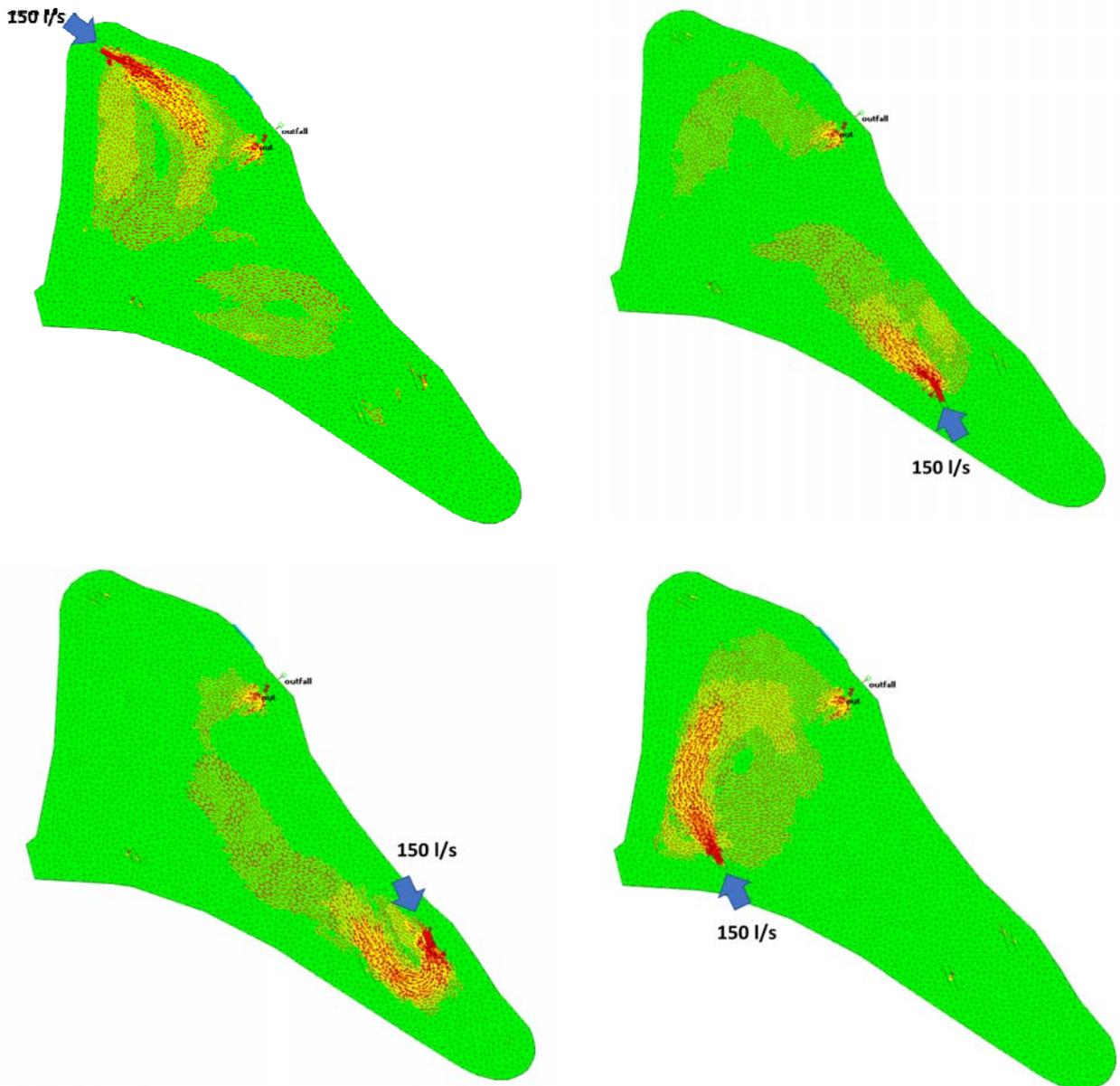
8.7.3 Risultati della simulazione bidimensionale in caso di evento di piena

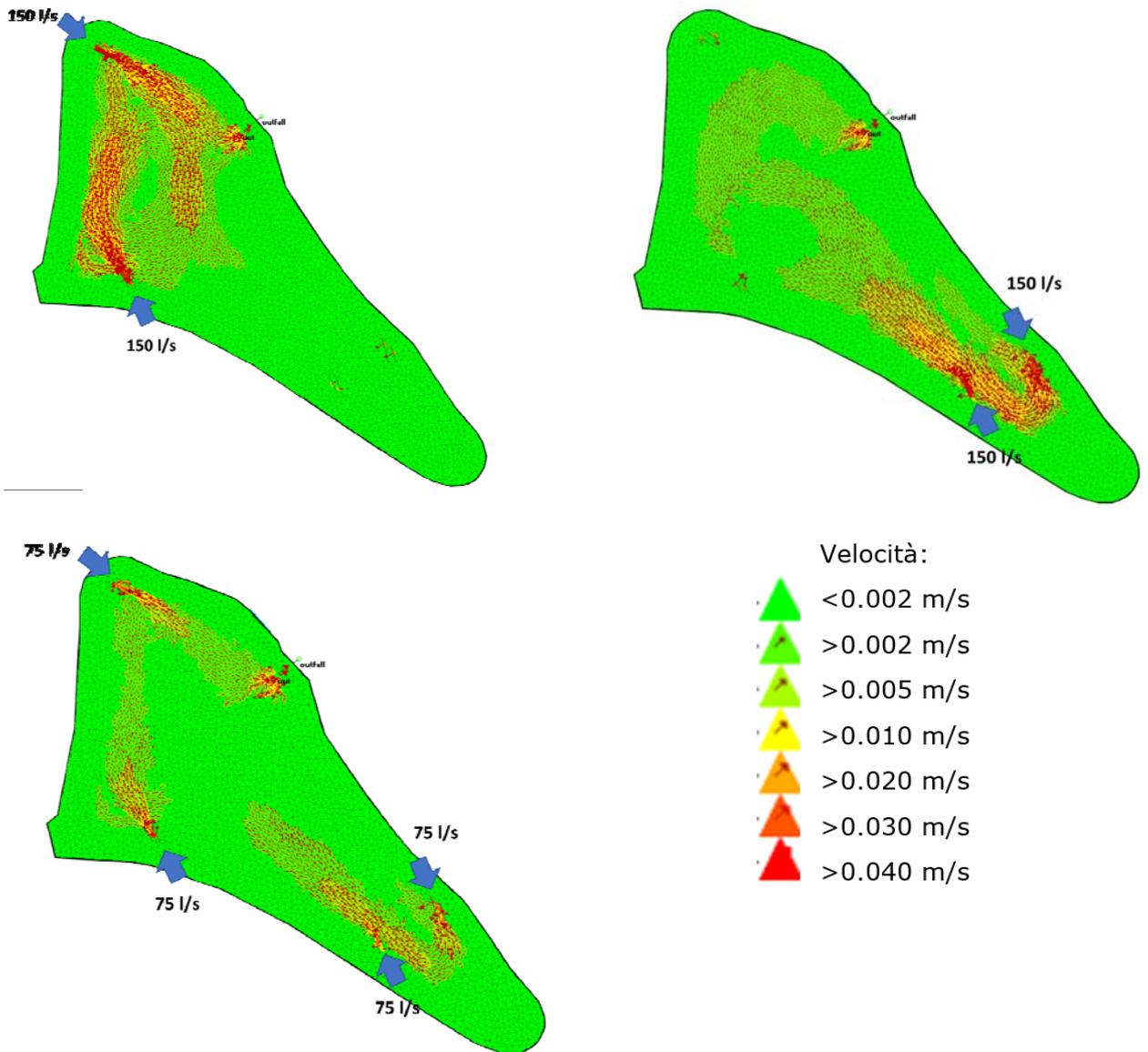




8.7.4 Risultati della simulazione del ricircolo

Velocità:



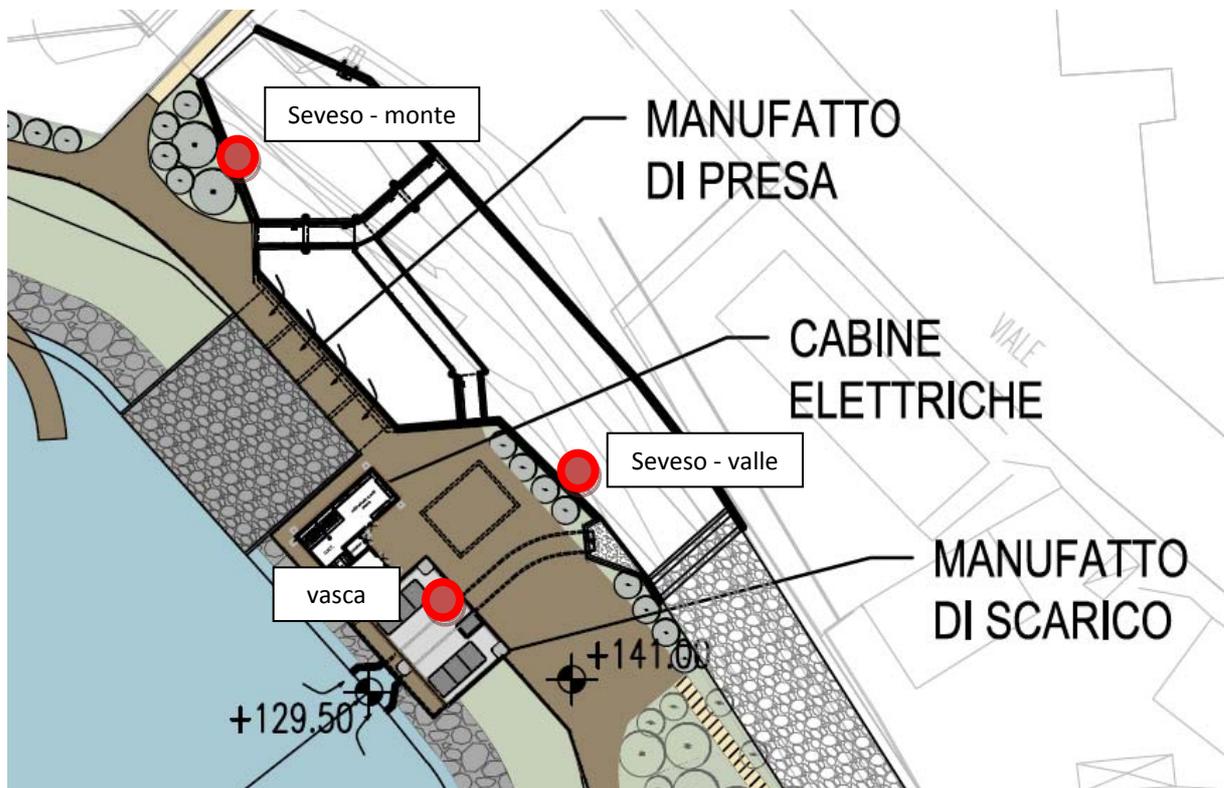


9 MODALITA' DI FUNZIONAMENTO DELL'OPERA

9.1 Strumenti di monitoraggio dei livelli idrici

Per il monitoraggio dell'intero funzionamento dell'invaso saranno utilizzati quattro sensori di livello; uno è il sensore esistente localizzato all'interno della tombinatura del Seveso in via Valfurva mentre altri tre saranno installati in punti specifici dell'opera, ovvero:

- **SEVESO-MONTE:** il sensore di livello (in configurazione ridondata sensore radar+ultrasuoni), posizionato in destra idraulica a valle del ponte di attraversamento incluso tra l'opera di presa e lo sgrigliatore, misurerà il livello idrico del corso d'acqua a monte delle paratoie, in modo tale da permettere, insieme all'informazione sul grado di apertura delle paratoie, un controllo delle portate in arrivo da monte ed una verifica del regime di funzionamento verso il Seveso o verso la vasca di laminazione;
- **SEVESO-VALLE:** il sensore di livello (in configurazione ridondata sensore radar+ultrasuoni), posizionato a valle dell'opera di presa e subito a monte del canale di scarico, misurerà il livello idrico del corso d'acqua a valle delle paratoie, in modo da permettere un doppio controllo sulle informazioni fornite dal sensore di monte in combinazione con l'informazione sul grado di apertura delle paratoie; la ridondanza dell'informazione permette di implementare un avviso di allerta in caso di incongruenza dei dati per qualsiasi determinato regime di funzionamento dell'opera;
- **VASCA:** il sensore di livello (in configurazione ridondata sensore radar+ultrasuoni), posizionato all'interno del manufatto di scarico, presso la vasca con le pompe di ricircolo, avrà una doppia funzione:
 - o in caso di piene monitorerà il grado di riempimento della vasca, avendo l'importante compito di attivare l'allarme in caso di raggiungimento della massima capacità dell'invaso;
 - o durante i periodi di tempo asciutto governerà il livello del laghetto permanente, attivando le operazioni di rimpinguamento del laghetto in caso di abbassamenti di livello o attivando lo scarico in Seveso in caso di piogge deboli e locali che cadano direttamente sull'area dell'invaso senza provocare l'attivazione dell'invaso.



9.2 Gestione del ciclo di funzionamento della vasca

Il "sistema vasca" deve essere in grado di funzionare in modo automatico senza intervento di operatore se non in caso di guasti o manutenzione.

Per fare questo sarà installato un complesso hardware e software che sia in grado di governare i vari "scenari" che il funzionamento della vasca prevede.

Data la numerosità degli scenari e la complessità delle manovre da eseguire sulle varie parti dell'impianto, oltre alla funzione automatica si prevede che tramite un pannello touch-screen possano essere richiamati, da parte degli operatori, direttamente gli scenari di manovra e di conseguenza azionare automaticamente tutti i servomeccanismi di regolazione ed i comandi necessari alle varie funzioni predisposte.

Segue una descrizione per punti di un intero ciclo di funzionamento della vasca, prevedendone le varie opzioni di funzionamento:

- **Situazione ordinaria:** durante i periodi di tempo asciutto la gestione dell'opera consiste unicamente nelle operazioni di regolazione dei livelli, ricircolo e ricambio delle acque del laghetto permanente. Le paratoie lungo il Seveso presso il manufatto di presa sono già posizionate e regolate per lasciar transitare verso valle la massima portata compatibile in modo tale da determinare l'inizio del funzionamento dell'invaso unicamente in funzione delle portate transitanti in alveo, senza bisogno di effettuare alcuna regolazione, mentre le paratoie di ingresso verso la soglia sfiorante sono completamente aperte;
- **Situazione di preallerta:** qualora venga diramata dalla Protezione Civile una preallerta per rischio idraulico sul bacino del torrente Seveso, si procederà ad interrompere qualsiasi operazione di gestione del laghetto e verranno attivate le pompe di svuotamento in Seveso, azzerando il livello del laghetto in previsione dell'arrivo della piena;
- **Esondazione:** con l'arrivo della piena, al superamento della portata limite transitabile nella tombinatura a cui erano state precedentemente regolate le paratoie lungo il Seveso, la geometria del manufatto di presa determinerà l'attivazione della soglia di sfioro e dunque l'inizio dell'invaso delle acque nel bacino; in questa fase le uniche operazioni necessarie sono la progressiva regolazione in chiusura delle paratoie lungo il Seveso per garantire una portata costante verso valle ed il controllo costante di tutti i livelli registrati al fine di monitorare l'andamento della fase di carico del bacino;
- **Massimo invaso del bacino:** al raggiungimento del massimo invaso del bacino (139.0 m slm), nel caso in cui la piena non sia ancora esaurita e dunque il bacino di laminazione sarà insufficiente ad evitare esondazioni in Milano, si dovrà procedere con l'esclusione della vasca da sistema; tale operazione consiste essenzialmente nella completa apertura delle paratoie lungo il Seveso: la completa apertura delle paratoie lungo il Seveso con vasca piena determina infatti l'interruzione dell'alimentazione verso il bacino ed il deflusso delle acque verso valle; contemporaneamente sarà opportuno operare chiudendo le paratoie di alimentazione della soglia sfiorante in modo da consentire la ritenuta di tutto il volume invasato nel bacino;
- **Svuotamento del bacino:** terminato l'evento di piena, ovvero una volta che le portate defluenti in Seveso scenderanno al di sotto della portata di attivazione della soglia sfiorante, si potrà procedere immediatamente all'inizio delle operazioni di svuotamento dell'invaso ed al ripristino delle regolazioni delle aperture delle paratoie lungo il Seveso. Qualora il livello delle acque invasate sia superiore al livello del fondo del canale di scarico, le operazioni di svuotamento potranno iniziare a gravità; per livelli inferiori si procederà attivando le pompe del manufatto di scarico fino al completo svuotamento dell'invaso;
- **Lavaggio del bacino:** una volta che tutto il bacino sarà nuovamente privo di acque, ovvero nelle fasi finali dello svuotamento, si potrà dare il via alle operazioni di pulizia (previo accertamento del cessato allarme per rischio idraulico lungo l'asta del Seveso); le operazioni consisteranno inizialmente nell'ingresso di mezzi dotati di pale per rimuovere, accumulare e caricare su camion la maggior parte dei sedimenti accumulati sul fondo, in seguito potranno entrare in azione mezzi della stessa tipologia dei mezzi utilizzati per lo spazzamento delle strade e dotati di lance e spazzole per la pulizia delle sponde e del

fondo. Queste operazioni potranno essere coadiuvate dall'attivazione dei pozzi di falda per assicurare una portata entrante in vasca che contribuisca al lavaggio del fondo;

- **Ripristino del laghetto:** terminate le operazioni di pulizia si procederà al ripristino del laghetto alimentando l'invaso con i pozzi di falda;
- **Manutenzioni:** oltre al ciclo di funzionamento con le varie fasi sopra descritte, la geometria del manufatto di scarico permette vari tipi di operazioni di manutenzione: in particolare è opportuno specificare che qualsiasi operazione debba essere effettuata sulle pompe di svuotamento potrà essere condotta senza necessità di svuotare il laghetto permanente, grazie alla possibilità di escludere la connessione tra laghetto e vasca pompe per mezzo di paratoie.

Per una più dettagliata comprensione dello stato di funzionamento e della regolazione di pompe, valvole e paratoie in tutte le fasi di funzionamento dell'opera, si legga la tabella riportata nella pagina seguente.

L'intero sistema sarà governato dalle misure di livello che verranno lette dai sensori sul Seveso e nella vasca. Tali misure potranno dare i consensi al funzionamento dei macchinari e degli organi elettromeccanici di regolazione. Anche in questo caso si allega una tabella con i possibili passaggi funzionali in base ai livelli misurati.

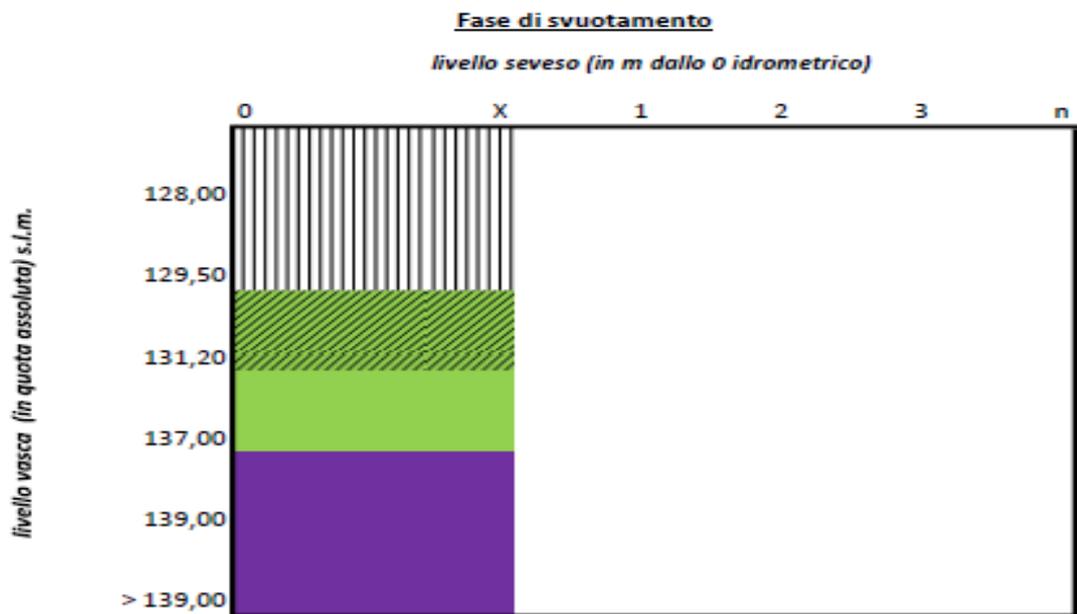
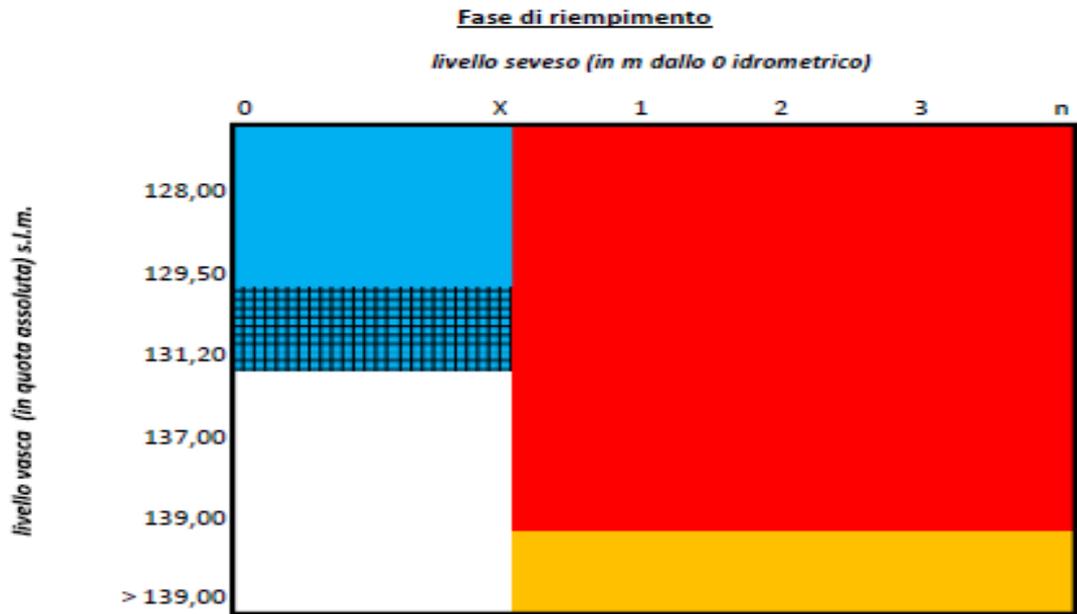
Legenda

OFF / chiuso	●
ON / aperto	○
aperta - regolata a misura fissa	○/reg
aperta - in regolazione continua	reg
funzionamento a rotazione	◆

note

1	comando con intervento operatore
2	regolazione comandata da livello seveso

	valvole (VM)										paratoie (PM)										pompe (P)		
	MOV-r-09	MOV-r-04	MOV-r-05	MOV-r-06	MOV-r-07	MOV-r-08	MOV-r-03	MOV-r-02	MOV-r-01	MOV-r-10	SG-c-01	SG-c-02	SG-c-03	SG-c-04	SG-c-05	SG-s-03	SG-s-04	SG-s-01	SG-s-02	pompe pozzi	pompe primarie	pompe multifunzione	
normale (ricircolo)	●	○/◆	○/◆	○/◆	○/◆	○	○/◆	○/◆	●	●	○/reg	○/reg	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○/◆	
svuotamento lago	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○/reg	○/reg	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	
esondazione	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	reg 2	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	●	
esondazione con vasca piena	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	●	
fine evento (svuotamento a gravità)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○/reg	○	○	○	○/● ₂	○	○	○	○	○	○	●	
fine evento (svuotamento pompe)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○/reg	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
lavaggio vasca	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○/reg	○/reg	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○/◆	
ripristino lago	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○/reg	○/reg	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ripristino lago + ricircolo	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○/reg	○/reg	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○/◆	
svuotamento per manutenzione	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
manutenzione	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
lavaggio tubazioni / prove	○	○	○	○	○	○/◆	○	○/◆	○/◆	○/◆	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	



Legenda

- normale (ricircolo)
- svuotamento lago
- esondazione
- esondazione con vasca piena
- fine evento (svuotamento vasca a gravità)
- fine evento (svuotamento vasca con pompe)
- ripristino lago
- operazioni di manutenzione

Il sistema sarà in grado di gestire/memorizzare/remotizzare gli eventi/allarmi/anomalie/eccetera che un'opera del genere può presentare nel funzionamento.

9.3 Assetto di funzionamento della vasca di laminazione nell'ambito dell'intero progetto di riassetto del torrente Seveso previsto dall'Autorità di Bacino

La futura gestione della vasca, come previsto anche dagli scenari simulati con il modello idraulico, prevedrà due macro-situazioni:

- FASE TRANSITORIA: dal momento dell'entrata in funzione della vasca di laminazione, fino al momento in cui il completamento dei lavori per la regimazione dell'asta del Seveso a monte di Palazzolo saranno conclusi e sarà ottenuta la condizione di portata nulla a valle del nodo di Palazzolo, la vasca funzionerà con un grado di regolazione della paratoia principale tale da consentire di immettere nella tombinatura del Seveso sotto Milano, una portata massima di 40 m³/s, ovvero temporaneamente in deroga al franco minimo di 1 metro previsto dalla normativa ma con una portata che consente di evitare esondazioni lungo il corso di Seveso, Martesana e Redefossi;
- FASE FINALE: una volta che sarà conseguito l'azzeramento delle portate provenienti dal nodo di Palazzolo, come previsto dalla pianificazione dell'Autorità di Bacino, la regolazione della paratoia di attivazione dell'invaso potrà essere modificata in maniera tale da limitare la portata in ingresso alla tombinatura al valore massimo di 20 m³/s, in accordo con quanto previsto nel capitolo dedicato all'assetto di progetto finale di Seveso-Martesana-Redefossi.

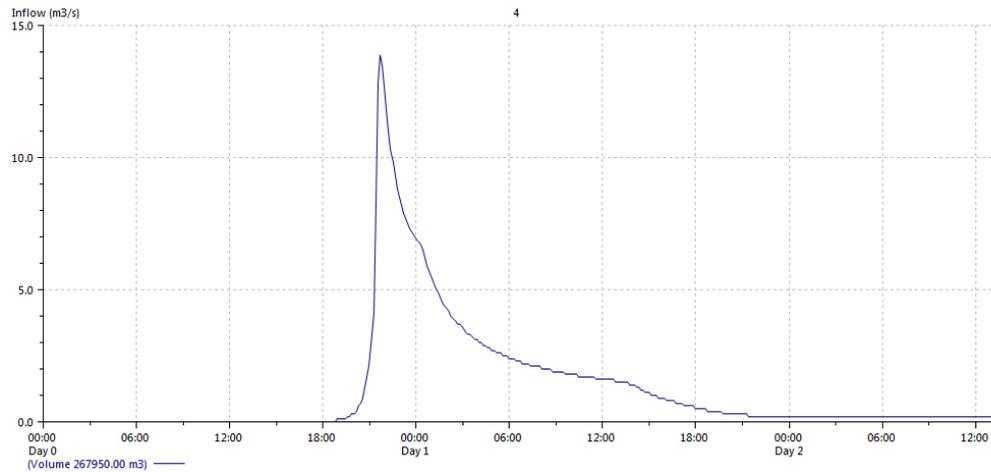
Occorre specificare però che la portata transitante attraverso le paratoie di regolazione previste lungo il Seveso non è pari alla portata entrante nella tombinatura di Milano poiché a valle dell'opera di presa insistono sull'asta del torrente Seveso altri scarichi provenienti dalle fognature comunali di Bresso e Cinisello Balsamo.

Nel dettaglio, i principali scarichi presenti a valle dell'opera di presa consistono in:

- Canale Breda: alimentato principalmente dagli sfioratori di piena delle fognature di Cinisello Balsamo;
- Scarico di by-pass del depuratore di Bresso;
- Scarico delle acque depurate dal depuratore di Bresso.

Tali scarichi sono già stati considerati nel modello idraulico utilizzato a supporto del dimensionamento dell'opera in oggetto, assegnando ad essi un idrogramma di scarico che, con tempo di ritorno pari a 100 anni ha una portata di picco pari a 14 m³/s; sono infatti state considerate le seguenti portate di picco per ciascuno scarico:

- 8 m³/s per il Canale Breda;
- 4 m³/s per lo scarico di by-pass del depuratore di Bresso;
- 2 m³/s per lo scarico delle acque depurate dal depuratore di Bresso.



Idrogramma di scarico per T=100 anni generato dagli scarichi a valle dell'opera di presa

Assumendo queste portate massime scaricate come immutabili nel tempo, sia in "fase transitoria" sia in "fase finale", impone che la regolazione delle paratoie lungo il Seveso sia tale da lasciar transitare:

- in FASE TRANSITORIA" una portata massima di circa 26 m³/s, che, sommata alla portata massima di 14 m³/s permette di limitare la portata massima all'interno della tombinatura a 40 m³/s;
- in FASE FINALE" una portata massima di circa 6 m³/s, che, sommata alla portata massima di 14 m³/s permette di limitare la portata massima all'interno della tombinatura a 20 m³/s.

A livello progettuale dunque, la fase finale coincide con quanto simulato nello **scenario 6** illustrato nei capitoli precedenti. L'invaso di laminazione è infatti idoneo a sopportare tale scenario di regolazione per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni.

10 VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PONTICELLO ATTRAVERSAMENTO TORRENTE SEVESO A VALLE DELLO SGRIGLIATORE

Il progetto prevede la realizzazione di una traversa di regolazione verso una nuova vasca di laminazione posta in destra idraulica sul torrente Seveso subito a valle del manufatto sgrigliatore del comune di Bresso. Tale opera ha lo scopo di laminare le piene del torrente Seveso pertanto si prevede avrà l'effetto di diminuire le attuali portate di piena e quindi i conseguenti tiranti idrici nella tratta di valle. Inoltre, a valle dell'opera di restituzione della vasca è previsto un intervento di riqualificazione spondale dell'alveo del torrente Seveso per circa 400 metri.

Subito a monte della traversa di regolazione si riscontra la presenza di un manufatto di attraversamento esistente (a valle dello sgrigliatore).

La 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", approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n.2 dell'11 maggio 1999 ed aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006, si applica sia alle nuove opere in progetto che a quelle esistenti, in sede di verifica di compatibilità ai sensi e per gli effetti dell'art. 19, comma 2, Titolo I delle Norme di attuazione

Le indicazioni contenute nella Direttiva n.4 indicano gli aspetti da valutare per fornire un quadro esaustivo riguardante la compatibilità dell'opera oggetto di valutazione.

La Direttiva, già approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2/99 e vigente ai sensi dell'art. 15 delle Norme di attuazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) per l'ambito territoriale interessato dalla zonizzazione della regione fluviale dello stesso PSFF, è estesa all'intero ambito territoriale di riferimento del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) di cui al Titolo II delle relative Norme di attuazione, per questo è applicabile anche al ponticello sul torrente Seveso, oggetto di trattazione in questo capitolo.

Ai fini della valutazione di compatibilità, nei paragrafi seguenti vengono valutati gli effetti dell'opera di attraversamento esistente sul tronco di corso d'acqua interessato, relativamente agli aspetti riportati di seguito e prendendo in considerazione i rilievi topografici eseguiti a supporto dell'intera progettazione della vasca di laminazione.

- E.1. Modifiche indotte sul profilo involuppo 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 di 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.

10.1 Scenari di stato di fatto e di progetto

Nel seguito si riportano i risultati dei vari scenari di simulazione considerati:

- **SCENARIO 0: attuale stato di fatto**

Stato di fatto ed evento con tempo di ritorno di 100 anni.

- **SCENARIO 6: finale con variazione pervietà stato di progetto**

Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo (tutte le vasche di laminazione attive), laminazione dell'onda di piena da parte della vasca in progetto al fine di garantire l'ingresso nella tombinatura del Seveso di una porta paria circa 20 m³/s in modo da garantire nella tombinatura stessa un franco idraulico pari ad 1 m rispetto all'inviluppo dei livelli di piena con tempo di ritorno di 100 anni.

10.2 E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena

Rappresentano l'effetto di restringimenti di sezioni o di ostacoli al deflusso nel tratto di corso d'acqua interessato derivanti dall'intervento: le modifiche devono essere quantificate sulla base del confronto tra il profilo di piena in condizioni indisturbate e quello a intervento realizzato; vanno inoltre evidenziati, qualora presenti, effetti temporanei dello stesso tipo connessi alle fasi di realizzazione dell'opera.

Le immagini seguenti rappresentano planimetria, sezione trasversale e sezione longitudinale del ponticello oggetto di verifica. Le spalle degli appoggi dell'impalcato sono al di fuori delle sponde del torrente, l'intradosso dell'impalcato risulta essere a quota 141.65 m slm.

I livelli alla sezione del manufatto di attraversamento risentono dalla regolazione delle paratoie di della traversa di regolazione del manufatto di presa della vasca in progetto.

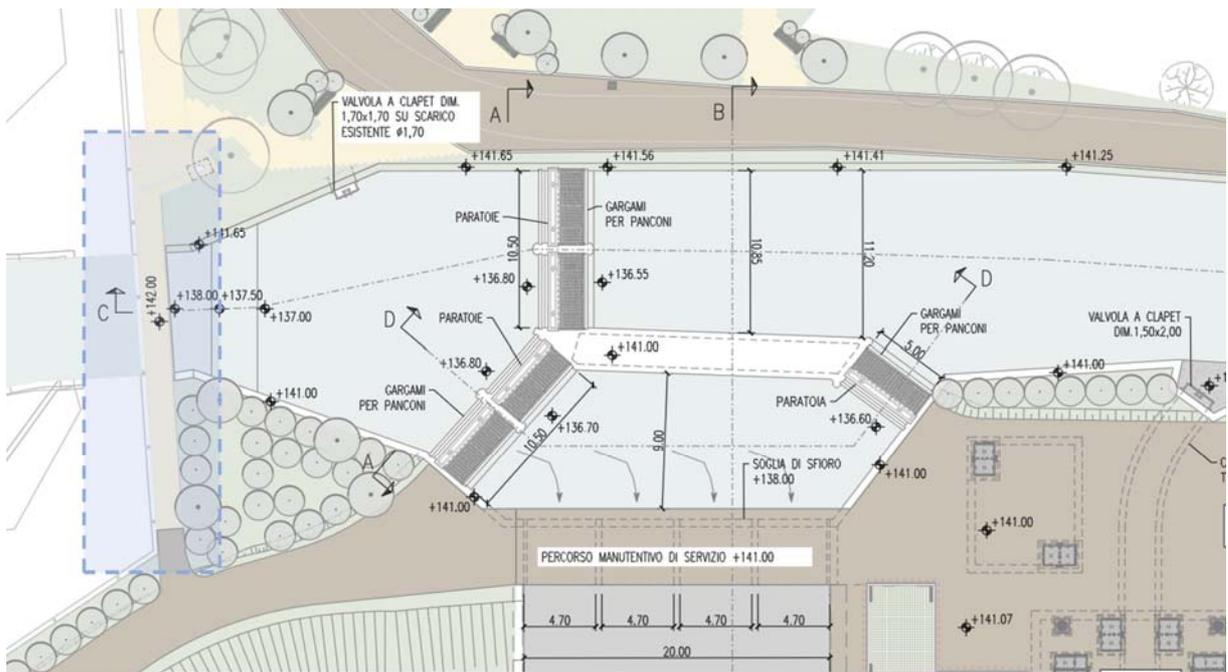
Si riassumono in tabella i risultati delle simulazioni idrauliche condotte nei vari scenari di stato di fatto e di progetto dove si mostra risulta verificata la compatibilità idraulica del ponte essendo rispettato il franco minimo di 1 metro previsto dalla normativa (H_{max} =livelli idrico di piena; F_{min} in tabella 1).

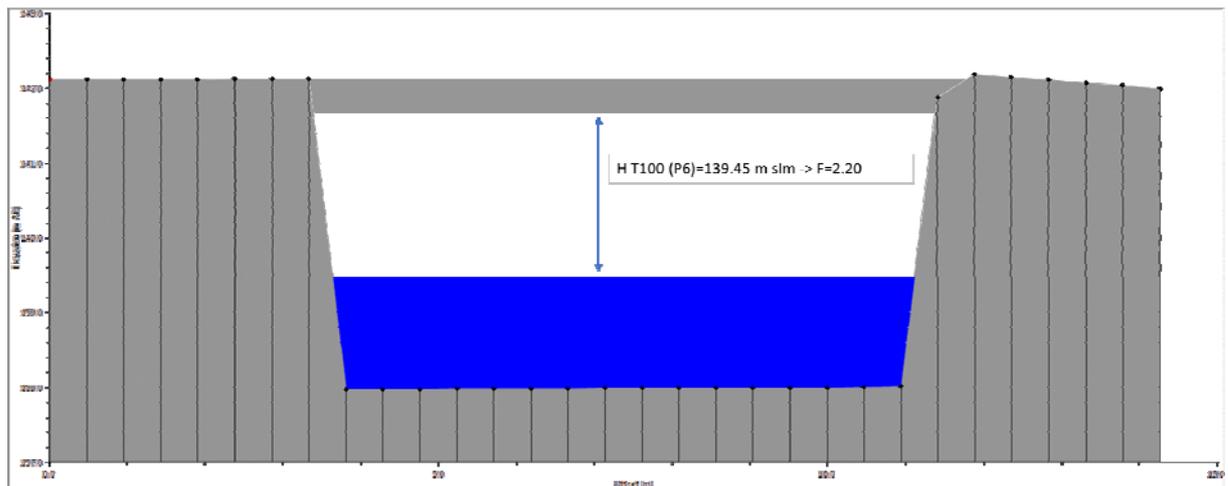
Si osservi che la vasca in progetto è progettata come parte finale di un complesso sistema di invasi di laminazione lungo il torrente Seveso. Fintantoché non saranno attivi tutte le vasche a monte, che garantiranno contributo nullo di portata a valle del nodo di Palazzolo, l'opera in progetto si troverà in una fase transitoria in cui non potrà funzionare in maniera ottimale. In tale fase transitoria pertanto si potrà garantire il franco idraulico sul manufatto considerando regolando opportunamente il livello delle paratoie e se necessario aprendo completamente le paratoie verso il Seveso si otterranno dei livelli idrici del tutto simili a quanto ottenuto per lo scenario di stato di fatto (S0) dal momento che la capacità di deflusso del canale di bypass è pari a quella dello stato attuale del Seveso.

Non si ravvisa dunque alcuna interferenza tra il profilo di inviluppo della piena e l'intradosso dell'impalcato o le sue spalle.

Tabella 1. Livelli di piena nella sezione del ponticello per i diversi scenari simulati con tempo di ritorno 100 anni		
	P0 T100	P6 T100
H_{max} [m slm]	140.30	139.68
F_{min} [m]	1.35	1.97

Sezione	P4-T100				P5-T100				P6-T100			
	h [m slm]	H [m slm]	Q [m³/s]	W [m³]	h [m slm]	H [m slm]	Q [m³/s]	W [m³]	h [m slm]	H [m slm]	Q [m³/s]	W [m³]
S1	3.06	140.06	76.8		1.34	138.35	32.88		1.97	138.78	32.83	
S2	3.24	140.05	42.8		1.52	138.32	8.50		1.97	138.77	25.16	
S3	2.78	139.43	74.5		1.00	137.67	24.28		0.53	136.65	7.67	
S4	9.05	139.15	42.0	273'954	0.70	130.80	8.40	20'346	5.31	135.41	25.00	148'877
S5 (S10)	3.42	139.05	80.0		1.21	136.95	25.00		0.67	136.41	9.54	
S6 (S11)	3.42	139.94	80.0		1.24	136.91	25.00		0.69	136.36	9.52	
S7 (s8.41)	3.98	139.10	80.0		1.60	136.61	25.00		1.10	136.11	9.53	





10.3 E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo

Vanno quantificate, ove presenti, le riduzioni delle superfici allagabili causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale mettendo in evidenza la riduzione del volume di invaso e il corrispondente aumento del colmo di piena.

La sezione del manufatto di attraversamento non viene modificata e pertanto non si ravvisano riduzioni di superfici allagabile causate dall'intervento in progetto che anzi è proprio finalizzato a creare un bacino di laminazione per le piene del torrente Seveso.

10.4 E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti

Vanno evidenziate localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto che danno luogo alle possibili interazioni e gli accorgimenti adottati (distanze di rispetto, soluzioni costruttive) per garantire l'assenza di effetti negativi sulla stabilità e sull'efficienza di funzionamento delle opere idrauliche.

Le fotografie riportate nei paragrafi precedenti mostrano la sezione allo stato di fatto del ponticello in esame: né le spalle né l'impalcato del ponte interferiscono con le opere di difesa esistenti o in progetto.

Inoltre, la vasca di laminazione in progetto e l'intervento di riqualificazione spondale in progetto assolvono alla funzione di "difesa idraulica".

Si sottolinea che sia allo stato di fatto sia allo stato di progetto il manufatto di attraversamento risulta avere un franco minimo superiore ad 1 metro (tabella 1).

10.5 E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento

Nel caso in cui l'intervento in progetto comporti la necessità di realizzare opere idrauliche di sistemazione dell'alveo, queste ultime vanno definite a livello di progetto definitivo, esplicitandone la compatibilità e l'integrazione con le opere idrauliche esistenti.

Il manufatto di attraversamento risulta avere un franco minimo garantito superiore ad 1 metro, non si prevede nessun ulteriore tipo di opera idraulica di sistemazione dell'alveo oltre a quelle necessarie ai fini dell'intervento in progetto.

Per quanto riguarda le opere di sistemazione spondale previste dall'intervento si rimanda alla relazione generale e alle tavole CT-160 e CT-18.

10.6 E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena

Valutazione degli effetti della soluzione progettuale proposta per l'intervento in rapporto all'assetto morfologico attuale dell'alveo e alla sua prevedibile evoluzione, con evidenziazione degli elementi che garantiscono l'assenza di modificazioni indotte sia sull'alveo inciso (effetti erosivi di fondo e/o di sponda, modificazioni di tracciato planimetrico) che su quello di piena (attivazione di vie di deflusso preferenziali incompatibili con l'assetto e le opere esistenti).

Come illustrato al paragrafo precedente, l'intervento stesso è classificabile come opera di "difesa idraulica" volta a migliorare e riqualificare la capacità idraulica del torrente Seveso non solo nelle tratte di alveo oggetto di intervento ma lungo tutta l'asta urbana del Seveso compresa la tratta da valle della vasca all'inizio della tombinatura; la definizione progettuale dell'intervento è stata condotta fino al livello esecutivo ed il progetto contiene relazioni di calcolo e particolari strutturali ed esecutivi dei vari elementi.

10.7 E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.

Vanno evidenziate le modificazioni conseguenti alla realizzazione dell'opera e gli interventi di mitigazione adottati, con particolare riferimento alle emergenze connesse al sistema fluviale e alle componenti naturalistiche, ambientali e paesistiche più sensibili nei confronti degli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera.

Il manufatto di attraversamento esistente non verrà modificato dal presente intervento e pertanto non si prevedono in merito interventi di mitigazione.

Per quanto riguarda invece l'intervento in progetto, la progettazione di inserimento paesistico si è in prima fase confrontata con i vincoli dati dall'area e dalle esigenze idrauliche del progetto. Il progetto non poteva infatti prescindere da queste ultime e dalla necessità di mantenere il dato del volume d'acqua immettibile nella vasca (250'000m³). Di conseguenza, considerando anche la forma triangolare dell'area, la morfologia della vasca risultava pressoché definita. Partendo da questa prima forma si è proceduto a modellare e addolcire le sponde al fine di una maggiore integrazione dell'opera con il contesto e questo lavoro di modellazione è risultato funzionale anche all'inserimento della vegetazione e dei percorsi.

L'analisi visuale ha poi aiutato a definire le aree più sensibili e ad articolare gli elementi del progetto di inserimento paesistico-ambientale ed idraulico. Ad esempio, è stato considerato un ridimensionamento degli spazi accessori alle opere di presa ed una loro schermatura vegetale, al fine di diminuirne l'impatto visivo nei confronti delle abitazioni limitrofe.

Inoltre, un'esigenza importante è stata quella di rendere la forma e le soluzioni progettuali della vasca con i possibili diversi livelli idrici. La necessità di impermeabilizzare le sponde e la considerazione delle sollecitazioni che saranno dovute al rapido riempimento della vasca, hanno costituito infatti un vincolo per la possibilità di rivegetazione delle sponde. Per rispondere a queste problematiche si è reso necessario consolidare con una scogliera la base delle sponde, al di sopra di quest'ultima sarà presente una fascia a prato.

10.8 E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Vanno evidenziate le condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dell'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni. Vanno inoltre evidenziati gli accorgimenti e le misure tecniche adottati al fine di evitare condizioni di pericolo per le persone e di danno per i beni, come pure le eventuali riduzioni temporanee di funzionalità dell'intervento connesse al verificarsi di un evento di piena.

Come anticipato ai punti precedenti, il manufatto di attraversamento è esistente e non risulta interferente con le piene né per quanto riguarda le spalle né l'impalcato.

L'obiettivo principale del progetto consiste nella realizzazione di un volume di laminazione delle acque del torrente Seveso al fine di ottenere, in fase transitoria, un miglior grado di sicurezza idraulica delle aree frequentemente interessate dalle esondazioni del Seveso (zona Niguarda del Comune di Milano); a regime, con il completamento dei progetti di laminazione lungo il Seveso

previsti da AIPO, il sistema idrico del torrente Seveso dovrà raggiungere un grado di sicurezza tale da poter sopportare, senza esondazioni, eventi con tempo di ritorno centennale, garantendo un franco idraulico pari ad 1 metro lungo tutta la tombinatura cittadina del sistema Seveso, Martesana e Redefossi. Si rimanda alla relazione idraulica (CT-12) per maggiori dettagli sui calcoli e considerazioni svolte.

La vasca di laminazione in progetto avrà un volume di 250'000 m³ e dovrà svuotarsi entro 48 ore dall'evento di piena (è in grado di svuotarsi entro 34 ore) in modo da essere in grado di laminare un ulteriore evento di piena successivo.

L'opera di presa e la vasca saranno dotate di sensori di livello e paratoie automatizzate che permetteranno di regolare livelli e portate transitanti verso la vasca e verso il Seveso (e quindi la sua tombinatura nel comune di Milano).

11 VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA PONTICELLO ATTRAVERSAMENTO TORRENTE SEVESO A VALLE DELL'OPERA (S10-S11)

Il progetto prevede la realizzazione di una traversa di regolazione verso una nuova vasca di laminazione posta in destra idraulica sul torrente Seveso subito a valle del manufatto sgrigliatore del comune di Bresso. Tale opera ha lo scopo di laminare le piene del torrente Seveso pertanto si prevede avrà l'effetto di diminuire le attuali portate di piena e quindi i conseguenti tiranti idrici nella tratta di valle. Inoltre, a valle dell'opera di restituzione della vasca è previsto un intervento di riqualificazione spondale dell'alveo del torrente Seveso per circa 400 metri. Lungo tale tratta oggetto di riqualificazione è presente un manufatto di attraversamento esistente.

La 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", approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n.2 dell'11 maggio 1999 ed aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006, si applica sia alle nuove opere in progetto che a quelle esistenti, in sede di verifica di compatibilità ai sensi e per gli effetti dell'art. 19, comma 2, Titolo I delle Norme di attuazione

Le indicazioni contenute nella Direttiva n.4 indicano gli aspetti da valutare per fornire un quadro esaustivo riguardante la compatibilità dell'opera oggetto di valutazione.

La Direttiva, già approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2/99 e vigente ai sensi dell'art. 15 delle Norme di attuazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) per l'ambito territoriale interessato dalla zonizzazione della regione fluviale dello stesso PSFF, è estesa all'intero ambito territoriale di riferimento del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) di cui al Titolo II delle relative Norme di attuazione, per questo è applicabile anche al ponticello sul torrente Seveso, oggetto di trattazione in questo capitolo.

Ai fini della valutazione di compatibilità, nei paragrafi seguenti vengono valutati gli effetti di un'opera di attraversamento esistente sul tronco di corso d'acqua interessato, relativamente agli aspetti riportati di seguito e prendendo in considerazione i rilievi topografici eseguiti a supporto dell'intera progettazione della vasca di laminazione.

- 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 di 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.

11.1 Scenari di stato di fatto e di progetto

Nel seguito si riportano i risultati dei vari scenari di simulazione considerati ai fini della verifica:

- **SCENARIO 0: attuale stato di fatto**

Stato di fatto ed evento con tempo di ritorno di 100 anni

- **SCENARIO 6: finale con variazione pervietà stato di progetto**

Stato di progetto con portata nulla a Palazzolo, parziale occlusione della tombinatura del Seveso ed evento con tempo di ritorno di 100 anni

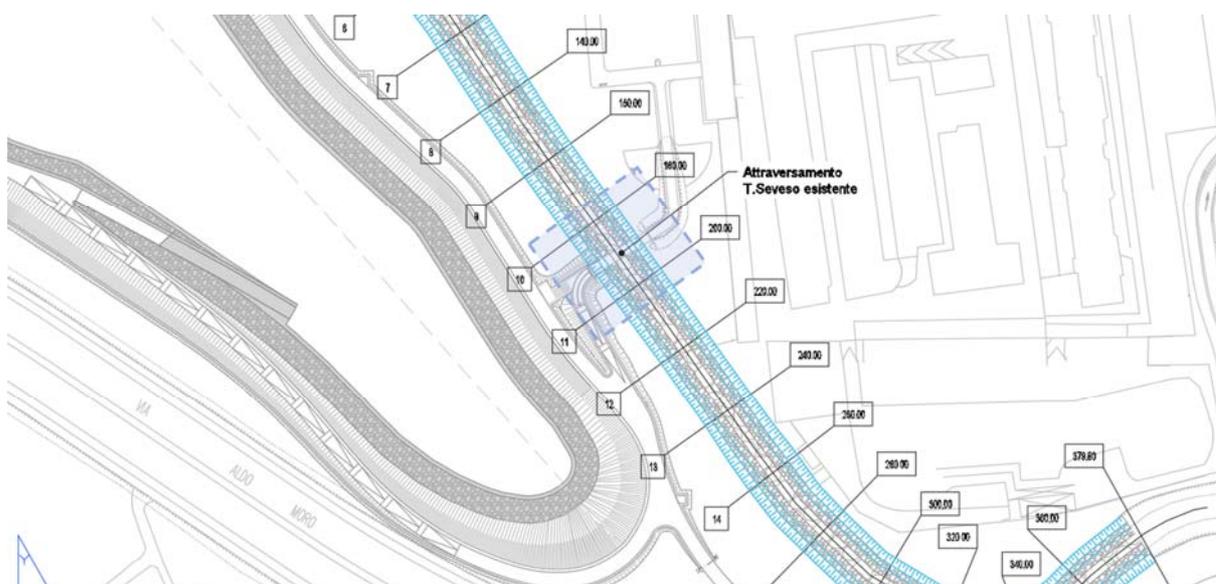
11.2 E.1. Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena

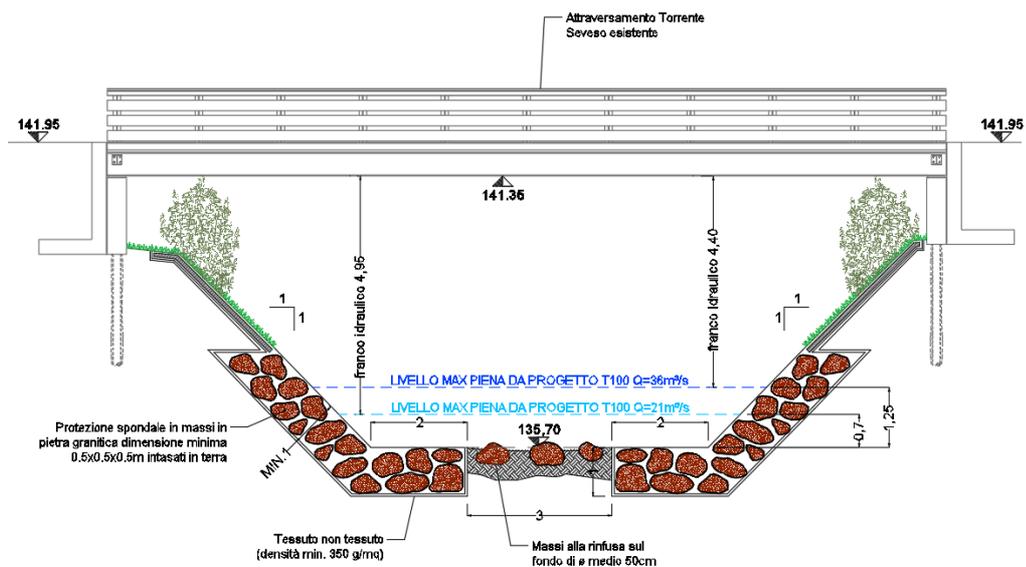
Rappresentano l'effetto di restringimenti di sezioni o di ostacoli al deflusso nel tratto di corso d'acqua interessato derivanti dall'intervento: le modifiche devono essere quantificate sulla base del confronto tra il profilo di piena in condizioni indisturbate e quello a intervento realizzato; vanno inoltre evidenziati, qualora presenti, effetti temporanei dello stesso tipo connessi alle fasi di realizzazione dell'opera.

Le immagini seguenti rappresentano planimetria, sezione trasversale e sezione longitudinale del ponticello oggetto di verifica. Le spalle degli appoggi dell'impalcato sono al di fuori delle sponde del torrente, l'intradosso dell'impalcato risulta essere a quota 141.65 m slm e dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte nei vari scenari di progetto risulta verificata la compatibilità idraulica del ponte essendo rispettato il franco minimo di 1 metro previsto dalla normativa (H_{max} livelli idrico di piena; F_{min} franco minimo rispetto all'intradosso in tabella 2).

Non si ravvisa dunque alcuna interferenza tra il profilo di involuppo della piena (inferiore al minimo livello arginale, e l'intradosso dell'impalcato o le sue spalle.

Tabella 2. Livelli di piena nella sezione del ponticello per i diversi scenari simulati con tempo di ritorno 100 anni		
	S0 T100	S6 T100
H_{max} [m slm]	139.63	136.41
F_{min} [m]	2.32	5.54





11.3 E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo

Vanno quantificate, ove presenti, le riduzioni delle superfici allagabili causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale mettendo in evidenza la riduzione del volume di invaso e il corrispondente aumento del colmo di piena.

La tratta oggetto di riqualificazione spondale del Seveso si trova a valle dell'opera di presa della vasca e pertanto ne beneficia dal punto di vista della laminazione delle portate di piena.

Volendo invece effettuare un confronto a parità di portata tra lo stato di fatto e lo stato di progetto, la sezione dell'alveo nella tratta oggetto di intervento viene leggermente allargata ed il fondo livellato e approfondito senza pertanto creare riduzioni della capacità di invaso dell'alveo (si vedano le tavole allegata al dossier progettuale CT-019 CT-157).

Con riferimento alla tabella presentata nei capitoli precedenti, la realizzazione del progetto assicura una diminuzione dei tiranti idrici ovvero, seppure in maniera trascurabile, una miglior capacità di deflusso dell'alveo del torrente Seveso.

In fase di cantiere, inoltre, si prevede di realizzare gli interventi con l'ausilio di tute longitudinali al fine di parzializzare la sezione idrica di magra (par. 12); il cantiere sarà supportato da sistemi di allerta idrometeorologica. In caso di eventi di piena che interessino il torrente Seveso, si prevederà l'abbandono delle aree di lavoro all'interno dell'alveo.

11.4 E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti

Vanno evidenziate localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto che danno luogo alle possibili interazioni e gli accorgimenti adottati (distanze di rispetto, soluzioni costruttive) per garantire l'assenza di effetti negativi sulla stabilità e sull'efficienza di funzionamento delle opere idrauliche.

Le fotografie sopra riportate mostrano la sezione allo stato di fatto del ponticello in esame: né le spalle né l'impalcato del ponte interferiscono con le opere di difesa esistenti o in progetto.

Inoltre, la vasca di laminazione in progetto e l'intervento di riqualificazione spondale in progetto assolvono alla funzione di "difesa idraulica" andando quindi ad alleggerire le portate ed i tiranti delle tratte di valle, e quindi anche nella sezione del manufatto di attraversamento esistente e oggetto della presente verifica. Si sottolinea che allo stato di fatto il manufatto di attraversamento risulta avere un franco minimo garantito superiore ad 1 metro, e che allo stato di progetto tale franco aumenterà ulteriormente (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

11.5 E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento

Nel caso in cui l'intervento in progetto comporti la necessità di realizzare opere idrauliche di sistemazione dell'alveo, queste ultime vanno definite a livello di progetto definitivo, esplicitandone la compatibilità e l'integrazione con le opere idrauliche esistenti.

Allo stato di fatto il manufatto di attraversamento risulta esistente e dalle simulazioni idrauliche svolte ai fini della progettazione dell'intervento si dimostra avere un franco minimo garantito superiore ad 1 metro, e tale franco verrà migliorato ulteriormente dall'intervento in progetto (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Pertanto, non si prevede nessun ulteriore tipo di opera idraulica di sistemazione dell'alveo oltre a quelle necessarie ai fini dell'intervento in progetto.

Per quanto riguarda le opere di sistemazione spondale previste dall'intervento si rimanda alla relazione generale e alle tavole CT-019.

11.6 E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena

Valutazione degli effetti della soluzione progettuale proposta per l'intervento in rapporto all'assetto morfologico attuale dell'alveo e alla sua prevedibile evoluzione, con evidenziazione degli elementi che garantiscono l'assenza di modificazioni indotte sia sull'alveo inciso (effetti erosivi di fondo e/o di sponda, modificazioni di tracciato planimetrico) che su quello di piena (attivazione di vie di deflusso preferenziali incompatibili con l'assetto e le opere esistenti).

Come detto al paragrafo precedente, l'intervento stesso è classificabile come opera di "difesa idraulica" volta a migliorare e riqualificare la capacità idraulica del torrente Seveso non solo nelle tratte di alveo oggetto di intervento ma lungo tutta l'asta urbana del Seveso compresa la tratta da valle della vasca all'inizio della tombinatura; la definizione progettuale dell'intervento è stata condotta fino al livello esecutivo ed il progetto contiene relazioni di calcolo e particolari strutturali ed esecutivi dei vari elementi.

11.7 E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.

Vanno evidenziate le modificazioni conseguenti alla realizzazione dell'opera e gli interventi di mitigazione adottati, con particolare riferimento alle emergenze connesse al sistema fluviale e alle componenti naturalistiche, ambientali e paesistiche più sensibili nei confronti degli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera.

Il manufatto di attraversamento esistente non verrà modificato dal presente intervento e pertanto non si prevedono in merito interventi di mitigazione.

Per quanto riguarda invece l'intervento in progetto, la progettazione di inserimento paesistico si è in prima fase confrontata con i vincoli dati dall'area e dalle esigenze idrauliche del progetto. Il progetto non poteva infatti prescindere da queste ultime e dalla necessità di mantenere il dato del

volume d'acqua immettibile nella vasca (250'000m³). Di conseguenza, considerando anche la forma triangolare dell'area, la morfologia della vasca risultava pressoché definita. Partendo da questa prima forma si è proceduto a modellare e addolcire le sponde al fine di una maggiore integrazione dell'opera con il contesto e questo lavoro di modellazione è risultato funzionale anche all'inserimento della vegetazione e dei percorsi.

L'analisi visuale ha poi aiutato a definire le aree più sensibili e ad articolare gli elementi del progetto di inserimento paesistico-ambientale ed idraulico. Ad esempio, è stato considerato un ridimensionamento degli spazi accessori alle opere di presa ed una loro schermatura vegetale, al fine di diminuirne l'impatto visivo nei confronti delle abitazioni limitrofe.

Inoltre, un'esigenza importante è stata quella di rendere la forma e le soluzioni progettuali della vasca con i possibili diversi livelli idrici. La necessità di impermeabilizzare le sponde e la considerazione delle sollecitazioni che saranno dovute al rapido riempimento della vasca, hanno costituito infatti un vincolo per la possibilità di rivegetazione delle sponde. Per rispondere a queste problematiche si è reso necessario consolidare con una scogliera la base delle sponde, al di sopra di quest'ultima sarà presente una fascia a prato.

Inoltre, considerando l'ambito di intervento, è stato proposto un sistema di percorsi che potessero assolvere non solo alla funzione di manutenzione della vasca, ma alla funzione fruitiva dell'area e delle aree limitrofe, dando una unitarietà alla viabilità dolce nel parco e aggiungendo unità naturalistiche di qualità oltre a spazi piacevoli per la fruizione da parte degli utenti del parco.

11.8 E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Vanno evidenziate le condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dall'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni. Vanno inoltre evidenziati gli accorgimenti e le misure tecniche adottati al fine di evitare condizioni di pericolo per le persone e di danno per i beni, come pure le eventuali riduzioni temporanee di funzionalità dell'intervento connesse al verificarsi di un evento di piena.

Come anticipato ai punti precedenti, il manufatto di attraversamento è esistente e non risulta interferente con le piene né per quanto riguarda le spalle né l'impalcato.

L'intervento in progetto prevede la riqualificazione spondale della tratta in cui si trova il ponticello.

L'obiettivo principale del progetto consiste nella realizzazione di un volume di laminazione delle acque del torrente Seveso al fine di ottenere, in fase transitoria, un miglior grado di sicurezza idraulica delle aree frequentemente interessate dalle esondazioni del Seveso (zona Niguarda del Comune di Milano); a regime, con il completamento del progetto di laminazione lungo il Seveso previsti da AIPO, il sistema idrico del torrente Seveso dovrà raggiungere un grado di sicurezza tale da poter sopportare, senza esondazioni, eventi con tempo di ritorno centennale, garantendo un franco idraulico pari ad 1 metro lungo tutta la tombinatura cittadina del sistema Seveso, Martesana e Redefossi. Si rimanda alla relazione idraulica (CT-12) per maggiori dettagli sui calcoli e considerazioni svolte.

La vasca di laminazione in progetto avrà un volume di 250'000 m³ e dovrà svuotarsi entro 48 ore dall'evento di piena (è in grado di svuotarsi entro 34 ore) in modo da essere in grado di laminare un ulteriore evento di piena successivo.

L'opera di presa e la vasca saranno dotate di sensori di livello e paratoie automatizzate che permetteranno di regolare livelli e portate transitanti verso la vasca e verso il Seveso (e quindi la sua tombinatura nel comune di Milano).

12 OPERE IDRAULICHE IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE

Per le fasi di cantiere in cui risulta necessaria l'applicazione di bypass per la realizzazione del manufatto di presa o per gli interventi di riqualificazione spondale (vedi tavole CT-157 e CT-18) che avverranno rispettivamente nelle fasi di cantierizzazione 7 e 10 è stata effettuata un'analisi idraulica al fine di dimensionare le opere idrauliche necessarie.

Gli interventi di cantierizzazione che necessitano la realizzazione di tali ture sono previsti in condizioni di asciutta del torrente Seveso, pertanto si procede nel prossimo paragrafo alla stima della portata media di magra del torrente presente mediamente nel torrente sempre dal momento che la durata prevista per ciascuna tura è dell'ordine di qualche giorno.

Si rimanda al piano di sicurezza per le procedure che avranno luogo in fase di cantiere in caso di allerta meteo ed eventuale piena del torrente.

12.1 Analisi di magra

Sono stati analizzati i dati dell'idrometro in gestione a MM SpA di via Ornato a Milano, che si colloca qualche centinaio di metri più a valle dell'inizio della tombinatura del Seveso.

In particolare, sono stati selezionati periodi di asciutta del Seveso durante i mesi estivi e durante i mesi invernali ed è stato ricavato per ciascun anno un valore medio di tirante idrico.

Infine, conoscendo la forma e la pendenza della sezione del punto di misura di via Ornato è stata derivata la portata corrispondente tramite la scala delle portate utilizzando come valore di tirante il valore medio del periodo 2014-2018.



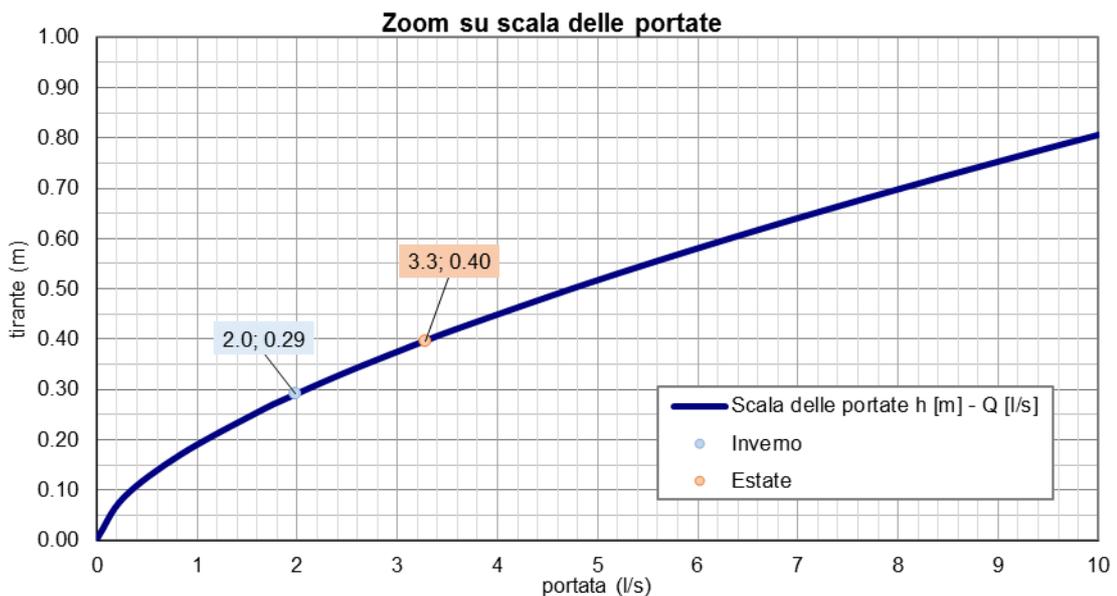
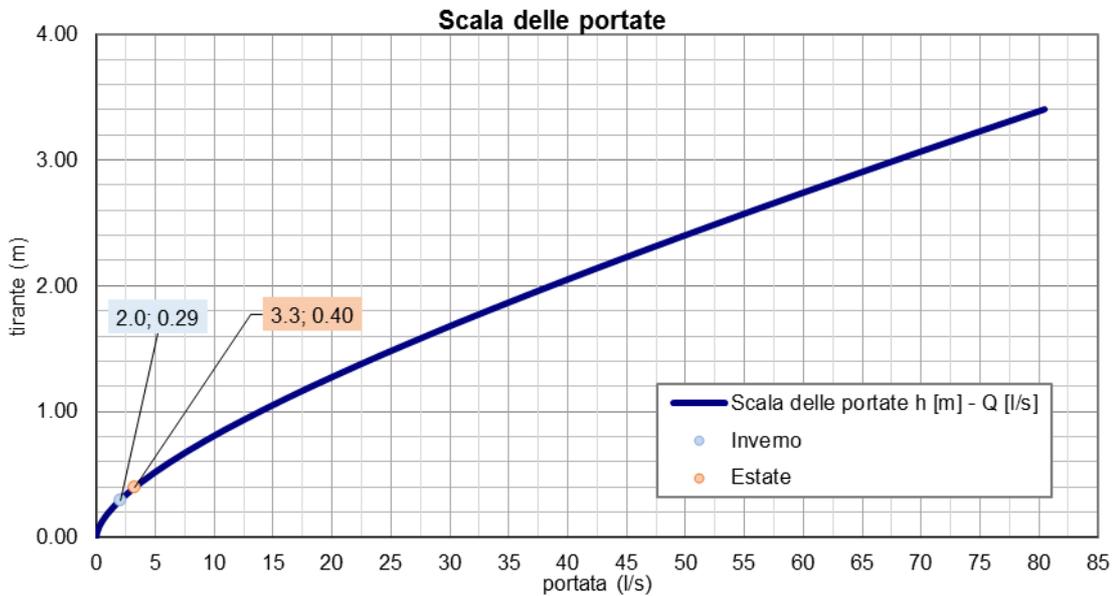
I dati di livello utilizzati nell'analisi sono relativi a periodi di magra estivi e invernali registrati negli anni 2014-2018.

Livelli magra	ESTATE	INVERNO
	Ornato	Ornato
h medio [m]		
2014	0.59	0.17
2015	0.35	0.37
2016	0.45	0.37
2017	0.30	0.33
2018	0.30	0.21
media	0.40	0.29

La sezione della tombinatura del Seveso nel nodo di Ornato risulta essere di forma scatolare 7,0 m x 3,4 m e pendenza pari a circa 0.2%.

Sulla base dei livelli di magra ricavati, le portate di magra risultano essere pari a:

- PERIODO ESTIVO: $Q=3.3 \text{ m}^3/\text{s}$
- PERIODO INVERNALE: $Q=2 \text{ m}^3/\text{s}$



Tuttavia, il nodo di via Ornato è posto a valle dell'immissione nel Seveso degli apporti dello scarico delle acque depurate dal depuratore di Bresso e del Canale Breda e pertanto può essere depurata dell'apporto medio stimato di tale immissione al fine di essere riferito alla tratta di Seveso più a monte e oggetto del presente intervento.

Si stima l'apporto medio dal canale Breda pari a circa 700 l/s, pertanto la portata di magra utilizzata per il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche in fase di cantierizzazione è quella estiva depurata di tale apporto.

➔ PORTATA DI MAGRA DI RIFERIMENTO: $Q=2.6 \text{ m}^3/\text{s}$

12.2 Descrizione delle ture previste in fase di cantiere

Per la realizzazione del manufatto di presa è necessaria la parzializzazione dell'alveo che verrà realizzata tramite la posa di 2 condotte in PEAD DN 1200, corrugate esternamente lisce internamente. Per l'ubicazione e il layout di tali bypass si rimanda alle tavole CT- 157.

Invece per quanto l'intervento di riqualificazione spondale a valle del manufatto di presa, la parzializzazione dell'alveo avverrà tramite movimenti di terra, si veda tavola CT-18.

12.3 Dimensionamento e verifica delle ture trasversali realizzate mediante tubazioni

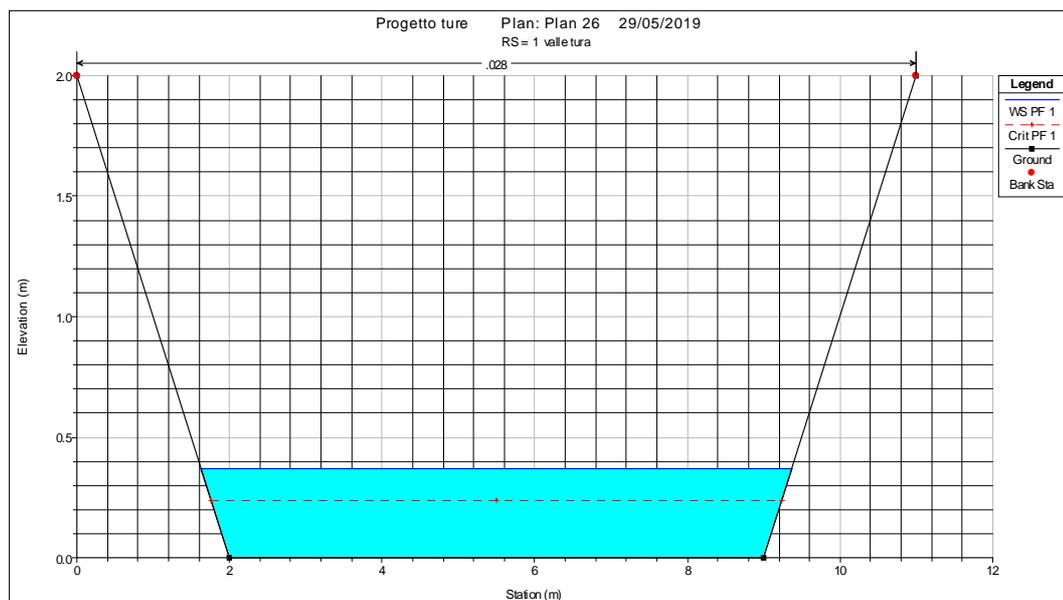
Per quanto riguarda il bypass per il manufatto di presa è stata effettuata una simulazione in moto permanente mediante il software Hec-Ras al fine di verificare la capacità di smaltimento delle condotte utilizzate e la compatibilità idraulica del rigurgito di monte delle ture con le sponde dell'alveo.

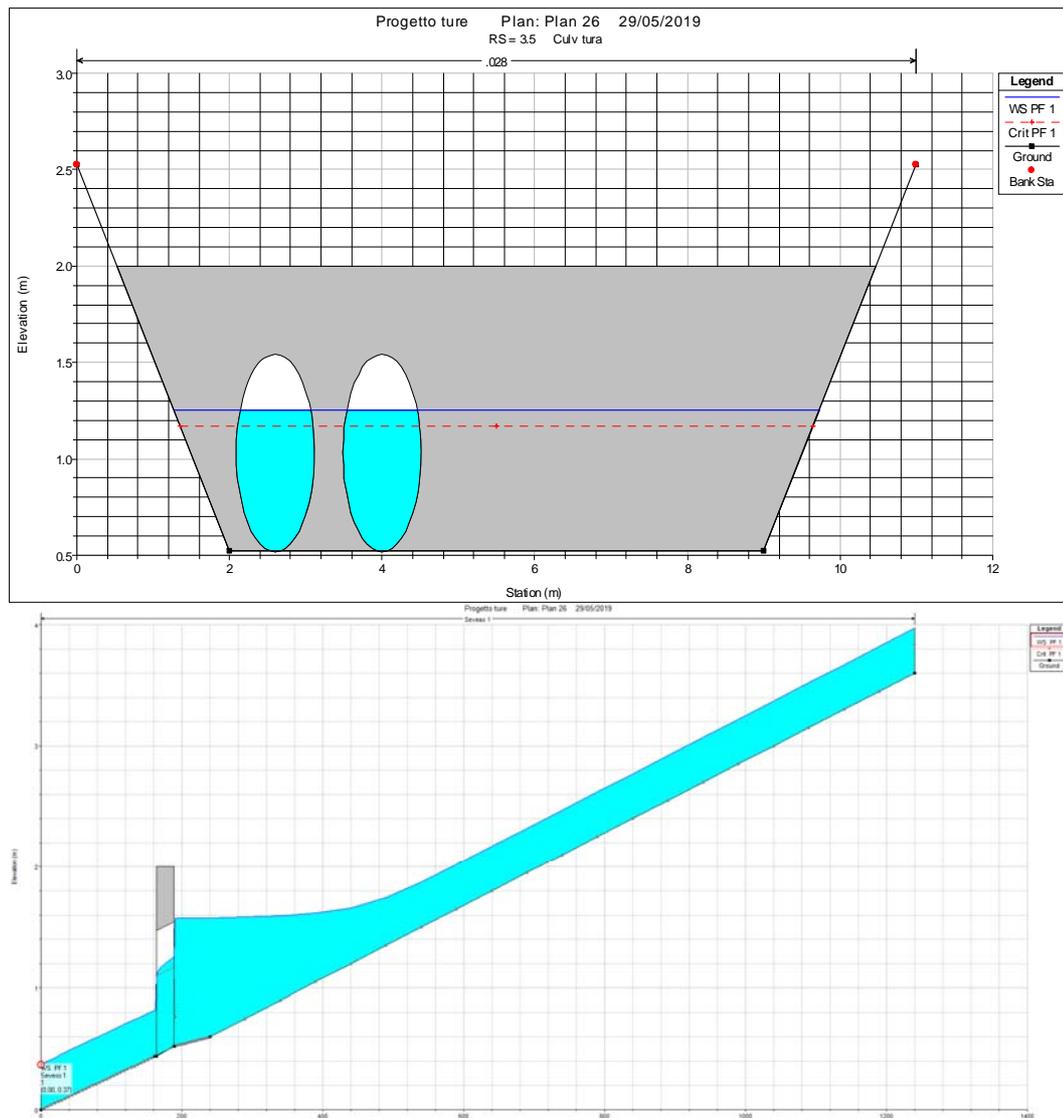
Le ture sono state modellate come due "culvert" di diametro interno 1024 mm (1200 diametro esterno). La pendenza è posta pari al 0.3%, scabrezza di Strickler $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ e la lunghezza delle ture pari a 25 metri. Le perdite di energia in ingresso e sbocco dalle ture sono state stimate rispetto all'energia cinetica con coefficienti moltiplicativi pari a 1 e 0.5.

La portata di magra è posta pari a $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ e data la sezione media dell'alveo del Seveso nella tratta di intervento, riporta in figura sottostante, risulta un'altezza di moto uniforme pari a 0.37 m. L'effetto della tura comporta un profilo di corrente lenta rallentata (tipo D1) che raggiunge un'altezza di tirante idrico pari a circa 0.75 metri, compatibile con l'altezza delle sponde pari ad almeno 2 metri.

Le due condotte risultano funzionare con un grado di riempimento pari al 55% e la velocità media della corrente è pari a circa 2 m/s.

Si conclude che le ture così dimensionate risultano verificate.





12.4 Dimensionamento e verifica parzializzazioni alveo

Per quanto riguarda le parzializzazioni dell'alveo nella tratta a valle del manufatto di presa è stata effettuata una simulazione in moto uniforme al fine di verificare che la capacità di smaltimento della sezione ridotta e la compatibilità idraulica del rigurgito di monte della parzializzazione con le sponde dell'alveo.

Per i dettagli della realizzazione della parzializzazione dell'alveo si rimanda agli elaborati progettuali (CT-160).

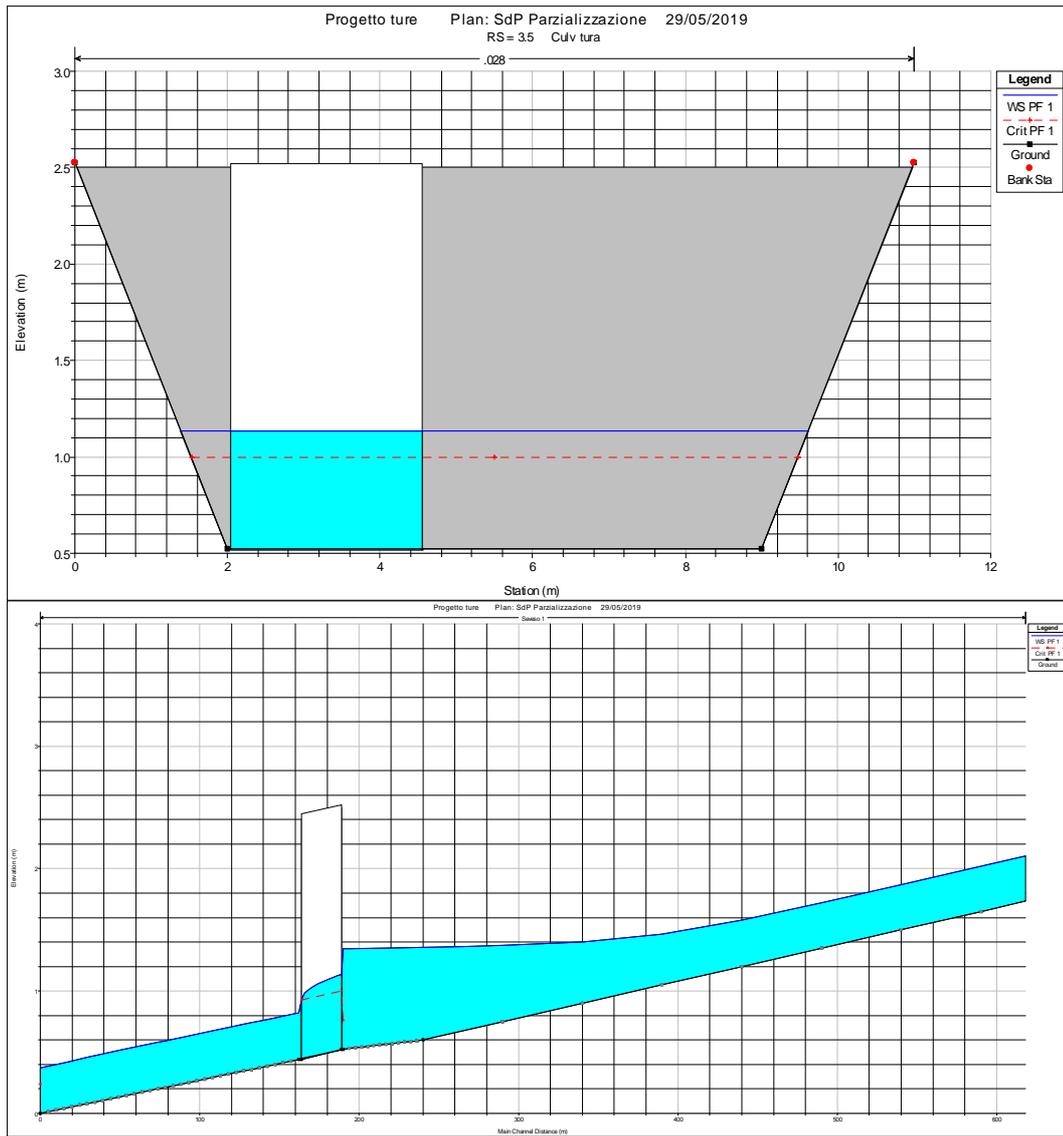
La portata di magra è posta pari a $2.6\text{m}^3/\text{s}$ e data la sezione media dell'alveo del Seveso nella tratta di intervento, riporta in figura sottostante, risulta un'altezza di moto uniforme pari a 0.37 m . La pendenza è posta pari al 0.3% , scabrezza di Strickler $50\text{ m}^{1/3}/\text{s}$ e la lunghezza delle ture pari a 25 metri. Le perdite di energia in ingresso e sbocco dalle ture sono state stimate rispetto all'energia cinetica con coefficienti moltiplicativi pari a 1 e 0.5 .

A fine cautelativo il restringimento di sezione dovuto alla parzializzazione dell'alveo è stato modellato (Hec Ras) inserendo un "culvert" rettangolare di lunghezza 25 metri e dimensioni $2.5\text{ m} \times 2\text{ m}$.

L'effetto della tura comporta un profilo di corrente lenta rallentata (tipo D1) che raggiunge un'altezza di tirante idrico a ridosso della tura pari a circa 0.62 metri, compatibile con l'altezza delle sponde pari ad almeno 2 metri.

All'interno della tratta di canale ristretto si instaura un tirante idrico pari a circa di 0.55 m e la velocità media della corrente è pari a circa 1.5 m/s .

Si conclude che le ture così dimensionate risultano verificate.



A. MODELLO MATEMATICO-IDRAULICO E RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

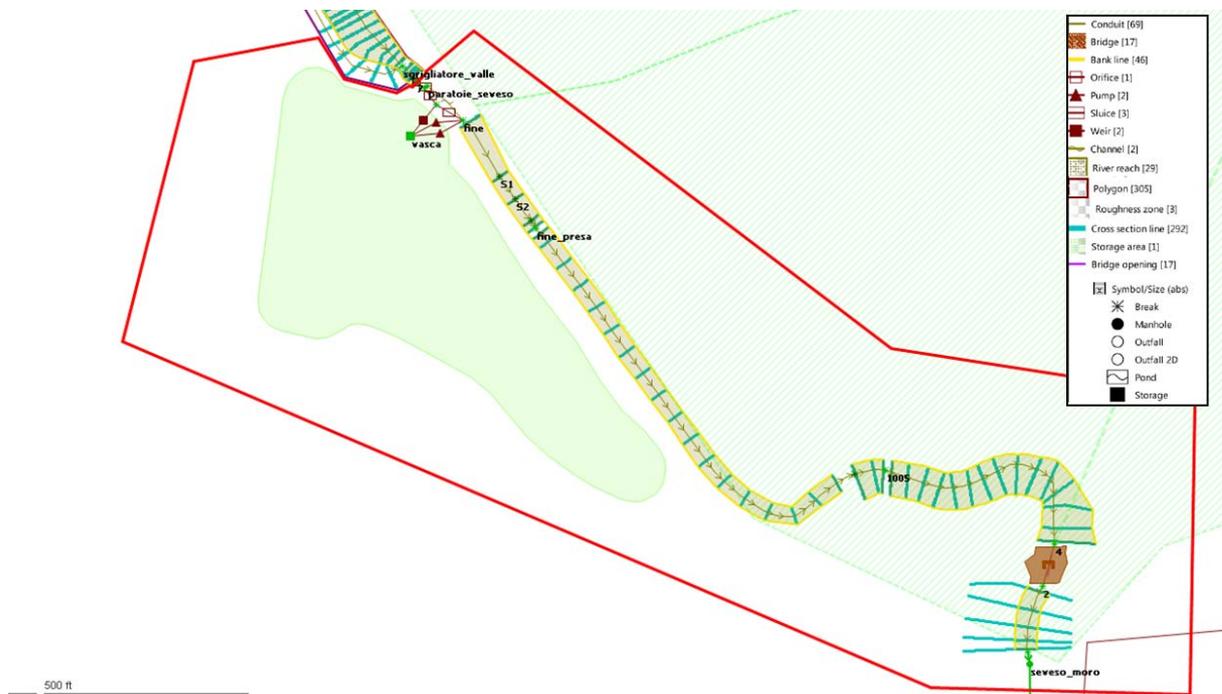
Si riportano nel presente allegato alla relazione specialistica idraulica lo schema geometrico del modello idraulico realizzato, i profili longitudinali degli scenari di piena simulati così come descritti nel paragrafo 7.4 della relazione idraulica.

La geometria inserita nel modello idraulico ricalca la geometria riportata negli elaborati progettuali (sezioni, progressive e pendenza longitudinale).

Le paratoie del manufatto di presa sono state regolate completamente aperte verso la vasca e apertura variabile lato Seveso; la paratoia a valle dello scivolo di sfioro a valle del canale di derivazione è sempre chiusa. È stata implementata una regola per le paratoie: al raggiungimento del livello di massima regolazione dell'invaso (139 m sim) vengono chiuse le paratoie lato vasca e aperte completamente le paratoie lato Seveso.

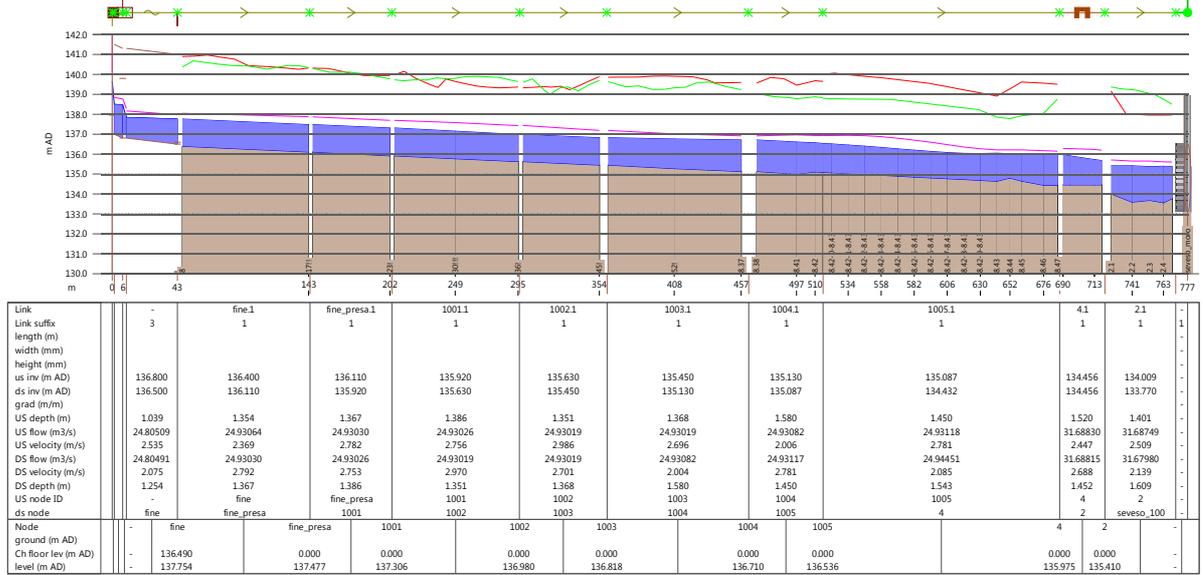
Si riportano nei paragrafi seguenti i profili longitudinali di piena del tratto di Seveso da monte dell'opera di presa all'inizio della tombinatura (tratta evidenziata dal poligono rosso nella figura sottostante) per gli scenari da 1 a 6 organizzandoli per confronto fra stato di fatto e stato di progetto, prima tutte le simulazioni con tempo di ritorno $T=10$ anni e poi le simulazioni $T=100$ anni.

Si osservi che tutti i profili riportati non sono una fotografia di un singolo istante temporale ma l'involuppo di massimi livelli raggiunti durante la piena simulata.

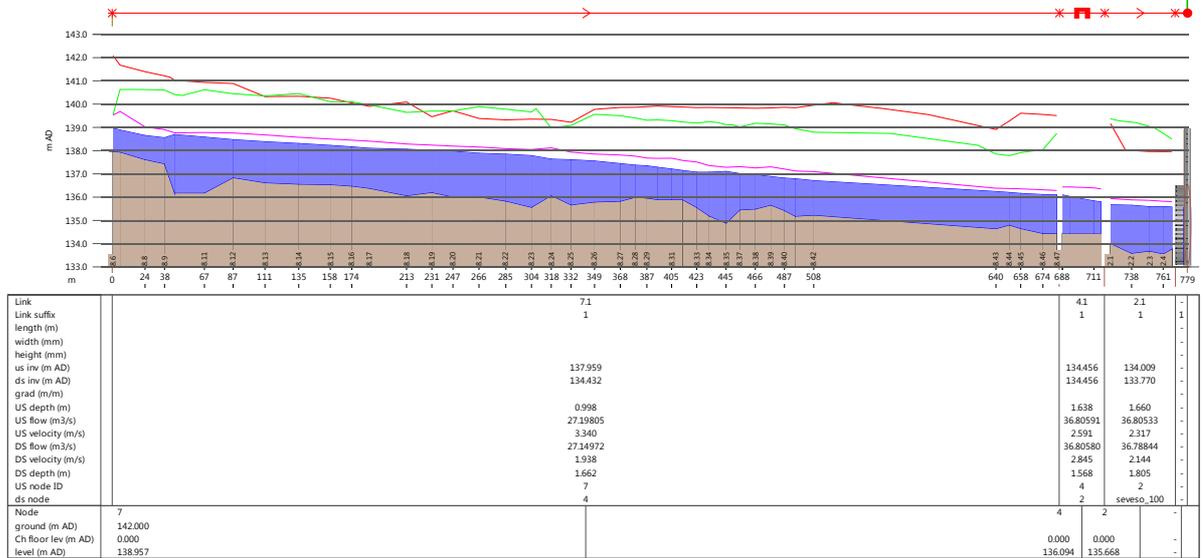


"Parte di modello idraulico realizzato in Infoworks ICM: da monte dell'opera di presa della vasca all'inizio della tombinatura"

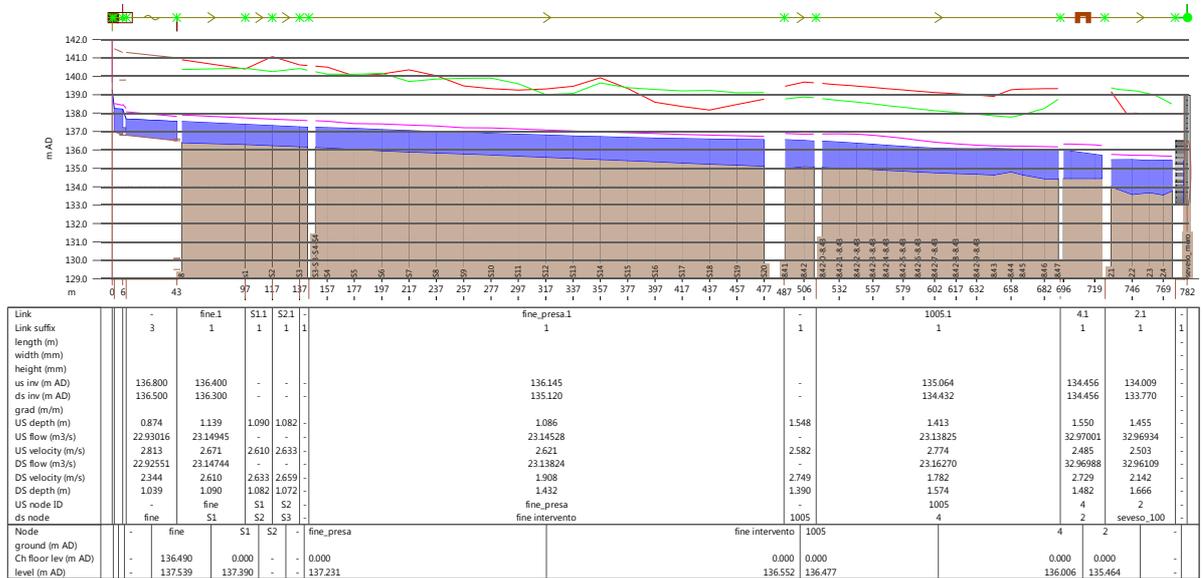
Scenario P4 T10 (massimi):



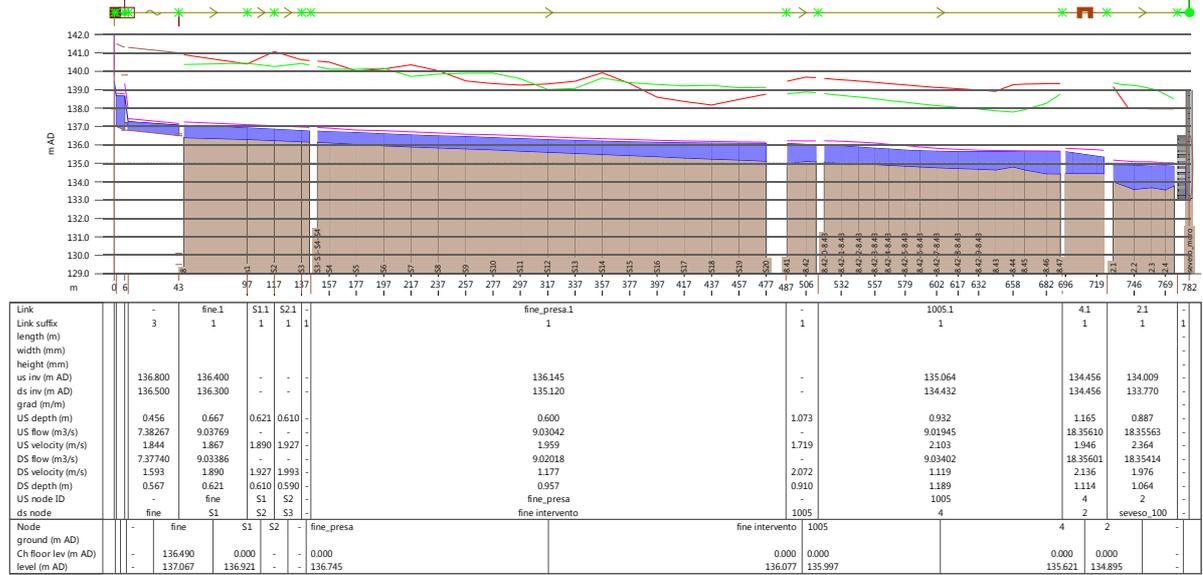
Scenario P2 T10 (massimi):



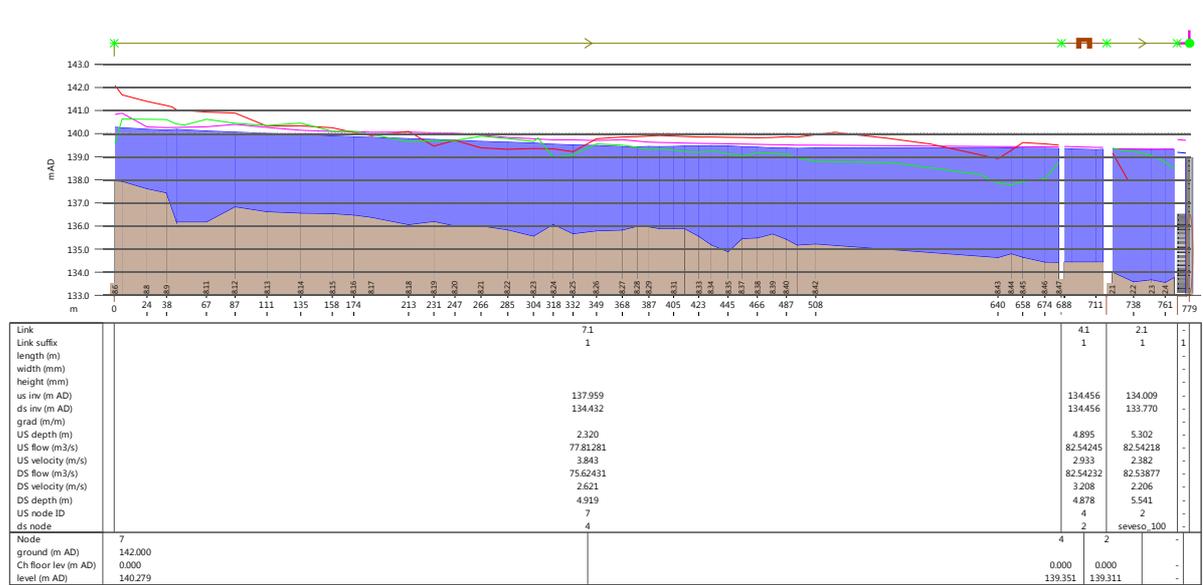
Scenario P5 T10 (massimi):



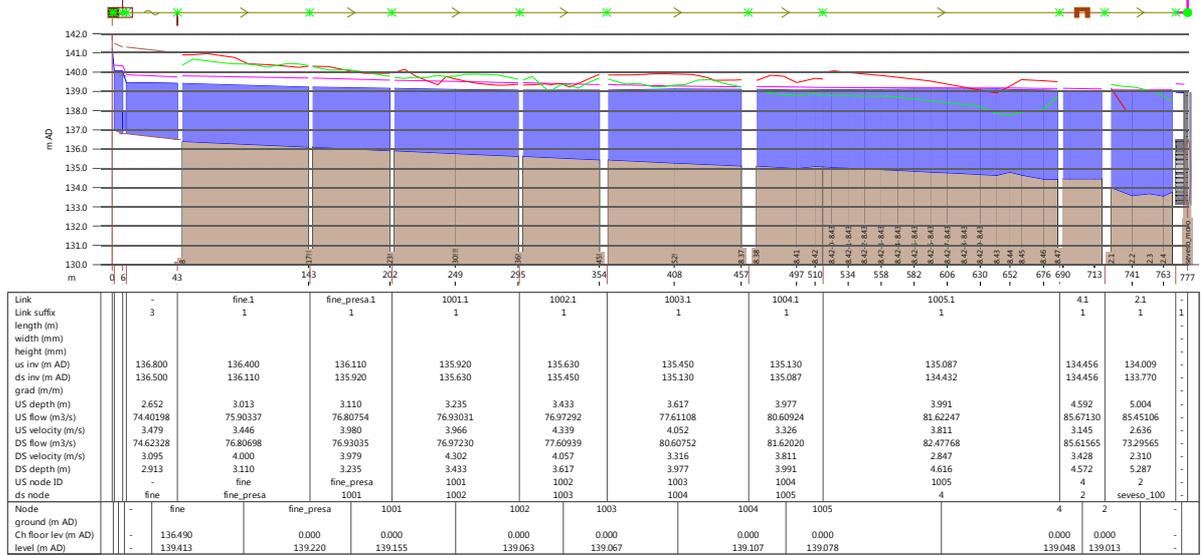
Scenario P6 T10 (massimi):



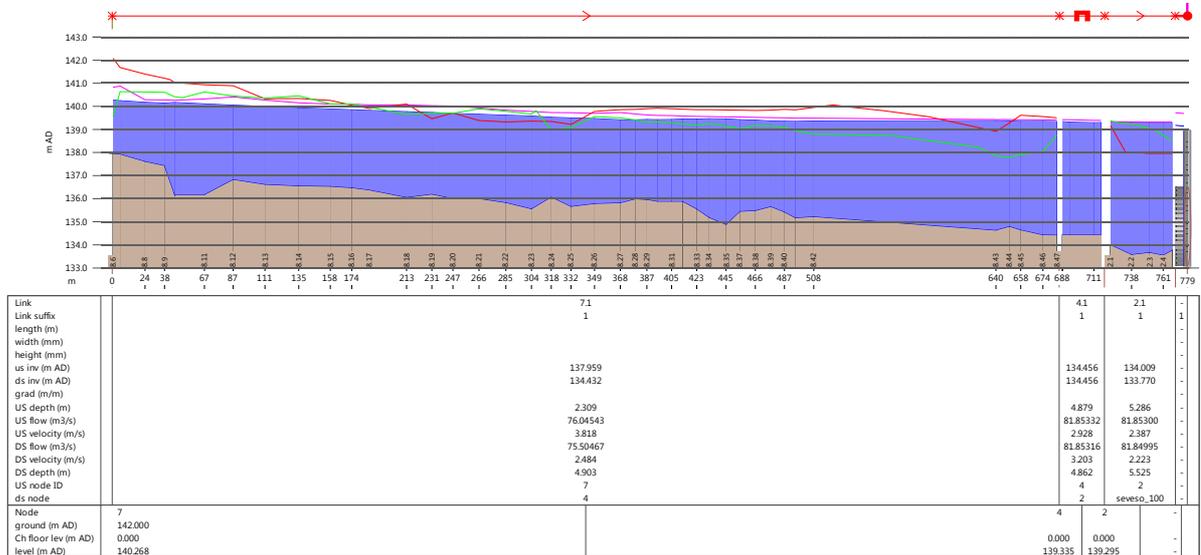
Scenario P0 T100 (massimi):



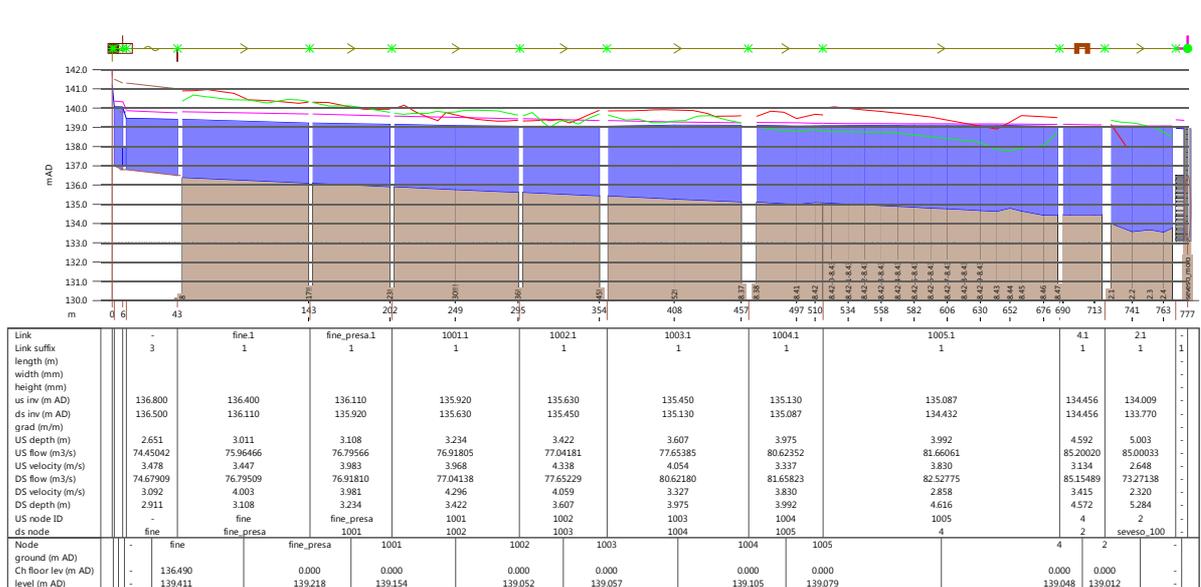
Scenario P3 T100 (massimi):



Scenario P1 T100 (massimi):

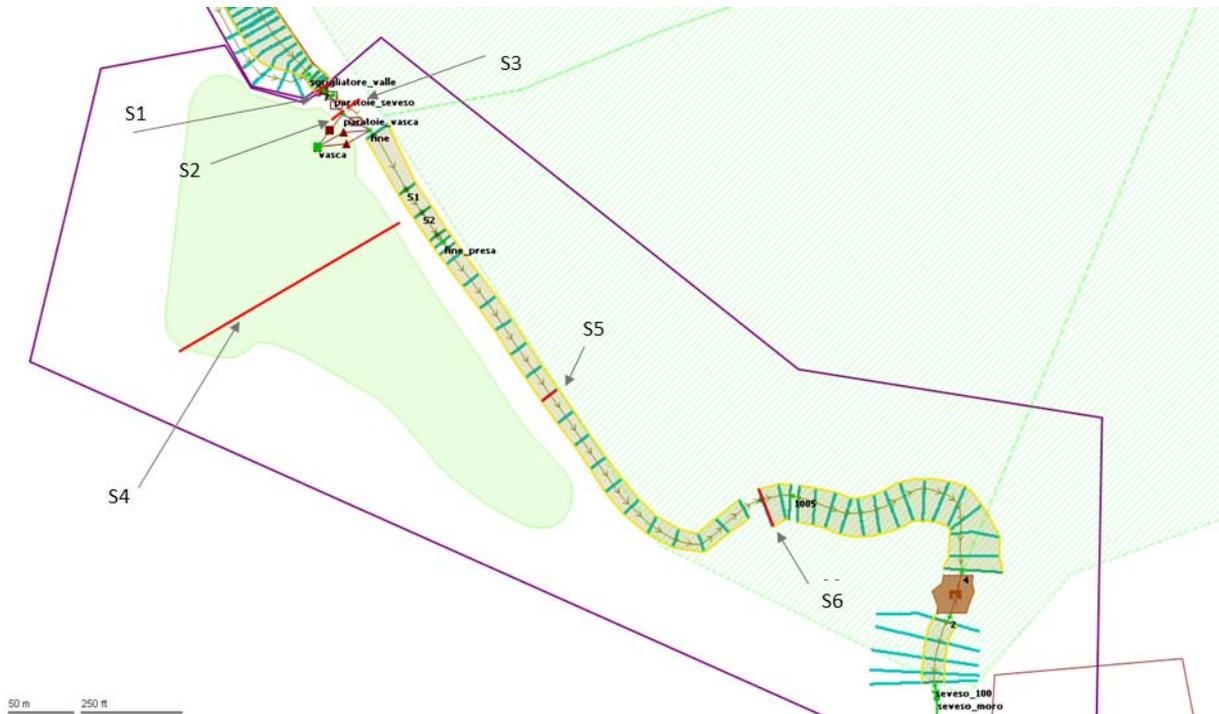


Scenario P4 T100 (massimi):



Focus su scenario di progetto P4-P5-P6 T100 (massimi)

Si riportano con un maggior dettaglio i risultati degli scenari di progetto con un focus particolare su 6 sezioni ritenute significative per ricostruire le simulazioni idrauliche svolte e capire il funzionamento dell'opera in progetto, le sezioni sono evidenziate in rosso nella figura sottostante.



In particolare, si riportano i livelli idrici e le portate per le seguenti sezioni:

- S1: sezione a monte del manufatto di sbarramento con le 4 paratoie;
- S2: sezione media sul canale di derivazione a valle del manufatto di sbarramento con le 4 paratoie e in corrispondenza del manufatto di sfioro verso la vasca
- S3: sezione media sul canale di bypass della vasca (quindi lato Seveso) a valle del manufatto di sbarramento con le 4 paratoie e a monte del canale di scarico della vasca. Da cui può essere derivato il battente sulla soglia di sfioro sottraendo la quota del petto pari a 138 m slm.
- S4: sezione sul bacino di invaso (vasca)
- S5: sezione della tratta di Seveso oggetto di riqualificazione spondale. Negli elaborati progettuali (tavola 0010) corrisponde alla sezione 10, sezione di monte di un manufatto di attraversamento esistente.
- S6: sezione della tratta di Seveso oggetto di riqualificazione spondale. Negli elaborati progettuali (tavola 0010) corrisponde alla sezione 11, sezione di valle di un manufatto di attraversamento esistente.
- S7: sezione di valle della tratta di Seveso oggetto di riqualificazione spondale posta a circa 15 metri a valle della sezione s20 (sezione 8.41 nel modello matematico idraulico).

Tra le sezioni scelte, le sezioni S1 e S7 sono a monte e a valle dell'opera e sono esistenti anche nello stato di fatto; mentre le tre sezioni S2, S3, S4 sono significative per descrivere il funzionamento del manufatto di presa. Le sezioni S5 e S6 sono rappresentative della tratta oggetto di riqualificazione spondale e utili alla verifica di compatibilità idraulica (capitolo 10) del manufatto di attraversamento posto fra le due sezioni; allo stesso modo, il livello nella sezione S1 è usato per

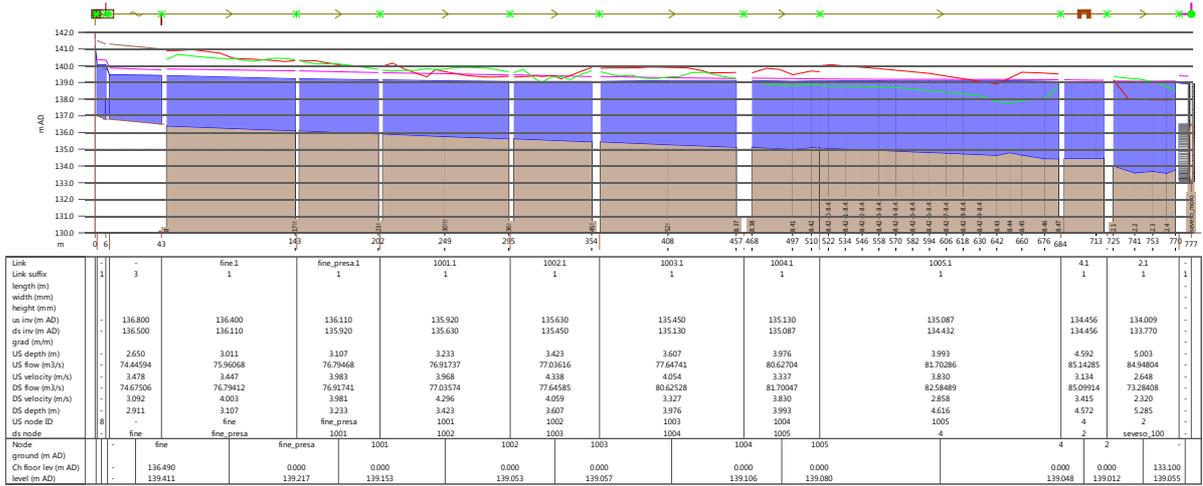
la verifica di compatibilità idraulica del manufatto di attraversamento posto subito a monte (capitolo 11).

Gli scenari di riferimento per cui si riportano i valori sono gli scenari P3, P4, P5, P6 nel caso di piena T100 così come descritti nel paragrafo 7.4 della relazione idraulica. I valori di tirante idrico e portata nelle varie sezioni e di volume in vasca sono riassunti nella tabella seguente.

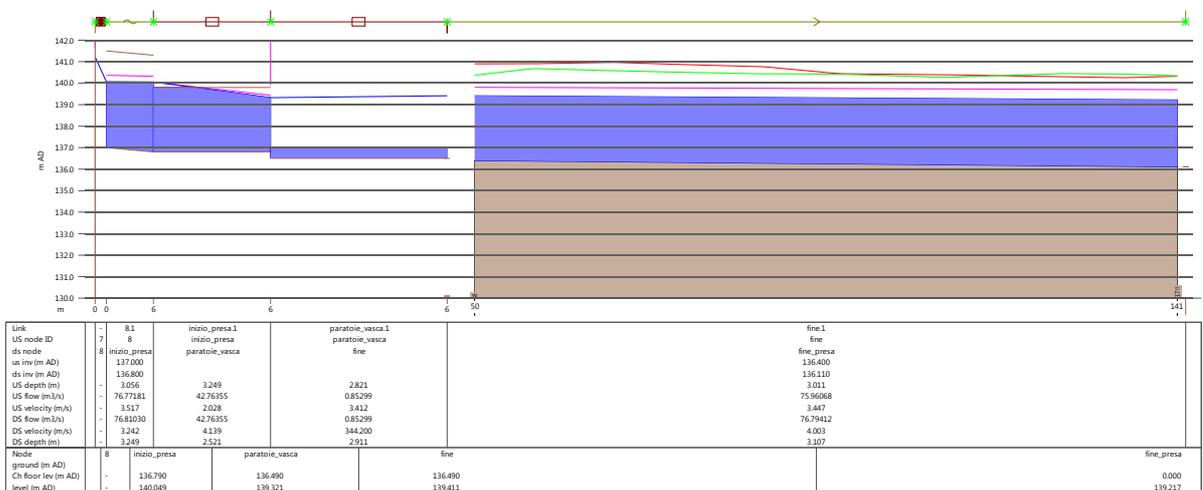
Sezione	P4-T100				P5-T100				P6-T100			
	h [m slm]	H [m slm]	Q [m³/s]	W [m³]	h [m slm]	H [m slm]	Q [m³/s]	W [m³]	h [m slm]	H [m slm]	Q [m³/s]	W [m³]
S1	3.06	140.06	76.8		1.34	138.35	32.88		1.97	138.78	32.83	
S2	3.24	140.05	42.8		1.52	138.32	8.50		1.97	138.77	25.16	
S3	2.78	139.43	74.5		1.00	137.67	24.28		0.53	136.65	7.67	
S4	9.05	139.15	42.0	273'954	0.70	130.80	8.40	20'346	5.31	135.41	25.00	148'877
S5 (S10)	3.42	139.05	80.0		1.21	136.95	25.00		0.67	136.41	9.54	
S6 (S11)	3.42	139.94	80.0		1.24	136.91	25.00		0.69	136.36	9.52	
S7 (s8.41)	3.98	139.10	80.0		1.60	136.61	25.00		1.10	136.11	9.53	

Scenario P4 T100 (massimi):

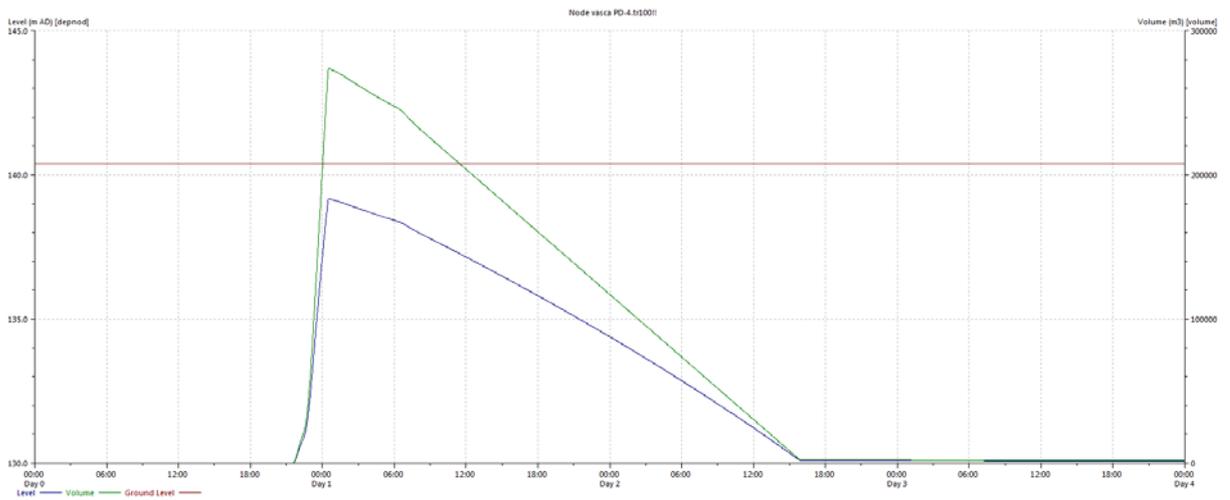
Profilo longitudinale lato Seveso da monte del manufatto di regolazione all'ingresso nella tominatura di Milano.



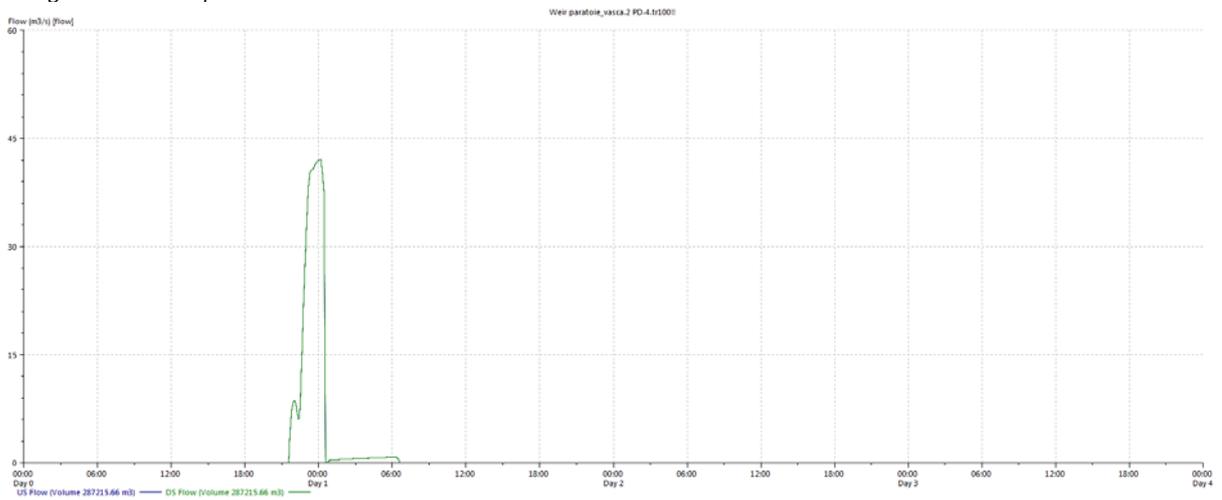
Profilo longitudinale lato vasca da monte del manufatto di regolazione alla sezione dove sbocca il canale di scarico della vasca nel Seveso.



Andamento temporale del livello e del relativo volume invasato nella vasca di laminazione.

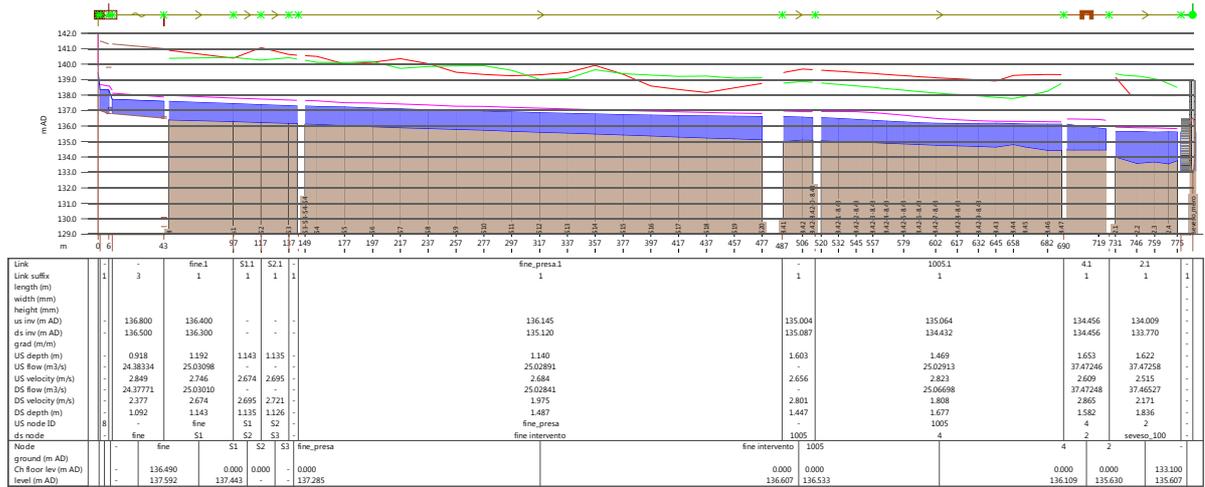


Idrogramma della portata entrante in vasca.

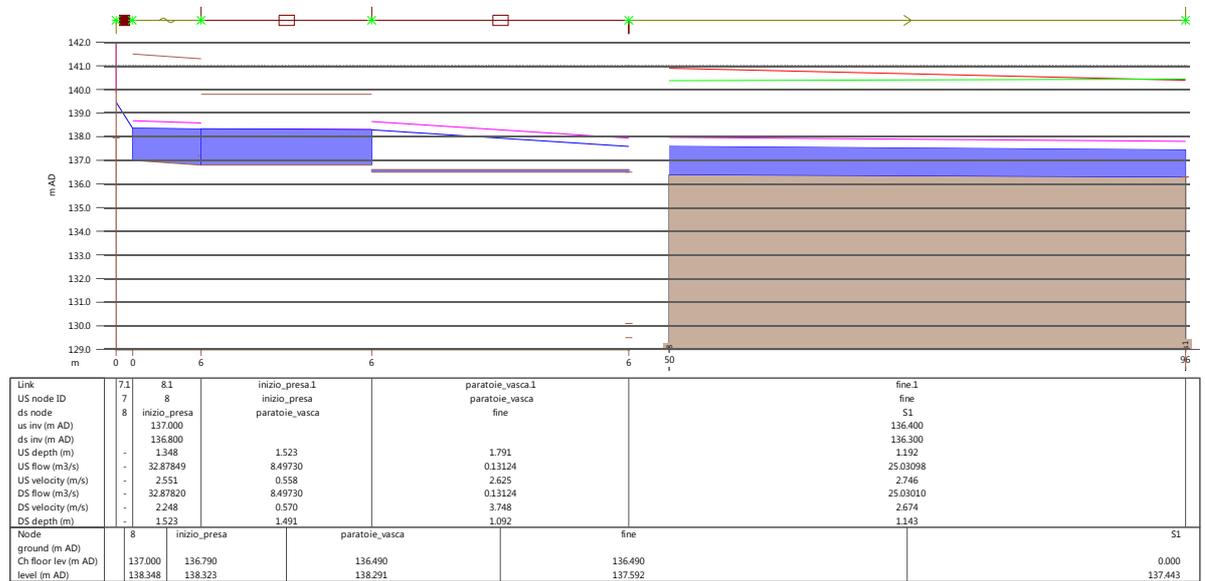


Scenario P5 T100 (massimi):

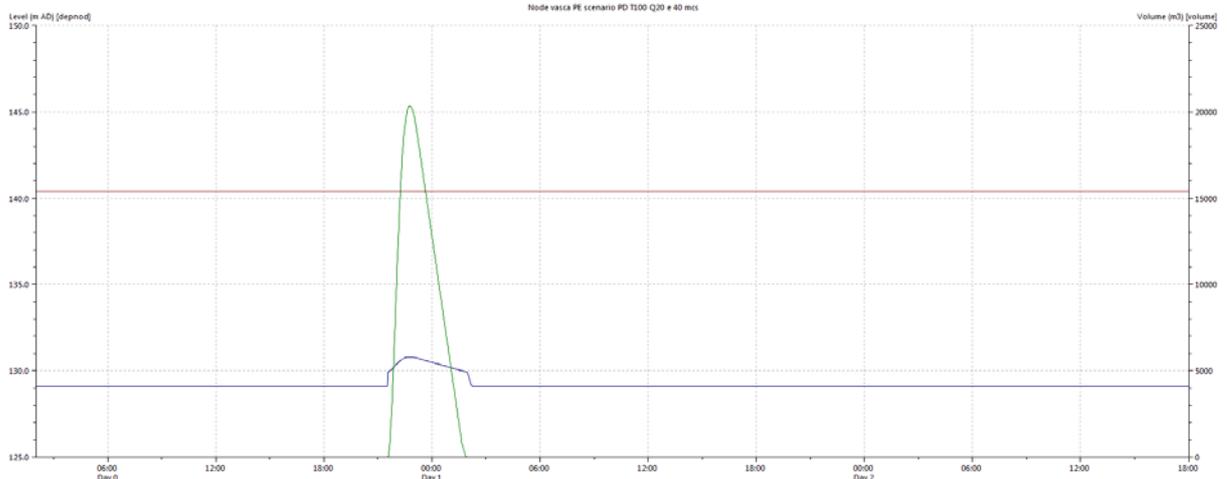
Profilo longitudinale lato Seveso da monte del manufatto di regolazione all'ingresso nella tomlinatura di Milano.



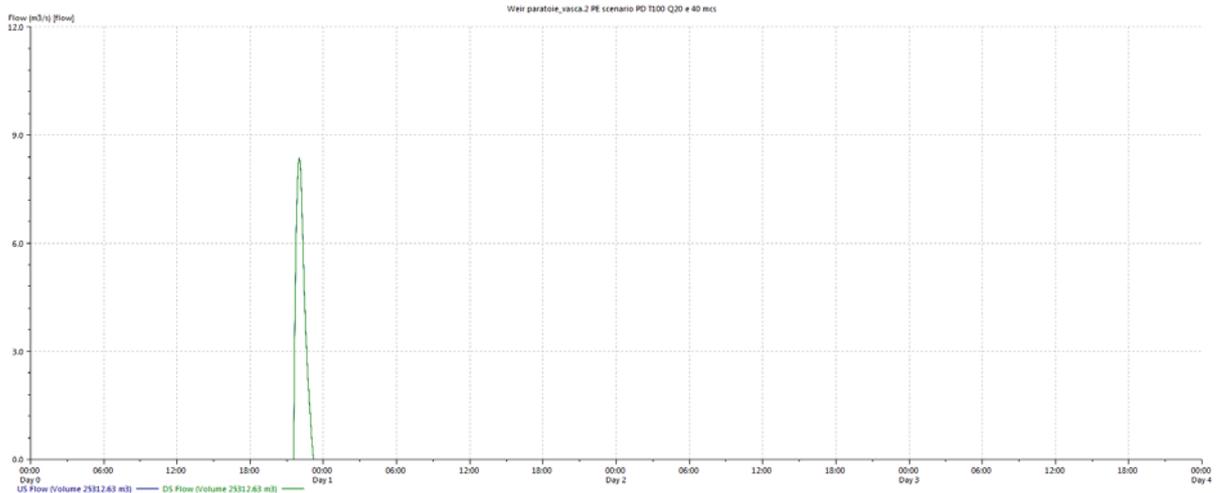
Profilo longitudinale lato vasca da monte del manufatto di regolazione alla sezione dove sbocca il canale di scarico della vasca nel Seveso.



Andamento temporale del livello e del relativo volume invasato nella vasca di laminazione.

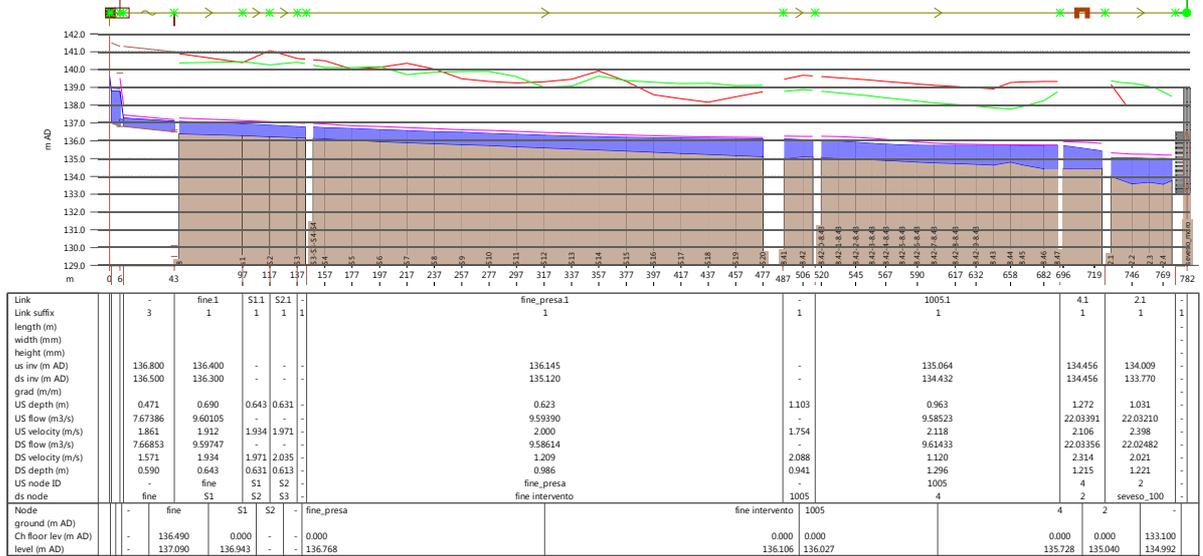


Idrogramma della portata entrante in vasca.

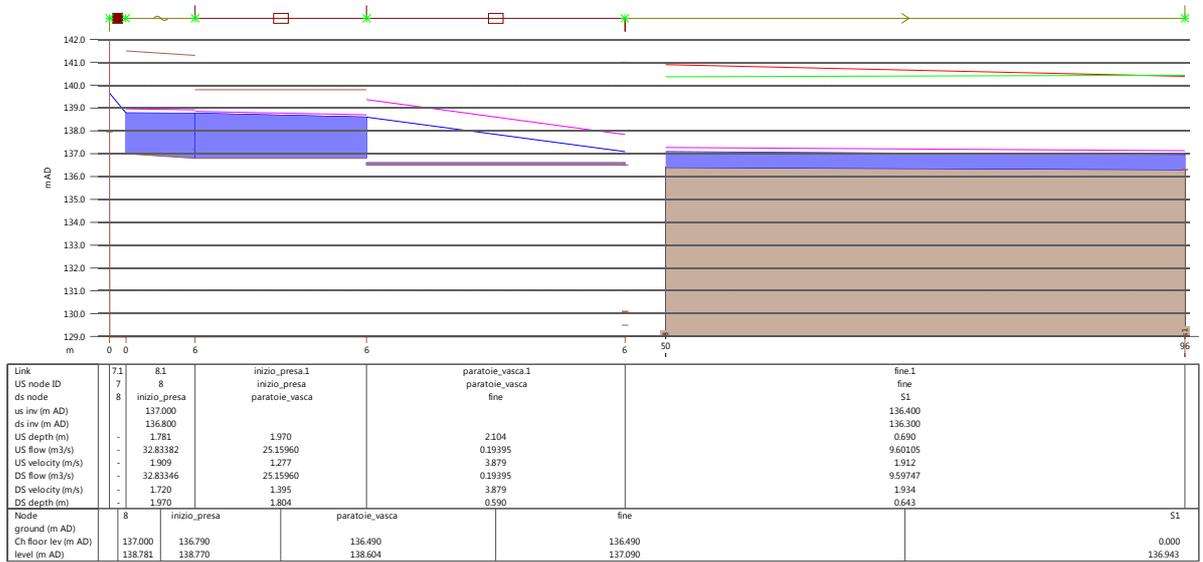


Scenario P6 T100 (massimi):

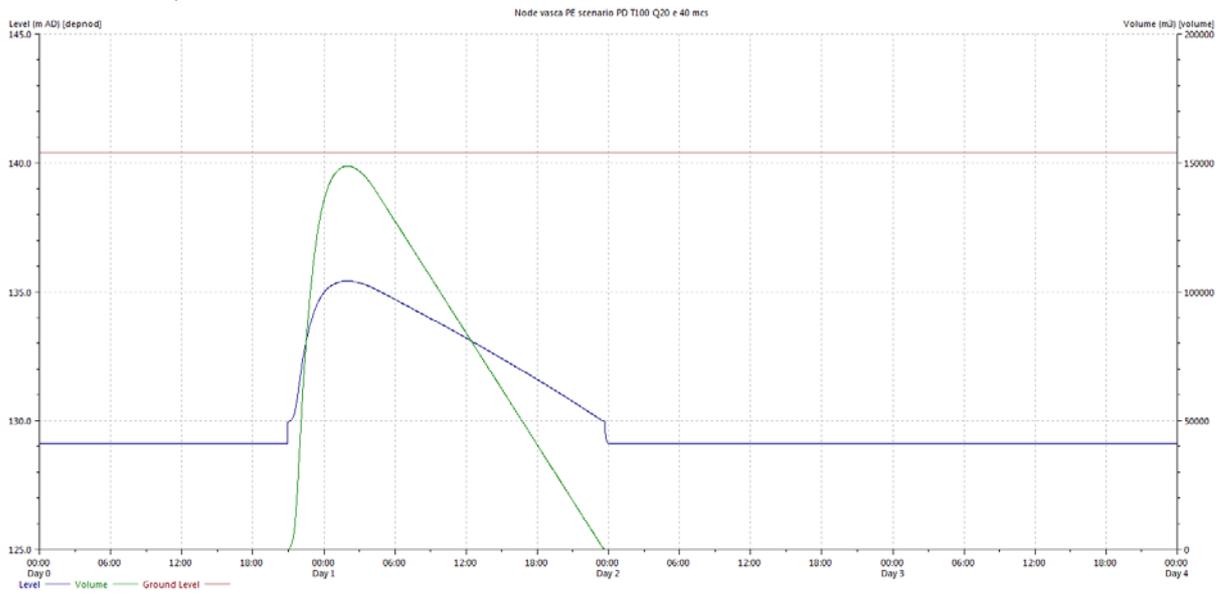
Profilo longitudinale lato Seveso da monte del manufatto di regolazione all'ingresso nella tominatura di Milano.



Profilo longitudinale lato vasca da monte del manufatto di regolazione alla sezione dove sbocca il canale di scarico della vasca nel Seveso.



Andamento temporale del livello e del relativo volume invasato nella vasca di laminazione.



Idrogramma della portata entrante in vasca.

