

# AREE GOLENALI DEL FIUME SEVESO NEI COMUNI DI VERTEMATE CON MINOPRIO, CARIMATE E CANTÙ

## PROGETTO DEFINITIVO

03	10/2018	Emissione a seguito di Decreto del Delegato del commissario Governativo n. 4 del 15.10.2018. Conclusione della conferenza dei servizi			
02	04/2018	Emissione a seguito di Decreto regionale n. 5351 del 16.04.2018. Pronuncia di compatibilità ambientale			
00	06/2016	Emissione a seguito di nota AIPO prot. n. 00015532/2016 del 15.06.2016			
INDICE	DATA	MODIFICHE	DISEGN.	CONTR.	APPROV.

## RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

### I PROGETTISTI:

Dott. Ing. Denis Cerlini

Dott. Ing. Alessandro Balbo

Dott. Ing. Giacomo Galimberti

Dott. Ing. Gaetano di Franca

### GEOLOGIA:

Dott. Geol. Pietro Breviglieri

Dott. Geol. Efrem Ghezzi

### Hanno collaborato:

Dott. Ing. Daniele Recalcati

Dott. Ing. Roberta Romiti

Geom. Enrico Maddalena

### Consulenza geotecnica:

Dott. Geol. Roberto Prevati

### SCALA:

### ELABORATO:

**SVS 2.02**

Giugno 2016



**STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI**

Via Inama, 7 - 20133 Milano - tel. +39.02.70120918 fax +39.02.70120923  
Via Cavallotti, 16 - 43121 Parma - tel. +39.0521.508419 fax +39.0521.221022



DOTT. ING. GAETANO DI FRANCA



STUDIO IDROGEOTECNICO



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>3</b>
<b>3. STUDI PREGRESSI.....</b>	<b>8</b>
3.1 LO STUDIO AIPO 2011 .....	8
3.2 PROGETTO PRELIMINARE.....	11
3.2.1 Premessa .....	11
3.2.2 Idrologia di riferimento.....	12
3.2.3 Analisi idraulica.....	15
<b>4. APPROFONDIMENTI DEL PRESENTE PROGETTO DEFINITIVO .....</b>	<b>25</b>
4.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO .....	25
4.2 AGGIORNAMENTO DEL MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE .....	37
4.2.1 Premessa .....	37
4.2.2 Codice di calcolo .....	38
4.2.3 Descrizione del modello Hec-ras.....	38
4.2.4 Descrizione topografica dell'alveo e delle aree golenali .....	43
4.2.5 Costruzione del modello digitale del terreno dell'area oggetto di simulazione .....	44
4.2.6 Condizioni al contorno .....	44
4.2.7 Scabrezze .....	48
4.2.8 Simulazioni condotte e risultati ottenuti .....	48

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato in accordo con quanto previsto dalla normativa, dopo aver inquadrato il T.Seveso dal punto di vista territoriale, delle criticità e dell'assetto pianificatorio, riporta gli approfondimenti idrologici ed idraulici effettuati nella presente progettazione definitiva rispetto al progetto preliminare.

La necessità di aggiornamento rispetto al Progetto Preliminare è stata dettata principalmente dai seguenti elementi:

- disponibilità di un rilievo topografico di maggior dettaglio, svolto nell'ambito della presente progettazione definitiva, relativo al corso d'acqua, alle aree golenali e alla rete fognaria interferita dalle opere nonché di indagini e verifiche geognostiche di maggior dettaglio;
- esigenza di valutare attraverso un modello bidimensionale la frequenza di allagamento delle aree golenali e dei territori nel tratto di intervento e le sollecitazioni in termini di velocità della corrente indotte sulle sponde per prevedere gli eventuali opportuni elementi di protezione spondale.

Il decreto di VIA, ha richiesto di modificare la soluzione proposta nel progetto definitivo in relazione al ponte di via dell'Abbazia a Vertemate con Minoprio tra le aree golenali 1 e 2, che ne prevedeva la demolizione e ricostruzione con sezione idraulica adeguata. Sono state fornite, come detto nella relazione generale, due ipotesi alternative, che prevedono la realizzazione di un bypass in sinistra o in destra dell'attuale ponte evitandone la demolizione e garantendo la medesima efficacia idraulica. La valutazione su quale delle alternative portare avanti a livello di progettazione esecutiva è stata demandata nel decreto di VIA alla Conferenza dei Servizi decisoria, che ha definito di sviluppare la soluzione 2, con by pass in sinistra.

Nei paragrafi successivi si descrivono le principali risultanze degli studi pregressi di interesse per la presente progettazione e del progetto preliminare, e gli approfondimenti condotti nell'ambito della progettazione definitiva.



## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il torrente Seveso nasce alle falde del Monte Pallanza nel territorio del comune di San Fermo della Battaglia (CO), nelle vicinanze del confine svizzero con il Canton Ticino, sul versante Meridionale del Sasso Cavallasca, in provincia di Como, circa a quota 490 metri sul livello del mare, tocca vari centri abitati della Brianza ed entra in Milano fino ad unirsi con il Naviglio della Martesana all'interno della città di Milano in prossimità di via Melchiorre Gioia.

L'intero bacino idrografico del Seveso può essere suddiviso sostanzialmente in quattro parti:

- la prima parte più settentrionale, denominata “Seveso naturale”, afferente all'asta del torrente Seveso dalla sorgente al comune di Lentate sul Seveso, presenta versanti acclivi o mediamente acclivi ed è caratterizzato da urbanizzazione ridotta comunque tale da non produrre modifiche rilevanti rispetto al processo di piena naturale;
- la seconda parte, denominata “Certesa naturale”, ad est della precedente e afferente al torrente Certesa (o Roggia Vecchia), principale affluente del Seveso, si estende dalle sorgenti fino alla confluenza con il torrente Terrò ed è caratterizzato da versanti acclivi e da scarsa urbanizzazione;
- la terza parte, denominata “Certesa urbano”, anch'essa afferente al Torrente Certesa, dalla confluenza con il Torrente Terrò fino alla confluenza nel torrente Seveso, presenta versanti poco acclivi e vaste aree urbanizzate (Mariano Comense, Cabiato e Meda);
- la quarta parte, denominata “Seveso urbano”, afferente direttamente al torrente Seveso, da Lentate sul Seveso all'ingresso nel tratto tombato nel comune di Milano, presenta versanti pressoché pianeggianti ed un'elevata urbanizzazione (Barlassina, Seveso, Cesano Maderno, Bovisio Masciago, Varedo, Paderno Dugnano, Cusano Milanino, Cormano Bresso e Cinisello Balsamo).

Tali quattro parti in cui è stato suddiviso il bacino idrografico del Seveso possono essere raggruppate, in relazione alla tipologia di funzionamento idrologico di for-

mazione delle piene: i deflussi delle zone Seveso naturale e Certesa naturale dipendono esclusivamente dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, mentre i deflussi delle zone Seveso urbano e Certesa urbano, eccetto gli apporti di alcuni piccoli affluenti (Comasinella), risultano influenzati principalmente dalla capacità di smaltimento delle reti di drenaggio urbano.

La superficie complessiva del bacino del Seveso, chiuso all'ingresso nel tratto tombato di Milano in via Ornato è pari a circa 226 kmq, 100 dei quali di aree urbane (44%). Il sottobacino idrografico del torrente Certesa, affluente principale del Seveso, è pari a circa 72 kmq.

Se si considera poi come sezione di chiusura la presa del CSNO, ubicata a Palazzolo (Comune di Paderno Dugnano, ove vengono scolmate le portate di piena del T. Seveso, il bacino idrografico ha un'estensione di circa 190 kmq, 76 dei quali di aree urbane (40%).

Come differenza si ha che il bacino idrografico del T. Seveso compreso tra la presa del CSNO e Milano è pari a 36 kmq, di cui 24 di aree urbanizzate (67%).

Nella Figura 1 è riportata la planimetria del bacino idrografico del T. Seveso, fino alla sezione di chiusura di Milano.

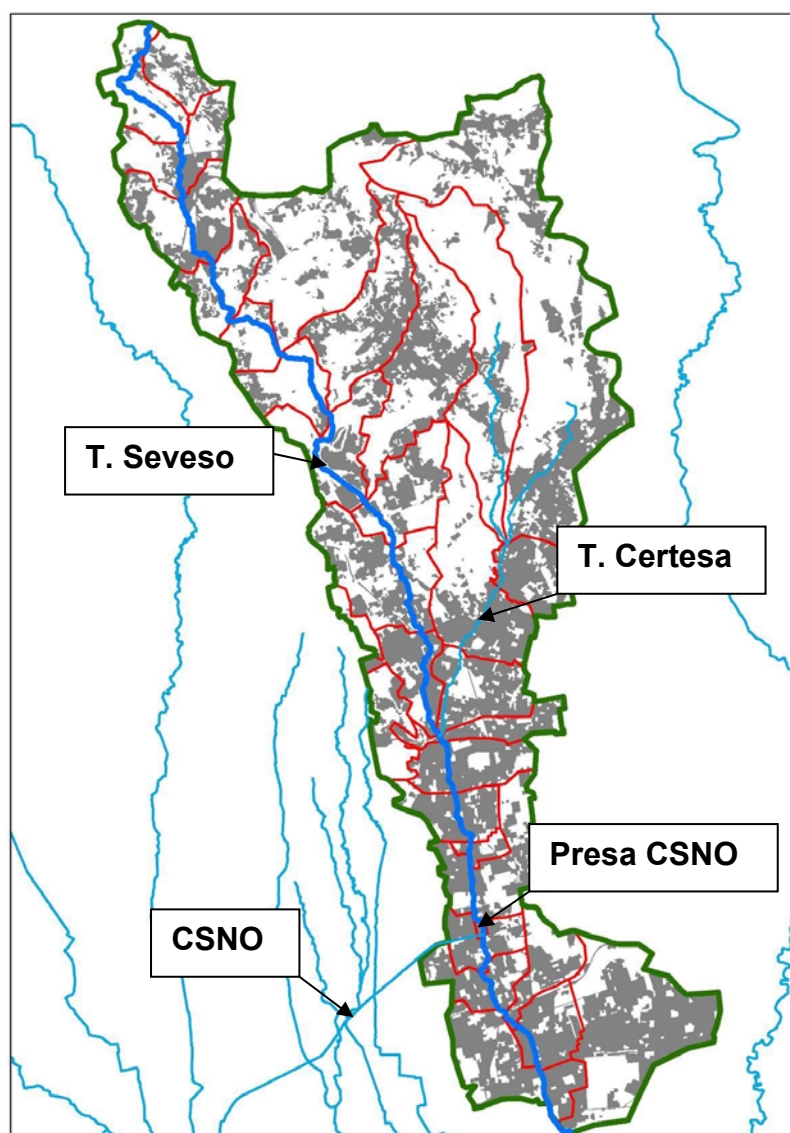


Figura 1 - Bacino idrografico del T. Seveso (in rosso sono indicati i sottobacini, mentre in grigio sono indicate le aree urbanizzate aggiornate al 2007)

La lunghezza dell'asta del torrente Seveso fino a Milano (da ospedale S. Anna di Como) è pari a circa 39 km, 32 dei quali fino alla presa del CSNO in località Palazzolo, Comune di Paderno Dugnano.

Il T. Seveso si caratterizza per l'entità del grado di vincolo presente nella zona terminale dell'asta. Essendo posto, infatti, al centro della zona urbana milanese (a differenza di Lambro e Olona che scorrono in zone più periferiche) ed attraversando una porzione di territorio che ha subito uno sviluppo urbanistico senza paragoni

in Lombardia negli ultimi 50 anni, il torrente Seveso risulta caratterizzato dal seguente assetto idraulico:

- la dimensione del bacino drenato. Il torrente Seveso ha un bacino di oltre 200 kmq, superiore al bacino dei corsi d'acqua delle Groane, che presentano la medesima caratteristica di immettersi al di sotto della città di Milano;
- il bacino ha origine nella zona delle Prealpi e pertanto le onde di piena che interessano il corso d'acqua hanno una base di tipo "naturale" con volumetrie dell'onda superiori a quelle derivanti dagli ambiti collinari e urbani che caratterizzano gli altri corsi d'acqua limitrofi (Groane, Bozzente e Lura);
- il corso d'acqua, fin dall'ingresso nel territorio comunale di Milano, è tombinato con capacità di deflusso (stimata in 30÷40 m<sup>3</sup>/s e limitata da vincoli a valle) assai inferiore rispetto all'apporto di monte;
- la capacità idraulica sopra riportata è appena sufficiente al drenaggio delle acque meteoriche urbane dell'hinterland per eventi che non superino i 2 anni di tempo di ritorno;
- il corso d'acqua, nel percorso in Milano, non presenta sezioni a cielo aperto;
- la rilevanza del grado di urbanizzazione attorno all'asta; tutto il tratto terminale del corso d'acqua da Lentate sul Seveso a Milano presenta aree urbanizzate di vaste proporzioni ed inoltre in buona parte di tale tratto (da Lentate sul Seveso a Cusano Milanino) il corso d'acqua si presenta incassato di parecchi metri rispetto al piano campagna;
- il sistema spondale per ampi tratti è costituito dai muri stessi delle case realizzate ai margini dell'alveo che in alcuni casi ne riducono la capacità di deflusso;
- lo sviluppo urbanistico dei Comuni dell'hinterland a monte ha indotto alla progressiva impermeabilizzazione di vaste aree con conseguente aumento delle portate scaricate dal reticolo fognario. Le potenzialità di scarico di detto reticolo sono in grado di saturare la capacità di deflusso del corso d'acqua già per eventi associati a modesto tempo di ritorno, pur in assenza di afflussi da monte.

L'insieme delle citate particolarità fa sì che gli eventi alluvionali del torrente Seveso in Milano assumano una frequenza di più volte l'anno.



### 3. STUDI PREGRESSI

#### 3.1 Lo studio AIPO 2011

Le aree oggetto della presente progettazione preliminare sono situate lungo il T. Seveso, nel tratto in cui esso transita in direzione nord-sud attraversando i territori dell'area metropolitana dei Comuni di Vertemate con Minoprio (CO), Carimate (CO) e Cantù (CO).

In Figura 2 viene riportato un inquadramento aereo della zona di intervento.



Figura 2 – Inquadramento dell'area di intervento

Le aree golenali di laminazione costituiscono una componente fondamentale del sistema complessivo di controllo delle piene del T. Seveso, previsto nello “Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa del Canale Scolmatore Nord Ovest (CSNO) in località Palazzolo in Comune di Paderno Du-

gnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del CSNO a Senago (MI)” (d’ora in poi denominato Studio-AIPo-2011) redatto dalla società ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l. su incarico di AIPo, poi approvato nell’ambito dell’Accordo di Programma relativo alla difesa idraulica del territorio milanese. Questo studio rappresenta l’aggiornamento dello studio idrologico-idraulico del torrente Seveso condotto dall’Autorità di Bacino del fiume Po nell’ambito dello “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona” - 2002 ÷ 2004.

Nell’ambito dello Studio-AIPo-2011 si sono infatti ricercati lungo il T. Seveso i possibili siti ove realizzare le opere idrauliche necessarie al riassetto idraulico del corso d’acqua, per garantire la messa in sicurezza sia dei territori urbanizzati posti in fregio al corso d’acqua, sia del tratto tombinato all’interno della città di Milano. Tale sistema di controllo delle piene del T. Seveso è articolato su una successione di vasche di laminazione, poste lungo l’asta principale del Seveso e lungo il Canale Scolmatore Nord – Ovest. Le aree di laminazione golenale sono, in particolare, il risultato della vasta analisi dello stato del corso d’acqua, e del territorio ad esso limitrofo, effettuata con riferimento alle aree attualmente soggette a fenomeni di esondazione, che non necessitano, dunque, di interventi di messa in sicurezza, in quanto già oggi caratterizzate da una destinazione d’uso del suolo compatibile con i fenomeni di allagamento (es. agricolo, parco, ecc.). Lo Studio-AIPo-2011 giunse, in conclusione, a porre alla base dell’assetto di progetto del T. Seveso le seguenti aree di laminazione oggetto della presente progettazione preliminare:

- 3 aree esondabili di laminazione “golenale” a Vertemate con Minoprio (CO), indicate nel seguito come area di laminazione 1, area di laminazione 2 (suddivisa in due sotto aree in sponda destra e sponda sinistra) e area di laminazione 3;
- 1 area esondabile di laminazione “golenale” a Cantù (CO), indicata nel seguito come area di laminazione 4;



- 1 area esondabile di laminazione “golenale” tra i comuni di Cantù (CO) e Carimate (CO), indicata nel seguito come area di laminazione 5;
- 1 area esondabile di laminazione “golenale” a Carimate (CO), indicata nel seguito come area di laminazione 6 (suddivisa in due sotto aree in sponda destra e sponda sinistra).

Le aree sono indicate nella planimetria di Figura 3.

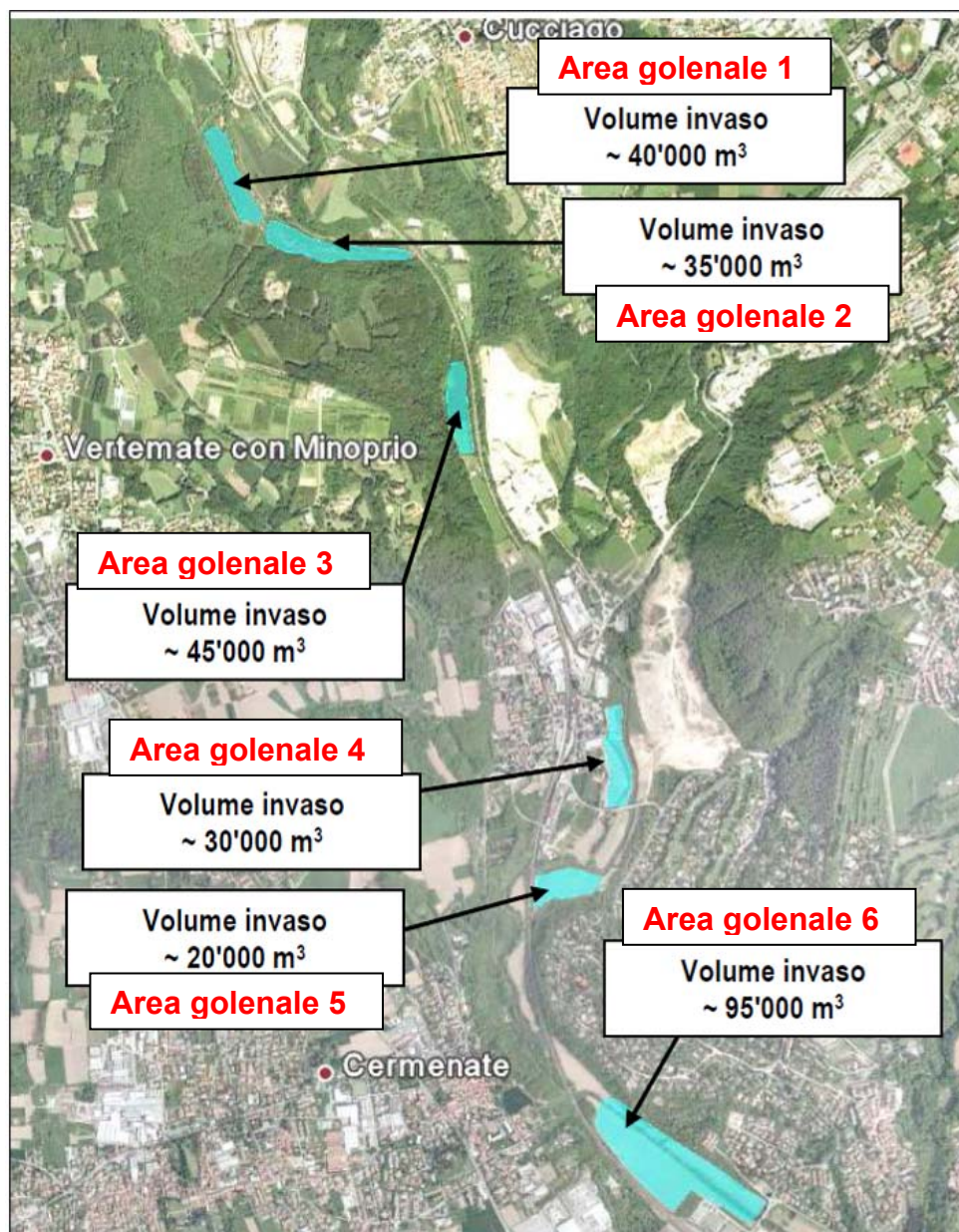


Figura 3 – Invasi di laminazione in aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate



Lo studio AIPo 2011 individuava in queste aree un volume complessivo di invaso pari a 265'000 mc.

### **3.2 Progetto preliminare**

#### **3.2.1 Premessa**

Nel progetto preliminare, redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC STUDIO PAOLETTI S.r.l. (capogruppo firmataria), lo STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI (mandante), la società BETA STUDIO S.r.l. (mandante), lo STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA (mandante), il Dott. Ing. Alessandro Barbon (mandante), è stato implementato un nuovo modello idrodinamico bidimensionale per il tratto oggetto del presente intervento, utilizzando le medesime condizioni al contorno dello studio AIPo 2011 riportate nel seguito.

Il modello ha innanzitutto permesso di confermare le criticità idrauliche riportate nello studio AIPo 2011.

La modellazione idraulica, ha consentito di definire un assetto delle 6 aree golenali adeguato ad incrementare significativamente (da 265'000 mc a 522'000 mc) i volumi di invaso complessivamente accumulati nelle aree golenali rispetto a quanto previsto nello studio AIPo 2011.

Le simulazioni idrauliche condotte nel progetto preliminare hanno consentito di:

- definire le aree che nell'assetto attuale sono interessate da fenomeni di esondazione per la piena di riferimento, utilizzando il rilievo di dettaglio laser altimetrico, in grado di garantire un approfondimento rispetto alle valutazioni eseguite nell'ambito dello Studio AIPo-2011;
- applicare alle aree di laminazione golenale, poste a base dell'assetto di progetto dallo Studio AIPo-2011, un modello funzionale che consenta di salvaguardare e ottimizzare l'effetto di laminazione delle aree naturali di esondazione, nei tratti in cui ciò è compatibile con la presenza di centri abitati e di attività antropiche, e di stabilire condizioni di equilibrio tra esigenze di contenimento delle piene, al fine della sicurezza della popolazione e dei luoghi,

e di laminazione delle stesse, in rapporto agli effetti sulle condizioni di deflusso nella rete idrografica a valle.

Lo studio idraulico di dettaglio è stato esteso, dalla sezione SV85.1 dello studio AIPO 2011 alla sezione SV66 del medesimo studio.

### 3.2.2 Idrologia di riferimento

Il comportamento idrologico del torrente Seveso considerato nel progetto preliminare è quello desunto dallo Studio AIPO-2011.

Il modello messo a punto in tale sede, basato sul codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute, elabora la formazione delle piene in modo distribuito, seguendo una suddivisione del bacino complessivo in 26 sottobacini (fino alla presa del CSNO) e utilizzando moduli di calcolo adatti sia alle caratteristiche dei deflussi urbani, con le limitazioni legate al comportamento delle reti fognarie urbane, sia alle caratteristiche dei bacini extraurbani.

La progettazione degli interventi di adeguamento delle aree golenali riguarda come detto il tratto di T. Seveso compreso tra le sezioni SV85.1 e SV66 (Figura 4), che presenta uno sviluppo di circa 8'300 m.

I sottobacini afferenti a tale tratto sono riportati in Tabella 1.

<i>Sottobacino</i>	<i>Superficie totale [km<sup>2</sup>]</i>	<i>Superficie extraurbana [km<sup>2</sup>]</i>	<i>Superficie urbanizzata [km<sup>2</sup>]</i>	<i>Note</i>
ACQ	15.8	12.04	3.76	Affluente Rio Acquanegra
SEV 4	2.68	2.17	0.51	Fino Mornasco Vertemate con Minoprio
ANT	7.37	2.65	4.72	Affluente Valle Antonio
SEV 5	4.25	3.26	0.99	Vertemate con Minoprio
SEV 6	6.33	3.92	2.41	Carimate
SER	8.73	3.62	5.11	Affluente Rio Serenza
SEV 7	11.38	9.15	2.23	Carimate, Novedrate, Figino Serenza

Tabella 1 – Sottobacini del modello idrologico generale afferenti al T. Seveso nel tratto oggetto di intervento

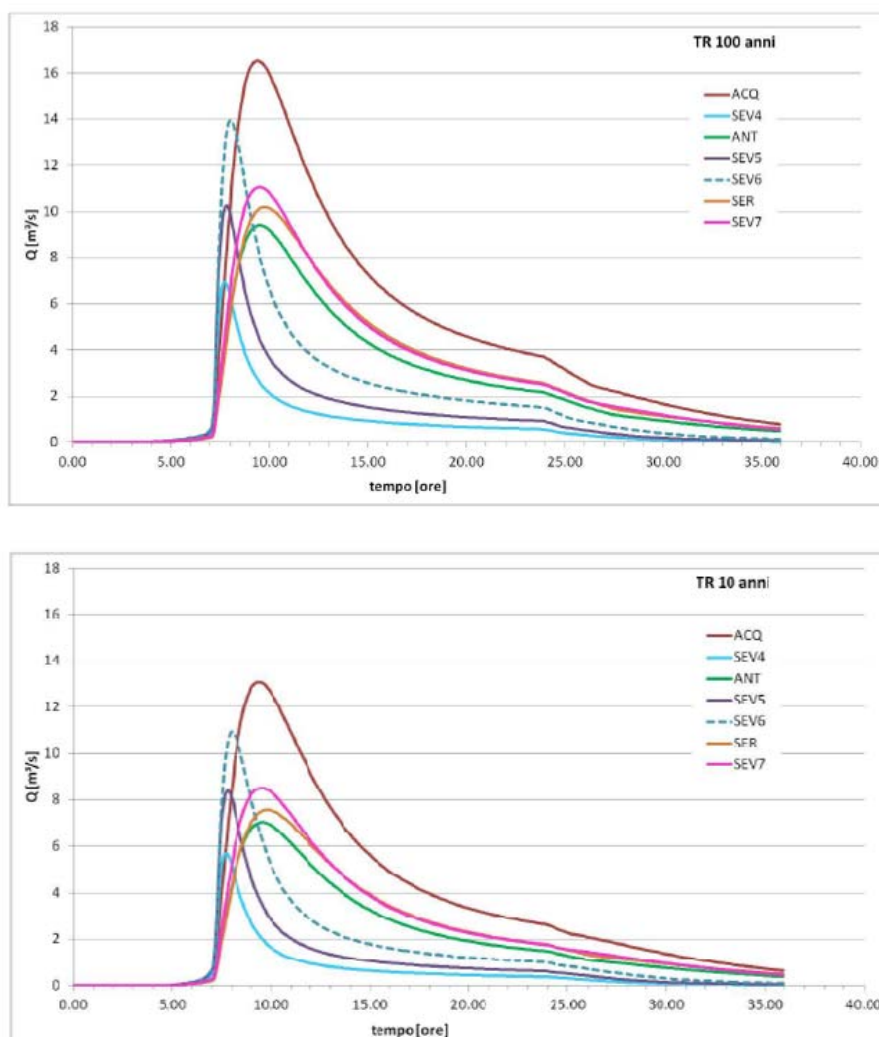
Il modello MIKE 11 è stato utilizzato per la determinazione degli idrogrammi di piena dei bacini sottesi al tratto di Seveso oggetto della presente progettazione.

La descrizione del modello, i parametri inseriti per rappresentare le perdite idrologiche e i tempi di risposta dei singoli sottobacini urbani ed extraurbani sono detta-

gliatamente esposti nel sopracitato Studio AIPO-2011 al quale si rimanda. Essi corrispondono alle scelte effettuate nell'ambito dello Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del F. Po di cui allo Studio AdBPo-2004.

Anche la scelta dell'evento di riferimento progettuale è aderente a quanto definito dall'Autorità di Bacino del F. Po di cui allo Studio AdBPo-2004. In particolare, per il bacino Seveso-Olona, l'Autorità di Bacino ha definito come evento di riferimento quello centennale contemporaneo su tutte le aste del reticolo del suddetto bacino. Gli idrogrammi in ingresso al modello idraulico del progetto preliminare sono stati, dunque, ricavati dal modello MIKE 11.

Le figure seguenti, estratte dal progetto preliminare, rappresentano gli idrogrammi di piena relativi ai sottobacini di Tabella 1, per tempi di ritorno 2, 5, 10 e 100 anni.



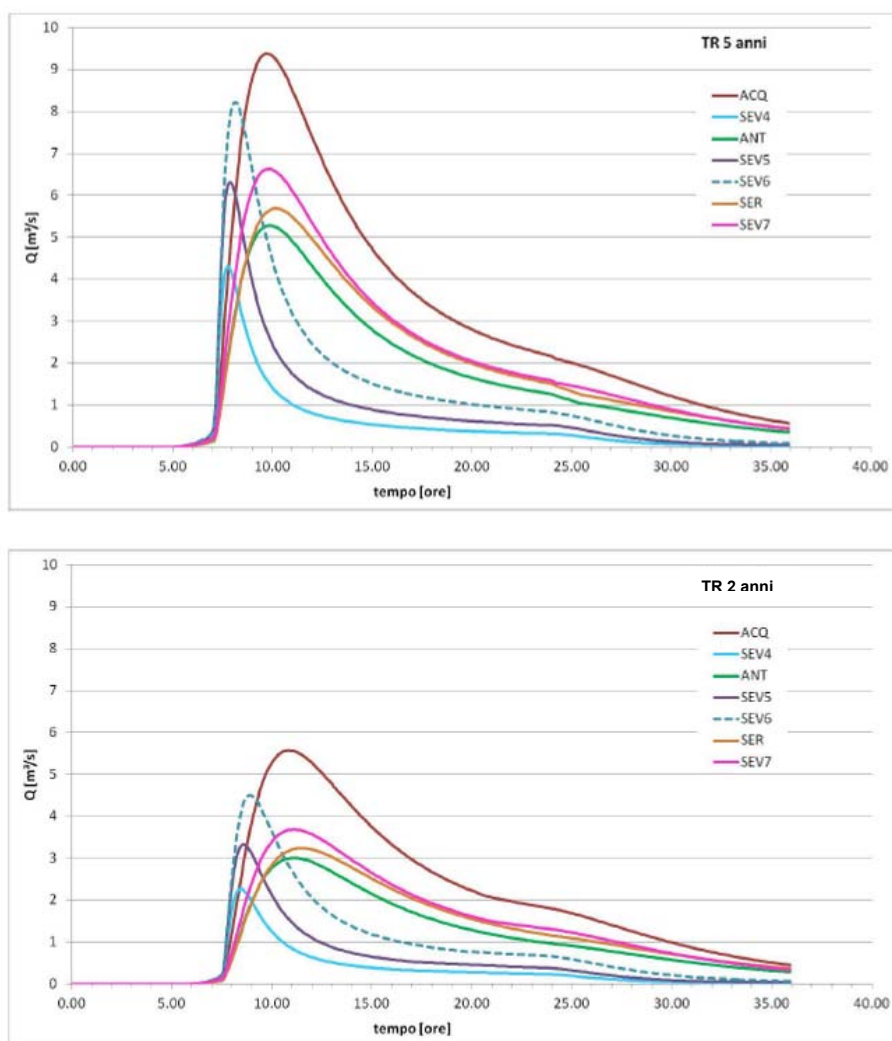


Figura 4 – Idrogrammi di piena TR 100, 10, 5 e 2 anni

Come condizione al contorno di monte è stato inserito l'idrogramma dello studio AIPO 2011 alla sezione SV85.1 qui di seguito riportato.

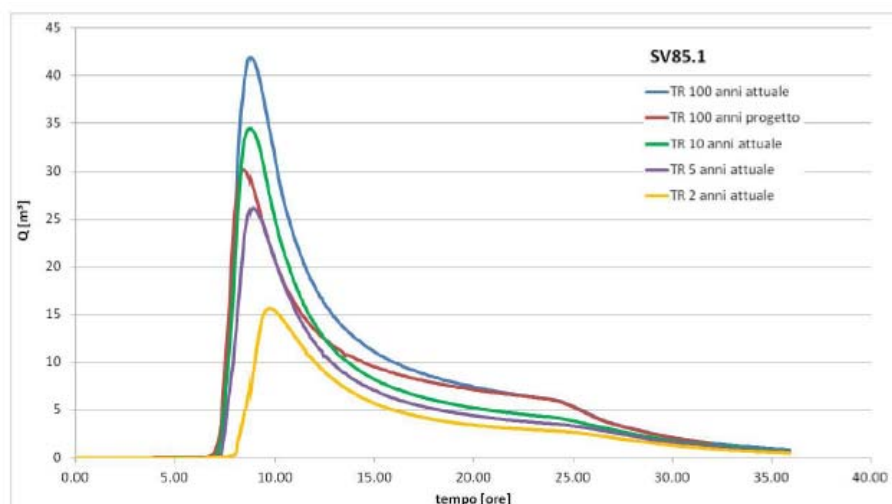


Figura 5 – Idrogrammi di piena TR 100, 10, 5 e 2 anni alla sezione SV 85.1

Nella Figura 5 gli idrogrammi di piena si riferiscono all'assetto attuale del T. Seveso, mentre con la dicitura "TR 100 anni progetto" è indicato l'effettivo idrogramma di progetto, che tiene conto degli interventi di laminazione previsti a monte delle aree golenali nel documento preliminare alla progettazione, presentato da 6 comuni dell'Alto Seveso (Cavallasca, Grandate, Luisago, Montano Lucino, S. Fermo della Battaglia e Villa Guardia).

Il documento include, infatti, tra le altre cose, la realizzazione di n.3 aree di laminazione lungo l'asta fluviale dell'Alto Seveso.

Il volume laminato, a monte delle aree golenali di Vertemate con Minoprio, Carimate e Cantù, risulterebbe di complessivi 150'000m<sup>3</sup>, dei quali si è tenuto conto nella presente progettazione.

L'effetto di tali interventi è una riduzione del colmo di piena, che scende al di sotto del picco nello stato attuale corrispondente a un evento con tempo di ritorno 10 anni, mentre il volume risulta comunque superiore nel caso di evento caratterizzato da TR 100 anni (circa 812'600m<sup>3</sup> per TR 100 contro 757'122 m<sup>3</sup> per TR 10).

### 3.2.3 Analisi idraulica

Nel progetto preliminare è stato implementato dai progettisti un modello bidimensionale attraverso il codice di calcolo Infoworks ICM, del tratto compreso tra le sezioni SV85.1 e SV66.

Dall'analisi idraulica condotta sono emersi i dimensionamenti delle sei aree golenali e i volumi invasabili qui di seguito riportate.

### **Area golenale 1**

- Superficie media 35'000 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione 66'500 m<sup>3</sup> circa
- Quota di massimo invaso 257.65 m s.m.m
- Quota della soglia di sfioro 257.60 m s.m.m.
- Lunghezza dello sfioro 70.0 m

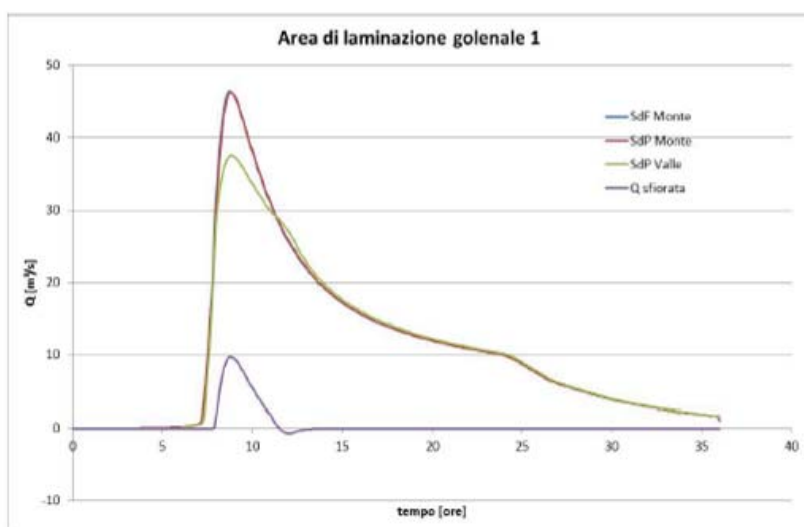


Figura 16 – Idrogrammi di piena a monte e valle dell'area di laminazione 1

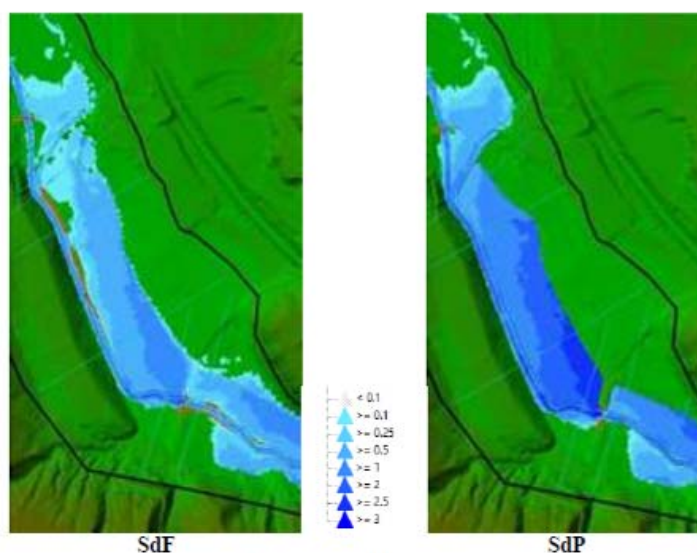


Figura 17 – Area di laminazione 1. Allagamenti nello SdF e nello SdP

Figura 6 – Estratto dal progetto preliminare - idrogrammi e aree di allagamento area golenale 1

**Area golenale 2**

- Superficie sx idraulica 24'700 m<sup>2</sup> circa
- Superficie dx idraulica 18'500 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione in sx idraulica 48'500 m<sup>3</sup> circa
- Volume di laminazione in dx idraulica 23'000 m<sup>3</sup> circa
- Quota di massimo invaso in sx idraulica 255.68 m s.m.m
- Quota di massimo invaso in dx idraulica 255.00 m s.m.m
- Quota della soglia di sfioro (sx e dx) idraulica 255.55 m s.m.m
- Lunghezza dello sfioro (sx e dx) idraulica 50.0 m



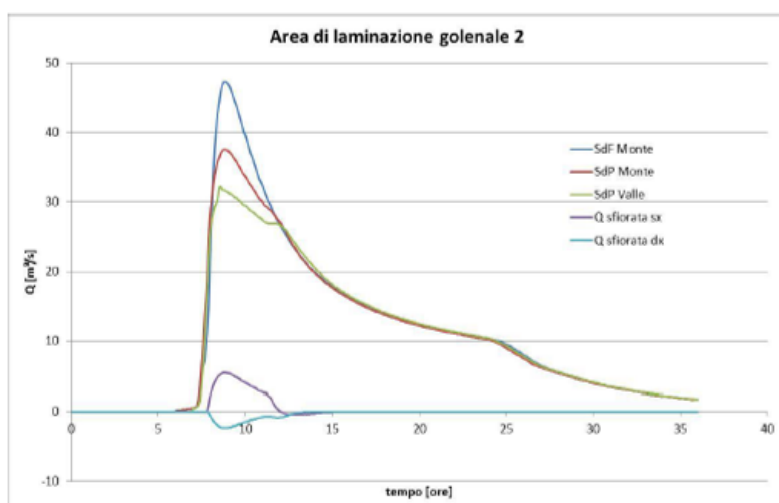


Figura 18 – Idrogrammi di piena a monte e valle dell'area di laminazione 2

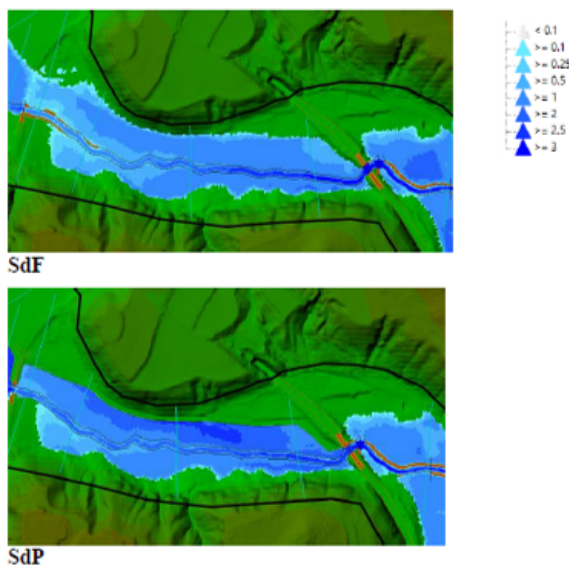


Figura 19 –Area di laminazione 2. Allagamenti nello SdF e nello SdP

Figura 7 – Estratto dal progetto preliminare - idrogrammi e aree di allagamento area golenale 2

### Area golenale 3

- Superficie 46'700 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione 71'800 m<sup>3</sup> circa
- Quota di massimo invaso 252.20 m s.m.m
- Quota della soglia di sfioro 252.25 m s.m.m.
- Lunghezza dello sfioro 50.0 m circa



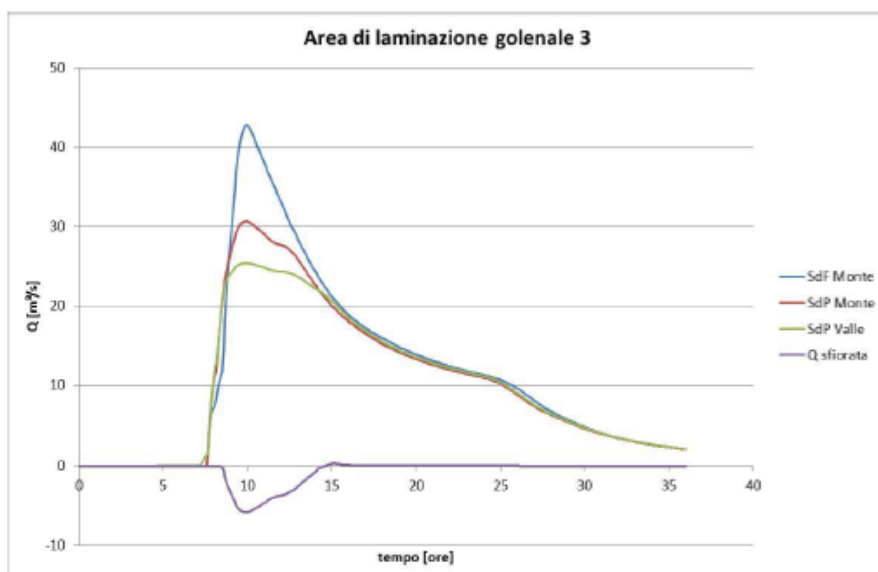


Figura 20 – Idrogrammi di piena a monte e valle dell'area di laminazione 3

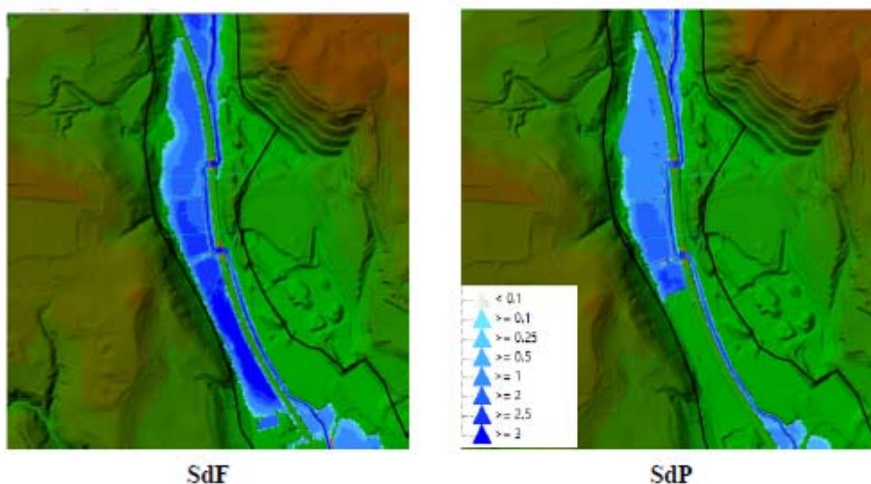


Figura 21 –Area di laminazione 3. Allagamenti nello SdF e nello SdP

Figura 8 – Estratto dal progetto preliminare - idrogrammi e aree di allagamento area golendale 3

#### Area golendale 4

- Superficie 25'700 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione 52'500 m<sup>3</sup> circa
- Quota di massimo invaso 245.90 m s.m.m
- Quota della soglia di sfioro 246.05 m s.m.m.
- Lunghezza dello sfioro 50.0 m circa

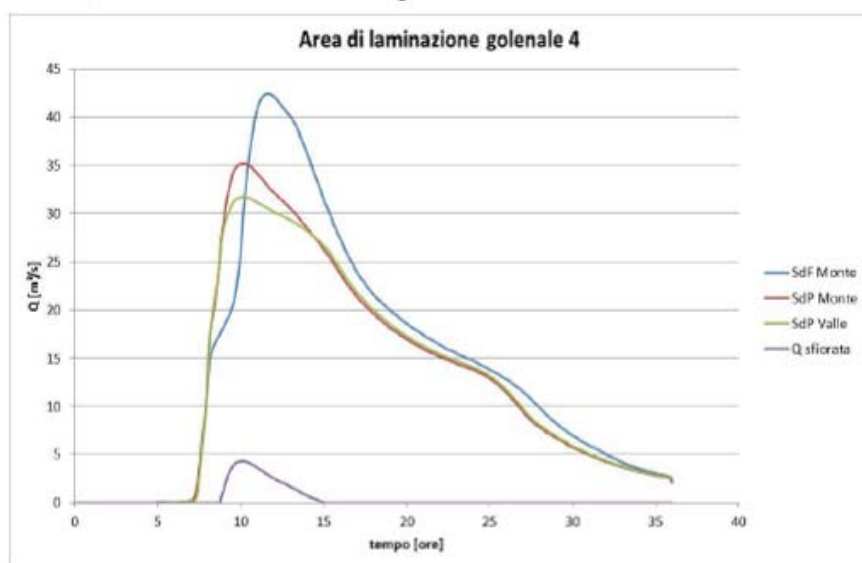


Figura 22 – Idrogrammi di piena a monte e valle dell'area di laminazione 4

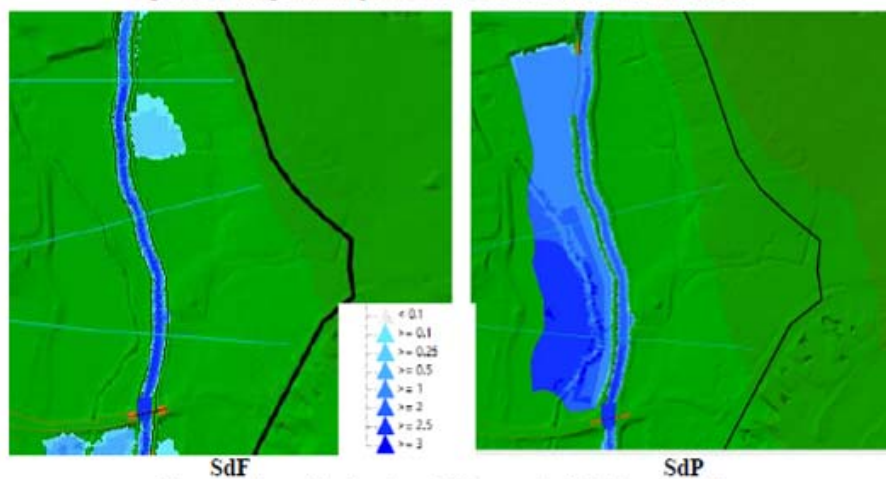


Figura 23 – Area di laminazione 4. Allagamenti nello SdF e nello SdP

Figura 9 – Estratto dal progetto preliminare - idrogrammi e aree di allagamento area golendale 4

### **Area golendale 5**

- Superficie 39'400 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione 57'500 m<sup>3</sup> circa
- Quota di massimo invaso 243.65 m s.m.m
- Quota della soglia di sfioro 243.50 m s.m.m.
- Lunghezza dello sfioro 50.0 m circa

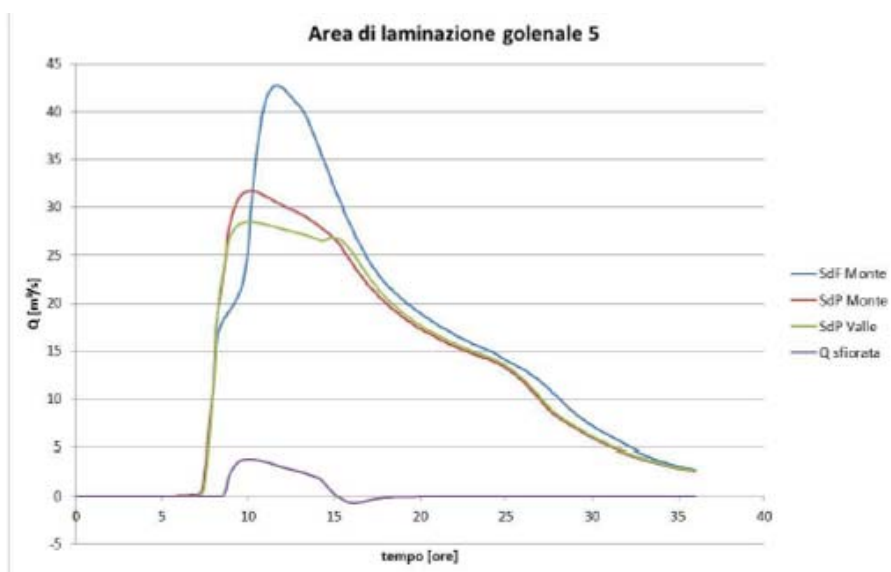


Figura 24 – Idrogrammi di piena a monte e valle dell'area di laminazione 5

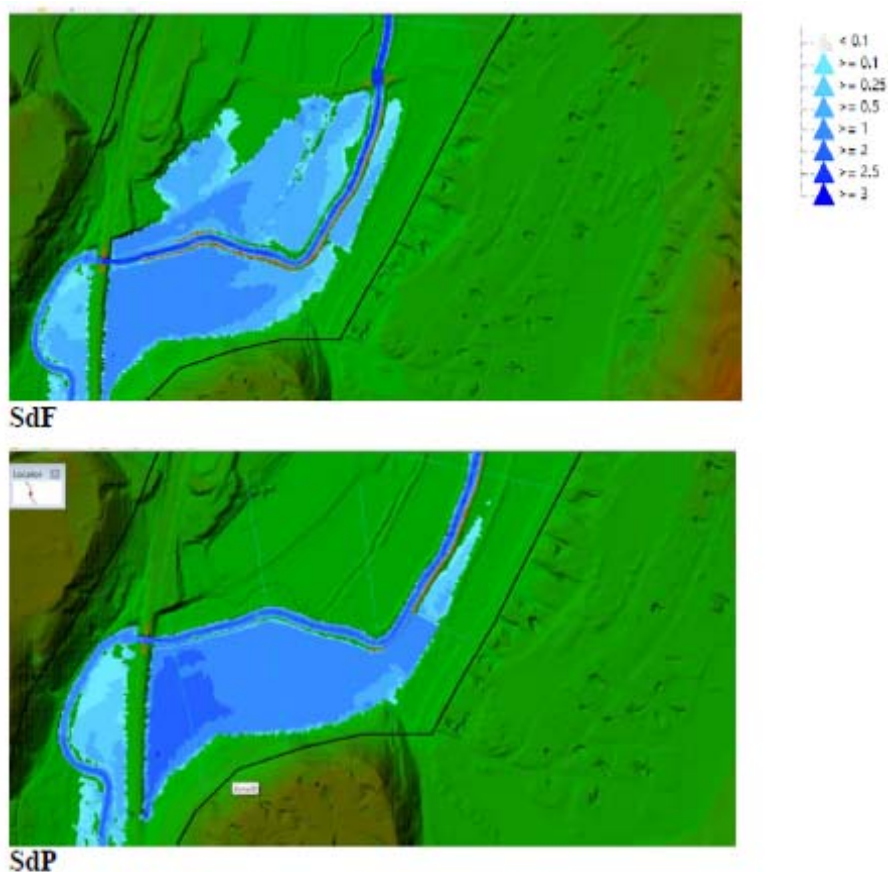


Figura 25 –Area di laminazione 5. Allagamenti nello SdF e nello SdP

Figura 10 – Estratto dal progetto preliminare - idrogrammi e aree di allagamento area golenale 5

- Superficie sx idraulica 42'700 m<sup>2</sup> circa

- Superficie dx idraulica 85'100 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione in sx idraulica 76'700 m<sup>3</sup> circa
- Volume di laminazione in dx idraulica 125'600 m<sup>3</sup> circa
- Quota di massimo invaso in sx idraulica 238.36 m s.m.m
- Quota di massimo invaso in dx idraulica 238.04 m s.m.m
- Quota della soglia di sfioro (sx e dx) idraulica 238.20 m s.m.m
- Lunghezza dello sfioro (sx e dx) idraulica 50.0 m

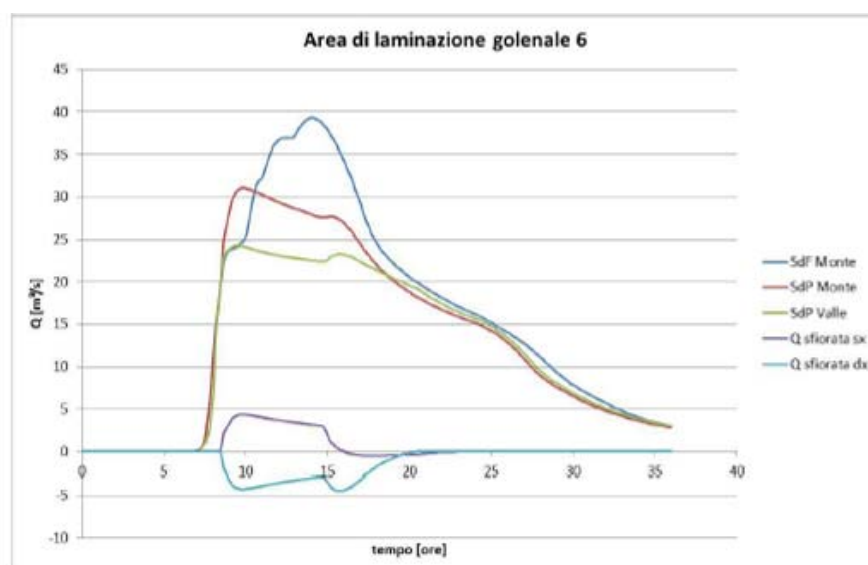


Figura 26 – Idrogrammi di piena a monte e valle dell'area di laminazione 6

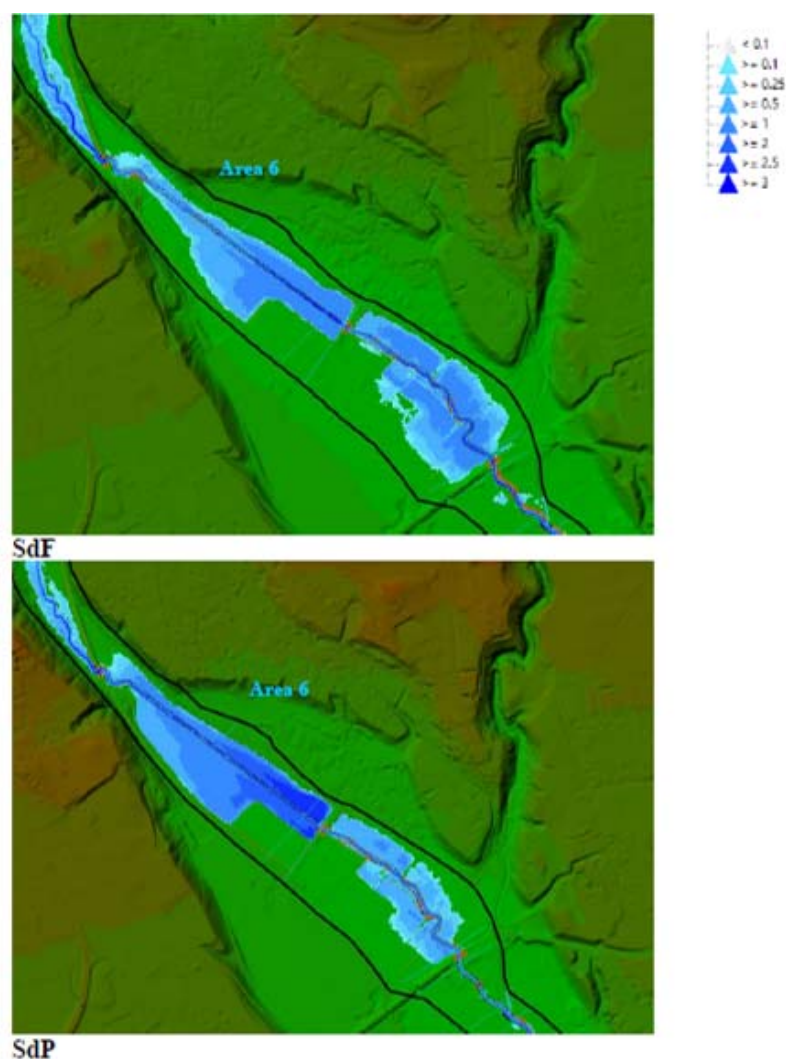


Figura 27 –Area di laminazione 5. Allagamenti nello SdF e nello SdP

Figura 11 – Estratto dal progetto preliminare - idrogrammi e aree di allagamento area golenale 6

Gli idrogrammi di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del tratto di T. Seveso oggetto della presente progettazione e l'idrogramma di piena corrispondente all'evento TR 100 anni definito "attuale", ovvero in assenza degli interventi di laminazione previsti dai comuni dell'Alto Seveso evidenziano una riduzione del picco di piena pari a circa 12 m<sup>3</sup>/s rispetto alla configurazione attuale del corso d'acqua e di circa 8 m<sup>3</sup>/s nella condizione di riferimento progettuale, che include gli interventi di laminazione a monte del tratto in esame.

Il volume di deflusso, inoltre, si riduce da circa 2.6 milioni di m<sup>3</sup> nello stato attuale, a 2.5 milioni di m<sup>3</sup> nello stato di fatto con interventi di laminazione nell'Alto Seveso a, infine, circa 2 milioni di m<sup>3</sup> nello stato di progetto.

Analizzando i tempi di ritorno inferiori, in termini di portata al colmo il beneficio degli interventi di progetto si riscontra a partire da eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 5 anni, ma in termini di volume che defluisce a valle dell'area di studio, anche per eventi caratterizzati da TR 2 anni si verificano delle riduzioni.



## 4. APPROFONDIMENTI DEL PRESENTE PROGETTO DEFINITIVO

Nell'ambito del presente progetto definitivo sono stati svolti degli approfondimenti di natura idraulica rispetto al progetto preliminare finalizzati ad ottimizzare la soluzione progettuale, mantenendo inalterati gli obiettivi di progetto, le ubicazioni delle opere e per quanto possibile i volumi di invaso.

I principali obiettivi idraulici, individuati già nel progetto preliminare, sono:

1. Massimizzazione del volume di invaso nelle aree golenali.
2. Riduzione del rischio di allagamento per le aree ad elevata domanda di sicurezza nel tratto in esame.
3. Miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica delle infrastrutture stradali e ferroviarie e dei manufatti di attraversamento.

### 4.1 Descrizione delle opere in progetto

Gli interventi di progetto prevedono il mantenimento delle aree di allagamento naturale, che interessano le zone golenali, migliorandone la capacità di laminazione dell'onda di piena.

Le aree golenali individuate, già oggi in massima parte allagabili, vengono ottimizzate nella loro configurazione per massimizzarne l'efficienza in relazione ad un evento centennale, ridurre l'idrogramma in uscita dal tratto oggetto di intervento già per eventi con Tr 5 anni, e ridurre la frequenza di allagamento per eventi con tempo di ritorno inferiore, senza aggravare comunque le condizioni di rischio dei territori di valle.

Dal punto di vista tipologico tutte le aree golenali si configurano come aree di invaso in derivazione con le seguenti caratteristiche:

- Alimentazione attraverso uno sfioratore laterale in massi cementati e rinverdiati con protezione antiersiva in massi al piede;



Figura 12 – Sezione tipo longitudinale dello sfioratore di alimentazione delle aree golenali

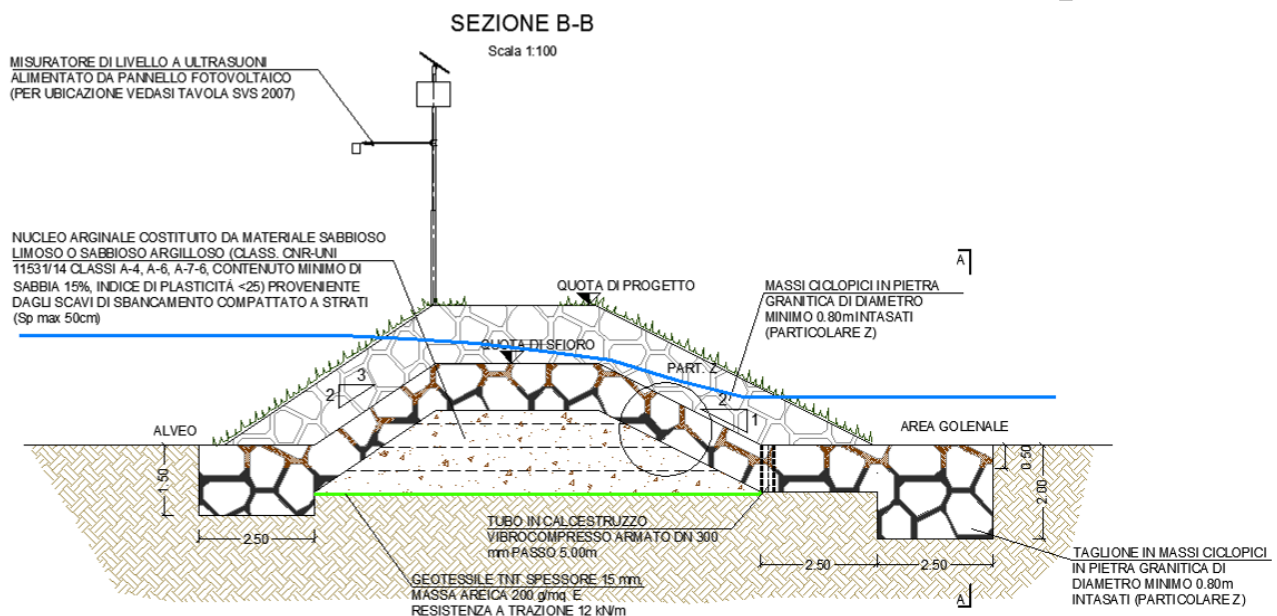


Figura 13 – Sezione tipo trasversale dello sfioratore di alimentazione delle aree golenali

- Sezione di controllo in alveo di tipo fisso, che si configura come un restringimento della sezione di deflusso per garantire un adeguato carico sulla soglia di alimentazione per gli eventi di progetto, tracimabile per portate superiori a quella di progetto.



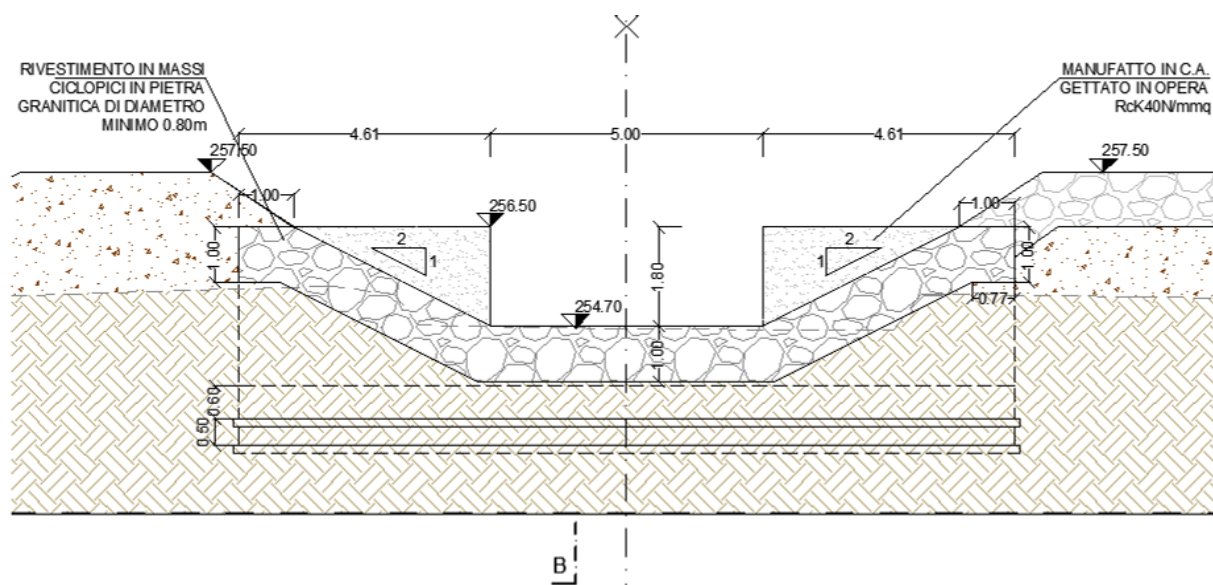


Figura 14 – Sezione tipo longitudinale del manufatto di restringimento delle aree golenali (le quote in figura sono riferite all'area 1)

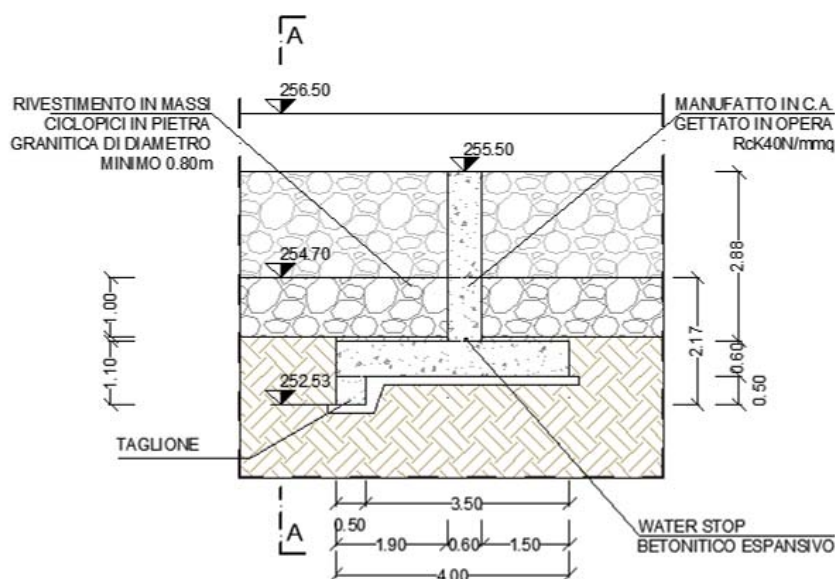


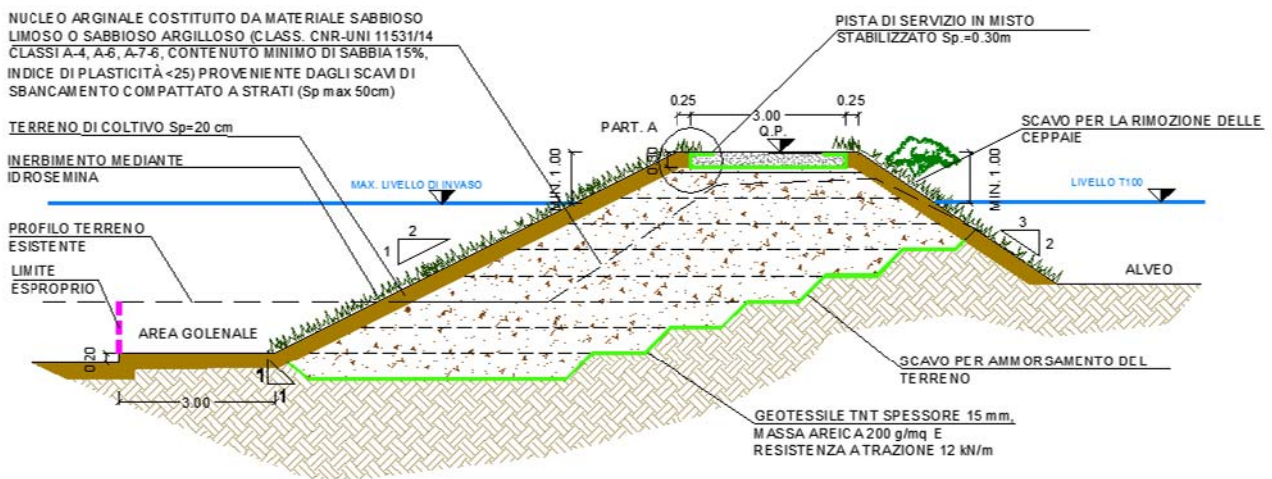
Figura 15 – Sezione trasversale del manufatto di restringimento delle aree golenali (le quote in figura sono riferite all'area 1)

- Perimetrazione dell'area golenale attraverso il ringrosso o la realizzazione di arginature in terra con pendenza dei paramenti 1/2 lato area golenale e 2/3 lato fiume o lato campagna, e larghezza in sommità 3.50 metri e TNT sul piano di appoggio del rilevato. In sommità arginale è realizzata una pista in

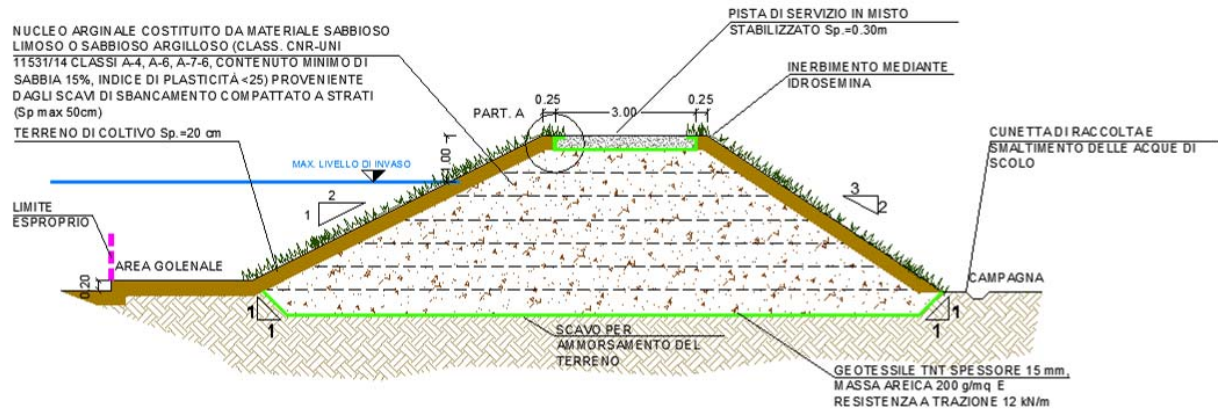
misto stabilizzato di larghezza 3 metri per il transito dei mezzi di servizio e manutenzione e come percorso ciclo pedonale di interconnessione con la rete esistente. In alcune aree l'elemento di contenimento dell'invaso è dato dal profilo morfologico dei terreni esistenti: in questi casi si prevede la realizzazione di una pista a quota superiore di 1 metro rispetto alla piena centennale per consentire le operazioni di manutenzione e transito in sicurezza, in generale sopraelevando viabilità esistenti.

### RINGROSSO ARGINALE SEZIONE TIPO

Scala 1:100

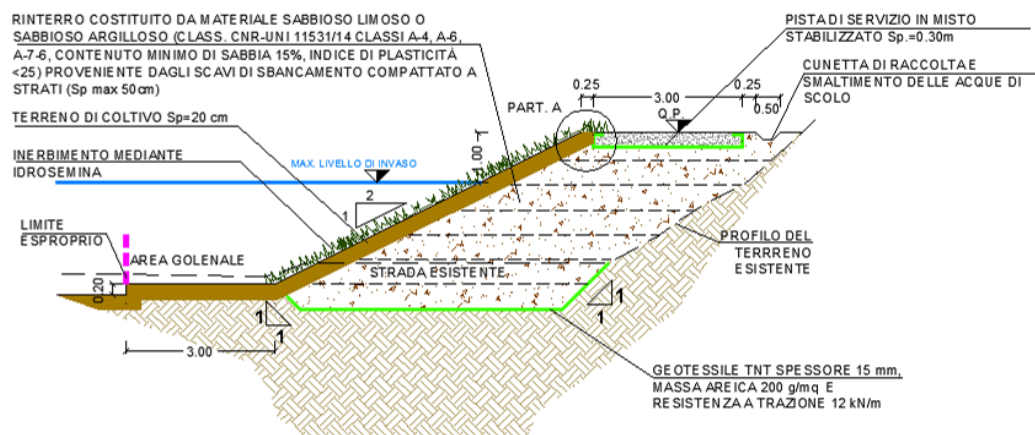


Scala 1:100



## RIALZO VIABILITA' ESISTENTE

### SEZIONE TIPO



- Lungo il perimetro arginale sono previste piazzole di interscambio per i mezzi e rampe di accesso al fondo area golenale che viene lasciato agli attuali proprietari.



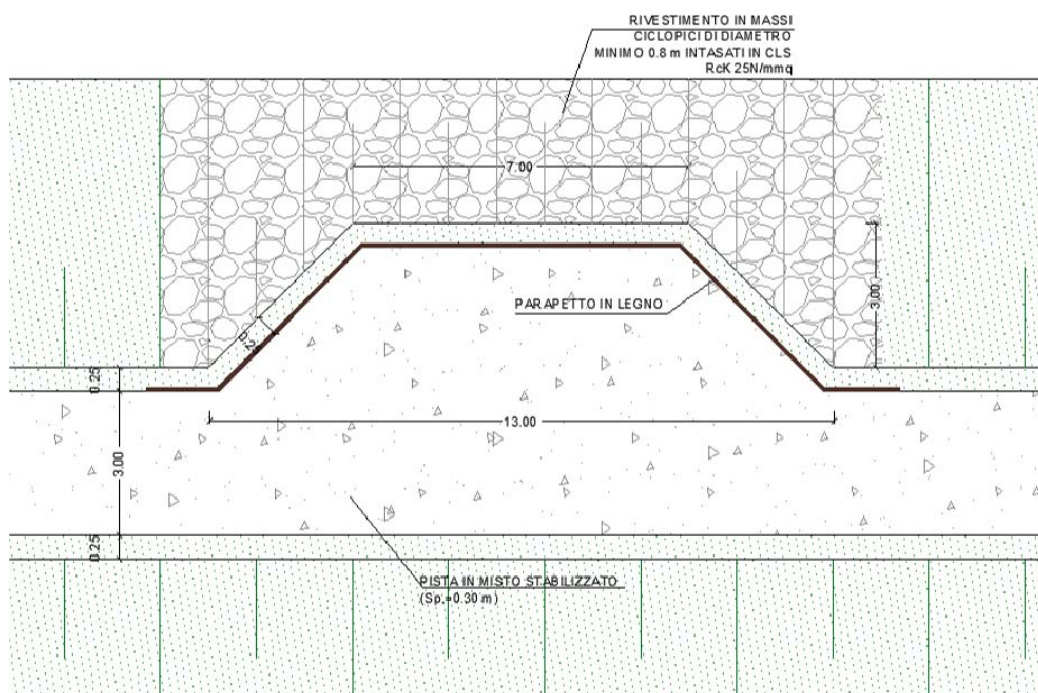


Figura 18 – Pianta tipo di piazzola di interscambio

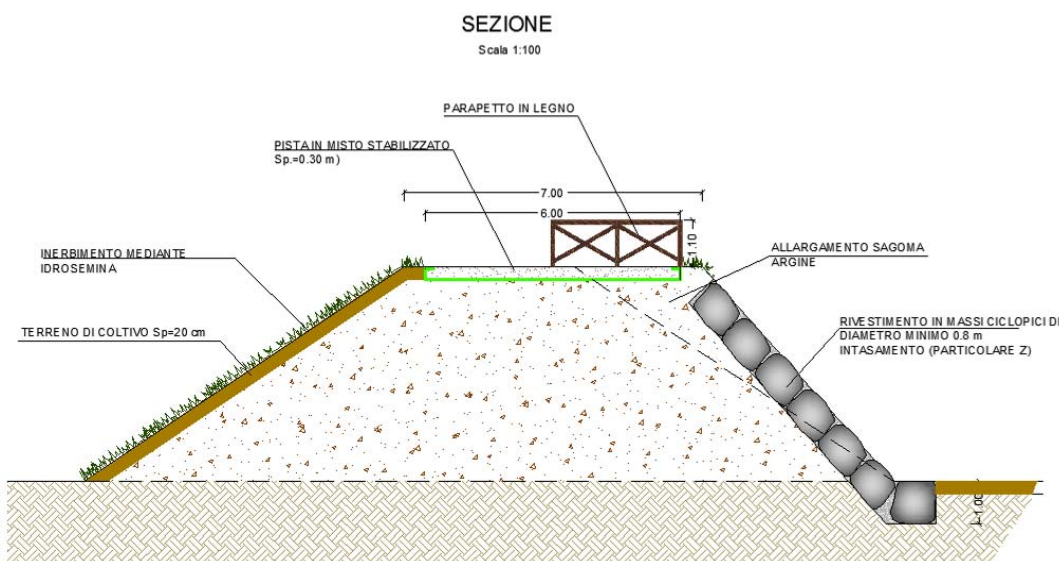


Figura 19 – Sezione tipo di piazzola di interscambio

- Il piano interno delle aree viene riprofilato per ottimizzare i volumi di invaso, reperire parte del materiale necessario per la realizzazione dei rilevati e consentire l'accumulo minimizzando le altezze delle arginature fuori terra. la finitura superficiale delle aree sarà ripristinata con terreno agricolo per mantenere inalterata la possibilità di coltivazione delle aree.

- Lo svuotamento delle aree golenali è previsto a gravità attraverso un manufatto regolato da paratoia ad azionamento manuale con luce 1.00 x 1.00 m e con ulteriore presidio dato da una valvola di non ritorno delle stesse dimensioni, al fine di scongiurare il rischio di ingresso delle acqua del Seveso nell'area golenale dallo scarico di fondo anziché dallo sfioratore.

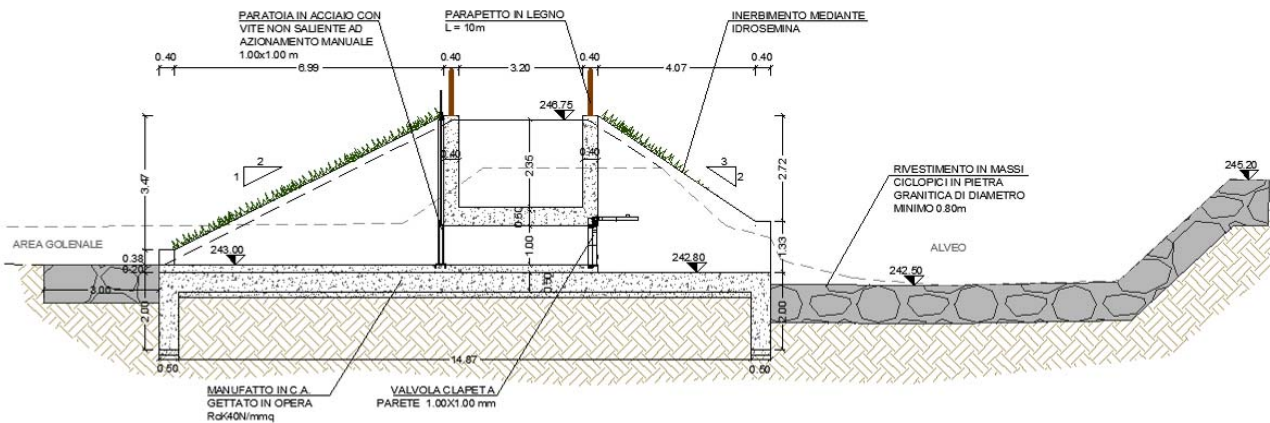


Figura 20 – Sezione longitudinale del manufatto di scarico delle aree golenali (le quote in figura sono riferite all'area 4)

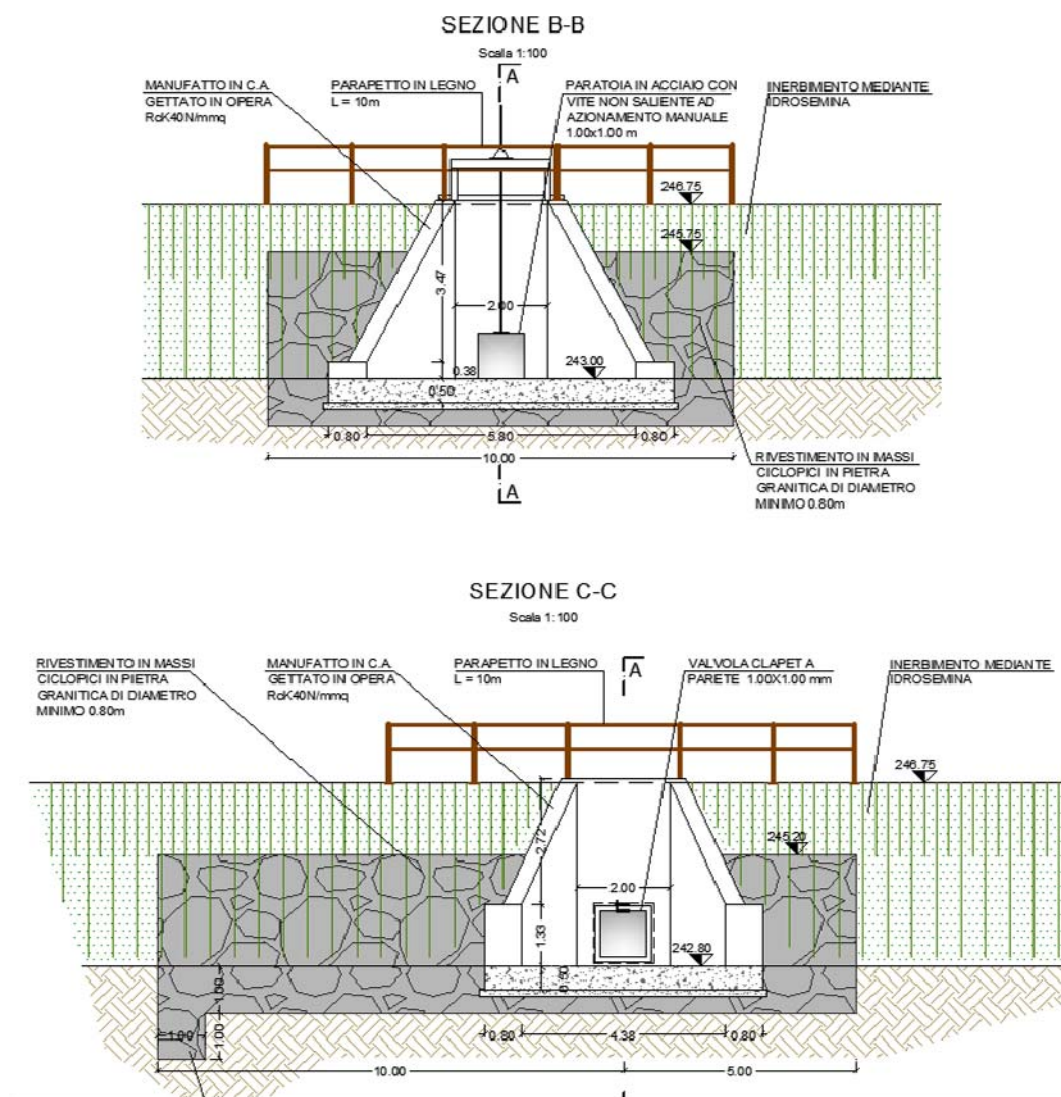


Figura 21 – Prospetti del manufatto di scarico delle aree golenali (le quote in figura sono riferite all'area 4)

- Il progetto prevede il posizionamento di 3 misuratori di livello per la misurazione dei tiranti idrici in alveo, alimentati con pannelli solari e compatibili con il sistema di montaggio AIPO (SVS 2.08) la cui localizzazione è illustrata nella tavola di progetto SVS 2007.
- Per monitorare i livelli di falda, anche a seguito della realizzazione delle opere, il progetto prevede il posizionamento di 4 piezometri posizionati (SVS 2007):
  - 1°: a monte della vasca 1, profondo 20 m;
  - 2°: a valle della vasca 3, profondo 50 m

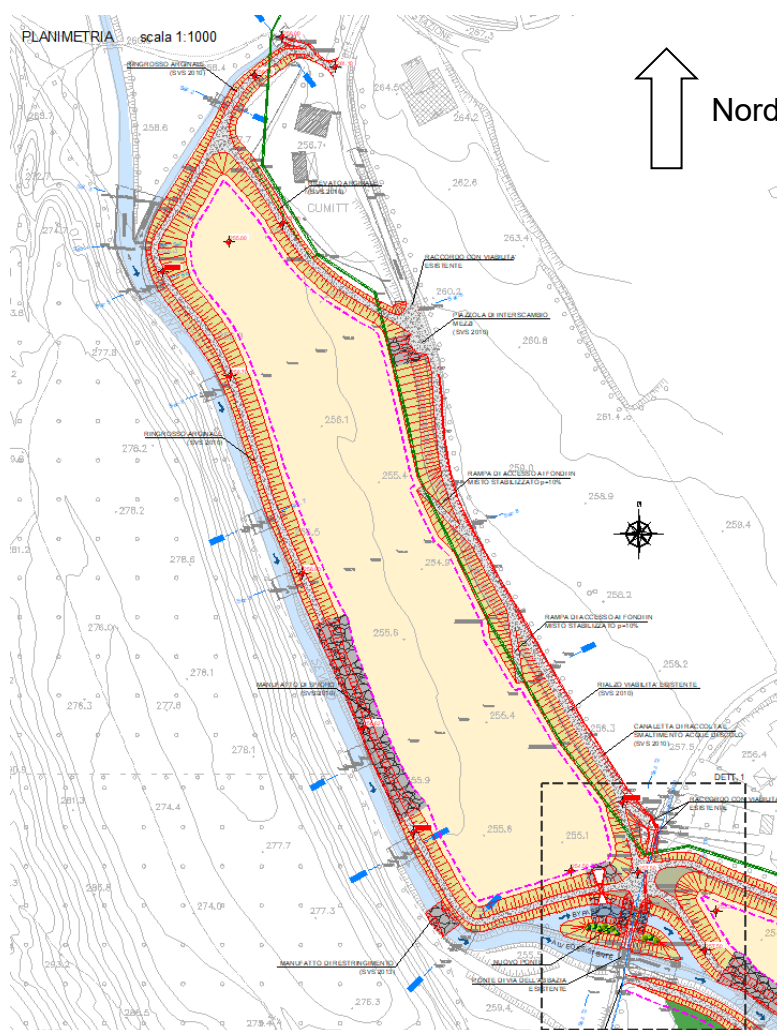


3°:a valle della vasca 5, profondo 50m

4°:a valle della vasca 6, profondo 50 m

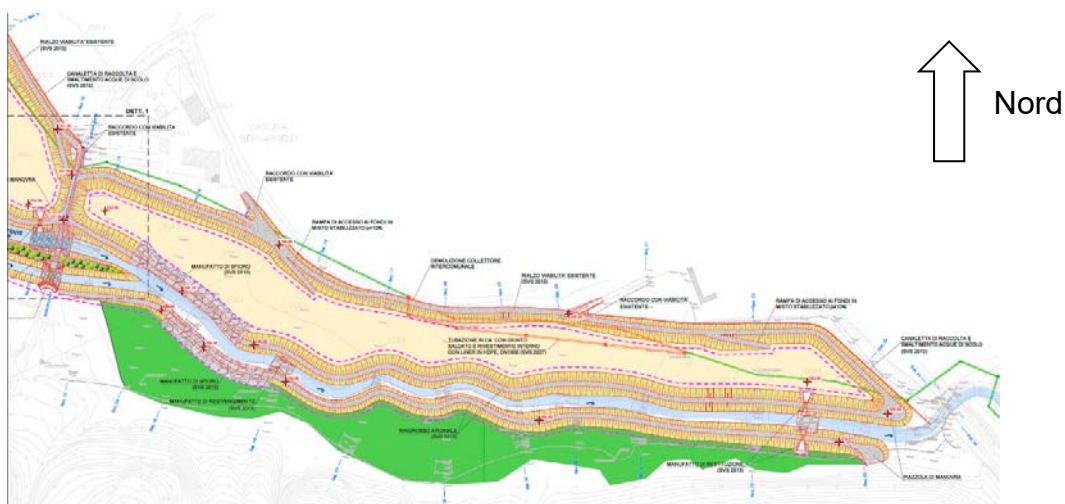
Nel seguito sono riportate le planimetrie delle opere in progetto (estratte dagli elaborati grafici corrispondenti). La descrizione dettagliata delle opere è riportata nella relazione generale SVS 2.01 mentre i dettagli dimensionali sono riportati al capitolo 4.2.8.2 della presente relazione

### **Area golenale 1 - Vertemate con Minoprio**

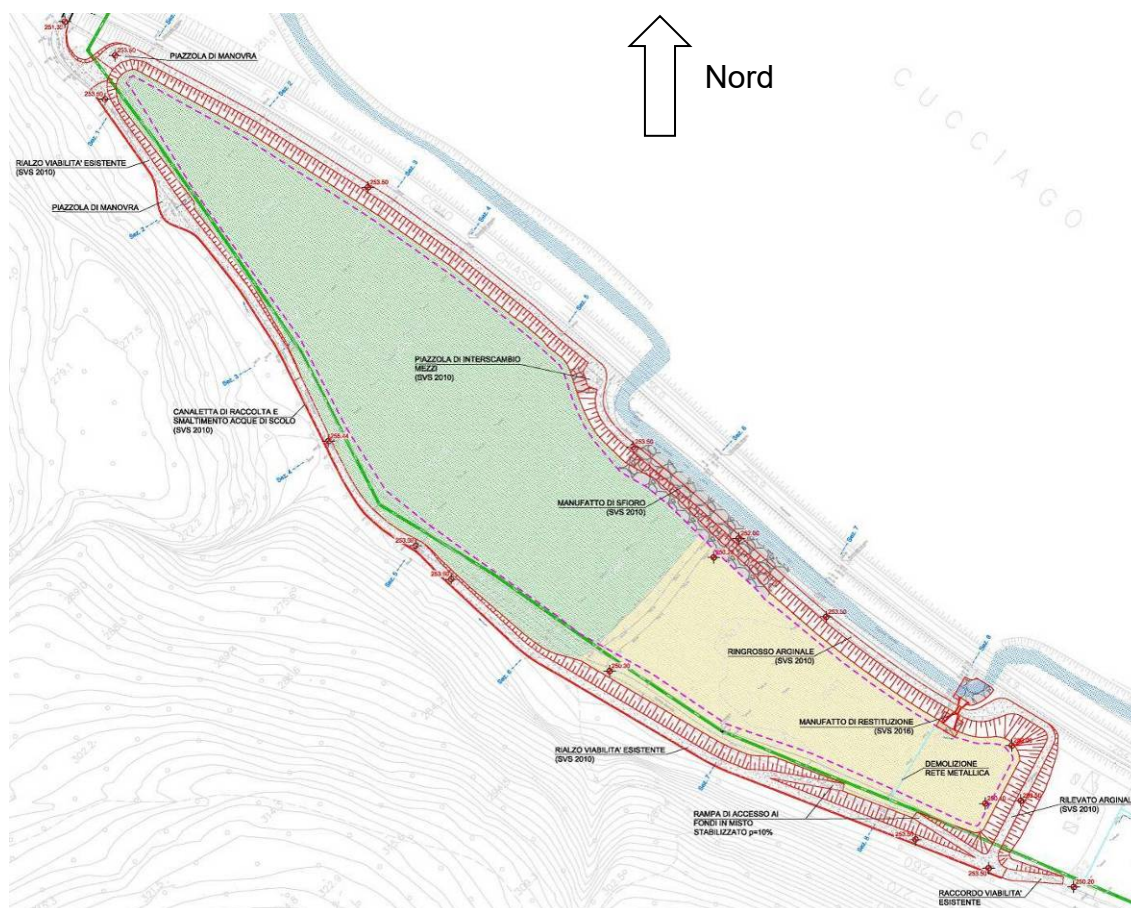


**Figura 22 – Planimetria di progetto area golenale 1**

### **Area golenale 2 in sinistra e destra idraulica - Vertemate con Minoprio**



### Area golenale 3 - Vertemate con Minoprio



### Area golenale 4- Cantù



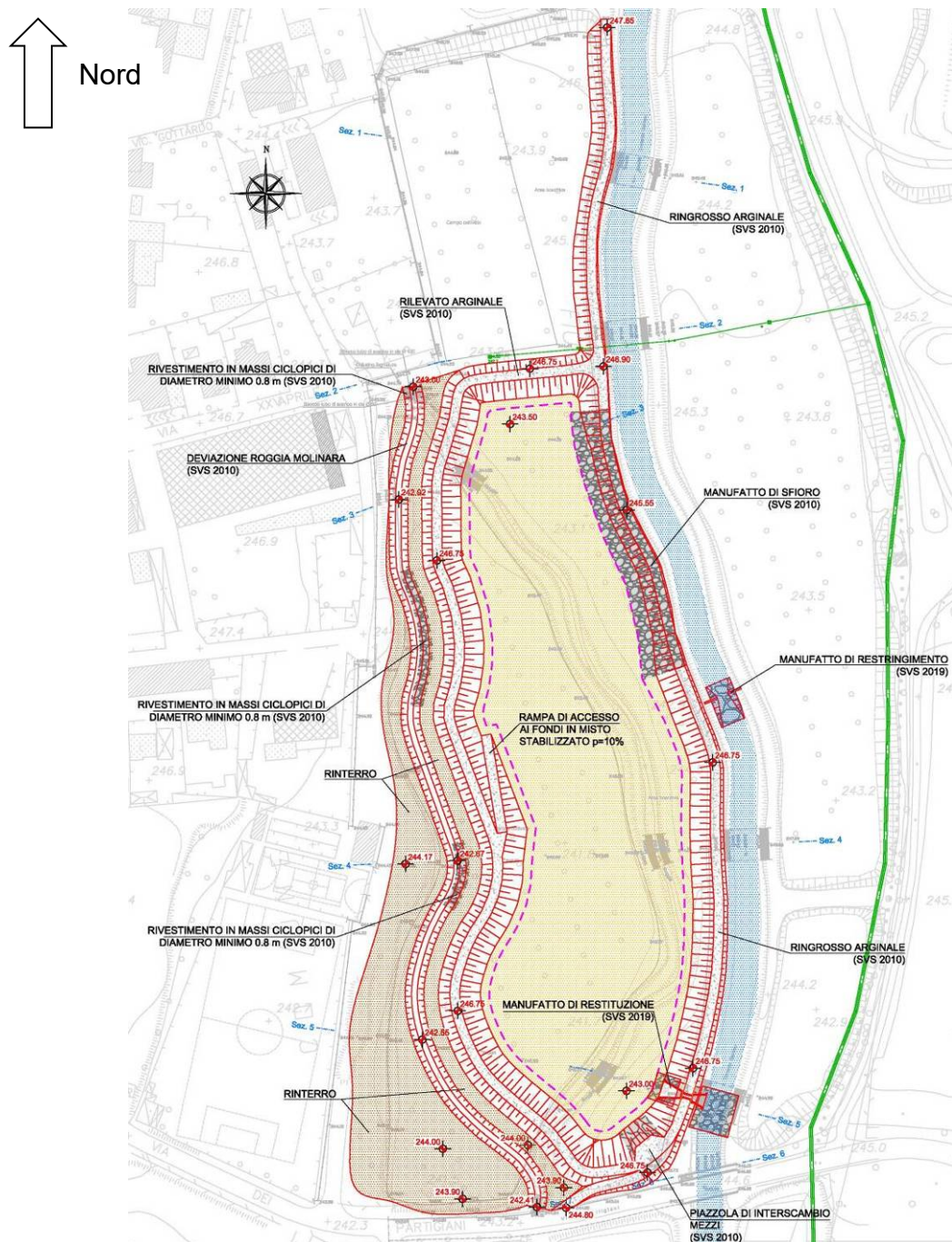


Figura 25– Planimetria di progetto area golenale 4

**Area golenale 6 in sinistra idraulica – Carimate**

PROGETTO DEFINITIVO – Relazione idrologico-idraulica

SVS 2.02\_idr-idr\_R03.doc

Pagina 35 di 103

M-T-018

STUDIO MAIONE  
INGEGNERI ASSOCIATIMAJONE & PARTNERS  
ENGINEERING

DOTT. ING. GAETANO DI FRANCA

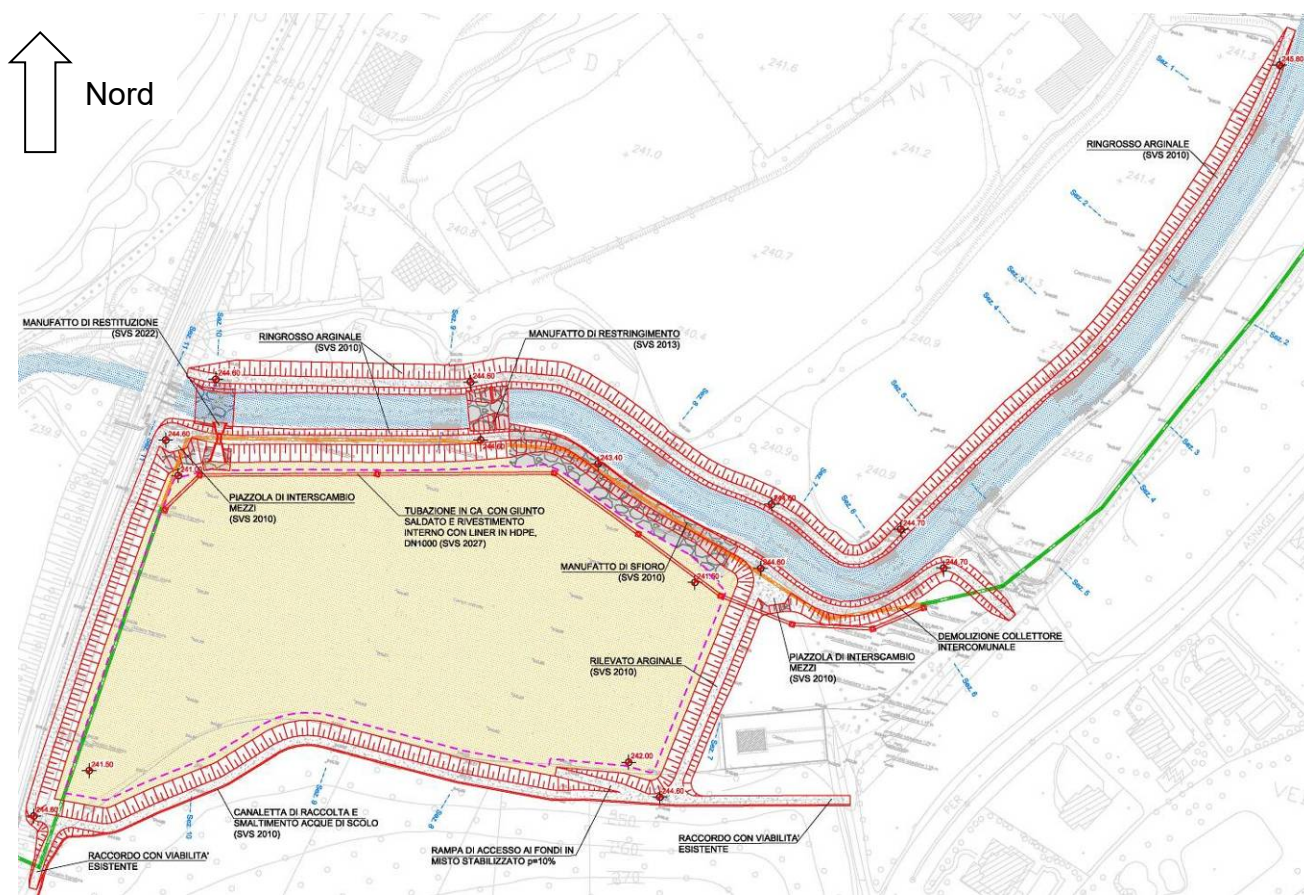


Figura 26– Planimetria di progetto area golenale 5



## 4.2 Aggiornamento del modello idraulico bidimensionale

Al fine di dimensionare correttamente le opere, valutare le modalità di riempimento delle aree golenali e il regime di moto in alveo e all'interno delle stesse per tempo di ritorno 2, 5, 10 e 100 anni (compreso lo scenario T=100 anni con realizzate le vasche a monte di Vertemate), è stato implementato un modello idraulico monodimensionale del Seveso accoppiato con un modello bidimensionale delle aree golenali, in grado di cogliere la molteplicità delle direzioni di flusso che si hanno nell'area in oggetto e le variazioni delle principali grandezze idrodinamiche nei diversi nodi della maglia simulata oltre che lo scambio di portate tra fiume e aree golenali.

#### 4.2.2 Codice di calcolo

Il modello monodimensionale accoppiato al bidimensionale è stato implementato mediante l'uso del software HEC-RAS 5.0 sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

#### 4.2.3 Descrizione del modello Hec-ras

Il codice di calcolo HEC-RAS è sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

Per la parte monodimensionale, utilizzata per l'alveo del Seveso le caratteristiche principali del software utilizzato sono le seguenti:

##### **Le equazioni del moto**

HEC-RAS risolve le equazioni di De Saint Venant distinguendo tra alveo e zone golenali:

##### *Equazione di continuità*

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

dove

x distanza lungo il canale;

t tempo;

Q portata;

A area della sezione;

S area della sezione con considerata contribuente al deflusso (ineffective flow area);

$q_l$  flusso laterale per unità di lunghezza.

L'equazione può essere scritta per l'alveo inciso, per la golenella destra e per la golenella sinistra, di seguito, per semplicità, si riportano le equazioni per l'alveo inciso e per le golene complessivamente:

$$\frac{\partial A_a}{\partial t} + \frac{\partial Q_a}{\partial x_a} - q_g = 0$$

$$\frac{\partial A_g}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q_g}{\partial x_g} = q_a + q_l$$

Dove la sottoscrizione a e g indica alveo inciso e golene rispettivamente,  $q_c$  e  $q_g$  indicano gli scambi di portata tra l'alveo inciso e le zone golenali.

Si noti come siano considerate distanze diverse lungo l'alveo inciso e le zone golenali.

### Equazione dell'energia

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S \right) = 0$$

dove:

g    accelerazione di gravità;

S    perdite di energia dovute alla scabrezza;

V    velocità.

Anche in questo caso possiamo scrivere l'equazione per l'alveo inciso e per le golene:

$$\frac{\partial Q_a}{\partial t} + \frac{\partial(V_a Q_a)}{\partial x_a} + gA_a \left( \frac{\partial z}{\partial x_a} + S_a \right) = M_g$$

$$\frac{\partial Q_g}{\partial t} + \frac{\partial(V_g Q_g)}{\partial x_g} + gA_g \left( \frac{\partial z}{\partial x_g} + S_g \right) = M_a$$

dove M rappresenta lo scambio di quantità di moto tra alveo inciso e golene, si noti che  $\Delta x_a M_a = -\Delta x_g M_g$

Nelle equazioni z (livello d'acqua) non è sottoscritto, infatti un modello monodimensionale ha come assunzione implicita che il livello è costante all'interno dell'intera sezione. La velocità è invece diversa tra alveo inciso e zone golenali, per cui si avrebbe un valore dell'energia diverso, non possibile in un modello monodimensionale. Il valore dell'energia viene calcolato introducendo il valore  $\alpha$ . Considerando una velocità media nella sezione e differenziando tra alveo, golena destra e golena sinistra, facendo una media pesata sulle portate, possiamo scrivere:

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_{gsx} \frac{V_{gsx}^2}{2g} + Q_a \frac{V_a^2}{2g} + Q_{gdx} \frac{V_{gdx}^2}{2g}}{Q_{gsx} + Q_a + Q_{gdx}}$$

assumendo che la pendenza della linea dell'energia è unica risulta anche:

$$Q_{gsx} = \frac{Q_{Tot}}{K_{Tot}} K_{gsx} \quad Q_a = \frac{Q_{Tot}}{K_{Tot}} K_a \quad Q_{gdx} = \frac{Q_{Tot}}{K_{Tot}} K_{gdx}$$

dove K rappresenta la conveyance o conduttività idraulica. Inserendo quest'ultime nell'equazione precedente si ottiene:

$$\alpha = \frac{A_{Tot}^2 \left[ \frac{K_{gsx}^3}{A_{gsx}^2} + \frac{K_a^3}{A_a^2} + \frac{K_{gdx}^3}{A_{gdx}^2} \right]}{K_{Tot}^3}$$

### **Definizione delle perdite di carico per attrito**

HEC-RAS utilizza l'equazione di Manning per la definizione delle perdite di carico per attrito:

$$Q = \frac{AR_H^{2/3} \sqrt{S}}{n}$$

dove n è il coefficiente di scabrezza secondo tale formulazione.

HEC-RAS nella scrittura, e quindi implementazione, dell'equazione dell'energia distingue sempre tra alveo inciso e zone golenali calcolando separatamente la conveyance di queste zone. Nel caso in cui all'interno di tali zone vi siano variazioni di scabrezza suddivide ulteriormente la sezione calcolando la conveyance per ogni tratto a partire da area e contorno bagnato.

Oltre alle perdite di carico per attrito HEC-RAS considera anche le perdite di carico per allargamento o restringimento della sezione:

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove c è il coefficiente di contrazione.

### **Strutture**



In HEC-RAS possono essere schematizzate diversi tipi di strutture, sia trasversali al corso d'acqua che parallele allo stesso.

Per le strutture trasversali la valutazione delle perdite di carico dovute alla presenza della struttura è fatta mediante la schematizzazione con 4 sezioni del tratto in cui avviene la contrazione e l'espansione della vena liquida (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Il manuale di HEC-RAS riporta anche diverse formulazioni per la valutazione di un corretto posizionamento delle sezioni 1 e 4.

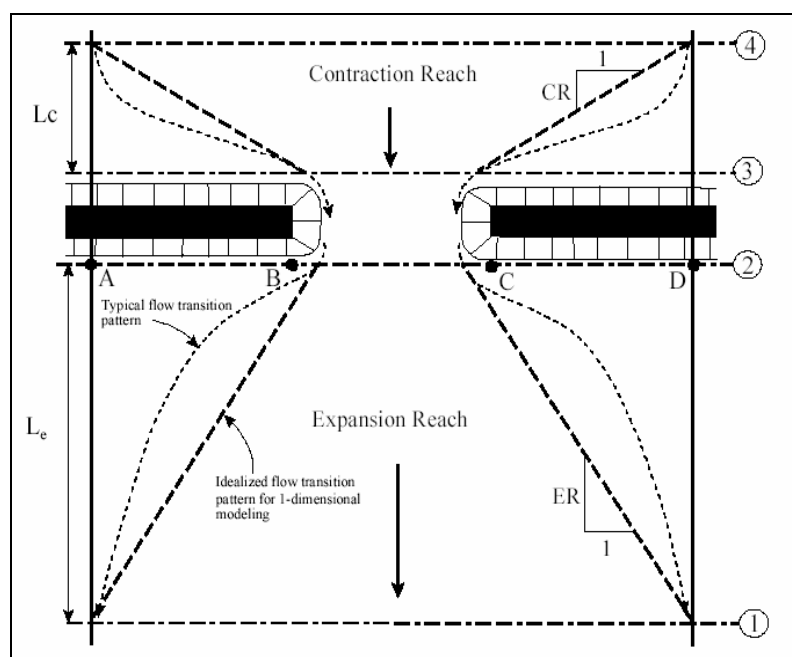


Figura 28 – Posizionamento delle sezioni per l'analisi dei tratti di contrazione ed espansione dovuti alle strutture.

### Ponti

Il codice di calcolo permette l'utilizzo di 4 formulazioni per il calcolo del rigurgito provocato dai ponti:

- bilancio energetico;
- teorema della quantità di moto;
- Yarnell;
- Metodo WSPRO.

### **Stramazzi**

Il calcolo del deflusso attraverso gli stramazzi è fatta con le formule degli stramazzi. Si possono considerare sia stramazzi in parete sottile che in parete grossa, liberi o controllati da paratoie verticali o radiali.

Oltre alle strutture trasversali alla corrente è possibile considerare delle strutture parallele alla corrente che simulano lo sfioro dell'acqua al di sopra di un argine o di una apposita struttura di sfioro laterale. In HEC-RAS il calcolo della portata sfiorante non è fatta considerando unicamente il livello di una sezione, ma considerando la variazione di livello sia dello stramazzo che del livello d'acqua, permettendo una più precisa valutazione.

Per la parte bidimensionale il codice risolve le equazioni di De Saint Venant bidimensionali. Per la soluzione il codice utilizza la tecnica dei volumi finiti su griglia non strutturata. La tecnica dei volumi finiti consente di rappresentare in modo corretto sia correnti in moto subcritico che supercritico, come pure di descrivere fronti d'onda ripidi come quelli che si verificano in caso di rottura d'argini o dighe. La tecnica dei volumi finiti consente inoltre il controllo preciso dell'equazione di continuità nei problemi di flood and dry, continuità non sempre strettamente garantita nei metodi agli elementi finiti e differenze finite. HEC-RAS è perciò particolarmente adatto a descrivere propagazioni di onde su asciutto come quelle che si verificano durante gli allagamenti delle zone golenali. Le griglie non strutturate consentono di descrivere in dettaglio il dominio di calcolo, permettendo di variare le dimensioni degli elementi infittendo la griglia di calcolo dove le variazioni geometriche sono più accentuate e/o dove si vuole un livello di dettaglio più accurato. Inoltre l'utilizzo della tecnica dei volumi finiti consente di accelerare i tempi di calcolo. Il codice di calcolo definisce per ogni faccia di una cella di calcolo della mesh le grandezze idrodinamiche caratteristiche in una fase di pre-elaborazione, accelerando quindi il calcolo in fase di simulazione.

Attraverso l'accoppiamento 1D-2D è possibile simulare sistemi complessi quale quello in oggetto, garantendo la massima affidabilità dei livelli in alveo anche in presenza di strutture interferenti che creano funzionamenti rigurgitati dell'alveo, e

al tempo stesso fornire un'accurata definizione delle dinamiche bidimensionali nelle aree golenali e dell'interconnessione tra alveo e golena.

Per non appesantire la trattazione e per dettagli sul funzionamento computazionale del codice di calcolo utilizzato, si rimanda all'ampia documentazione disponibile. Al seguente indirizzo <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

#### 4.2.4 Descrizione topografica dell'alveo e delle aree golenali

Nell'area in oggetto è disponibile il rilievo svolto nell'ambito dello studio ADBPo "Lambro-Olona" oltre al rilievo lidar del Ministero dell'Ambiente. Questi rilievi sono stati utilizzati per la redazione del progetto preliminare. Nell'ambito del presente progetto definitivo, i rilievi disponibili sono stati integrati ed estesi attraverso un rilievo di dettaglio del torrente Seveso nei tratti oggetto di intervento e delle aree golenali su cui sorgeranno le opere. Le risultanze del rilievo topografico svolto sono riportate nelle tavv. SVS 2002 - SVS 2007.

Per le sezioni in alveo, la densità dei punti rilevati è stata tale da rappresentare adeguatamente le variazioni del profilo del terreno, tenendo conto degli elementi che determinano variazioni di quota localizzate (rilevati stradali, argini, reticolo idrografico minore, bordi di terrazzi geologici ecc.).

È stato eseguito il rilievo piano – altimetrico di tutti i manufatti presenti in alveo, quali ponti, briglie, salti di fondo che hanno dimensioni significative rispetto a quelle del corso d'acqua. Oltre al rilievo della sezione trasversale dell'alveo in corrispondenza dei manufatti, rilevando gli elementi planimetrici e altimetrici necessari a schematizzare il prospetto e la pianta della struttura.

È stato realizzato inoltre un piano quotato di dettaglio delle aree golenali e dei piani di imposta degli argini in progetto.

Per i tratti di Seveso e di golena non corrispondenti ad aree golenali, ma interni a tratto di simulazione, l'informazione topografica è stata desunta dai rilievi dello studio ADBPo "Lambro-Olona" integrati con il rilievo lidar del Ministero dell'Ambiente. E' stata verificata la buona coerenza in termini di quote assolute con i rilievi svolti nella presente progettazione definitiva.

#### 4.2.5 Costruzione del modello digitale del terreno dell'area oggetto di simulazione

Partendo dall'informazione topografica descritta al paragrafo precedente, le dimensioni dell'area oggetto di simulazione e del grado di dettaglio della maglia di calcolo sono state definite tenendo conto di diverse esigenze.

- Avere un adeguata estensione e grado di dettaglio tale da consentire una corretta ricostruzione della fenomenologia nelle aree di interesse e da minimizzare l'influenza delle condizioni al contorno sui risultati.
- Implementare un modello compatibile da un punto di vista computazionale con i processori di ultima generazione.

Partendo dal piano quotato di rilievo è stata costruita una mappa del suolo o TIN (Triangular Irregular Network), e da qui è stato ricostruito il Terreno in 3D per la definizione delle mappe di allagamento.

La maglia è stata infittita nelle aree di maggiore interesse e maggiore criticità al fine di ottenere il massimo livello di affidabilità dei risultati in queste aree.

Nelle figure seguenti si riportano i modelli digitali del terreno nella configurazione stato di fatto e progetto.

#### 4.2.6 Condizioni al contorno

Come condizioni al contorno del modello sono stati inseriti i medesimi idrogrammi definiti nello studio AIPO 2011. In particolare come condizione al contorno di monte stati inseriti i seguenti idrogrammi, per tempi di ritorno 2, 5, 10, 100 anni (definito 10 anni attuale come nel preliminare) e 100 anni con realizzate anche le vasche a monte del tratto di intervento (definito 100 anni progetto, come nel preliminare).

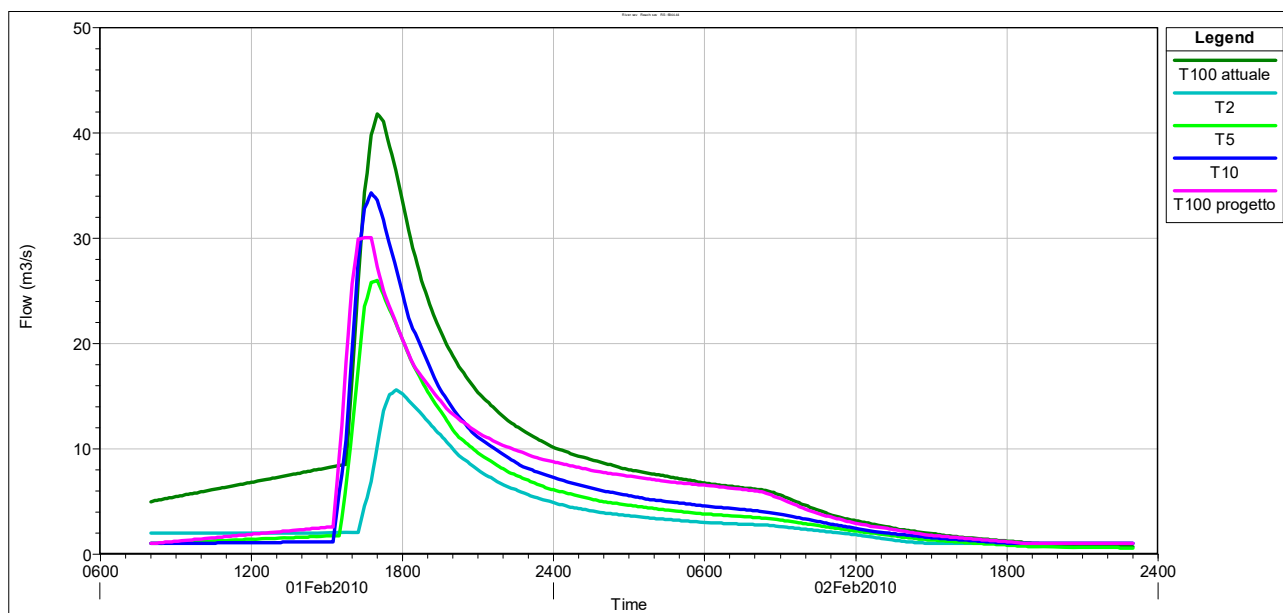
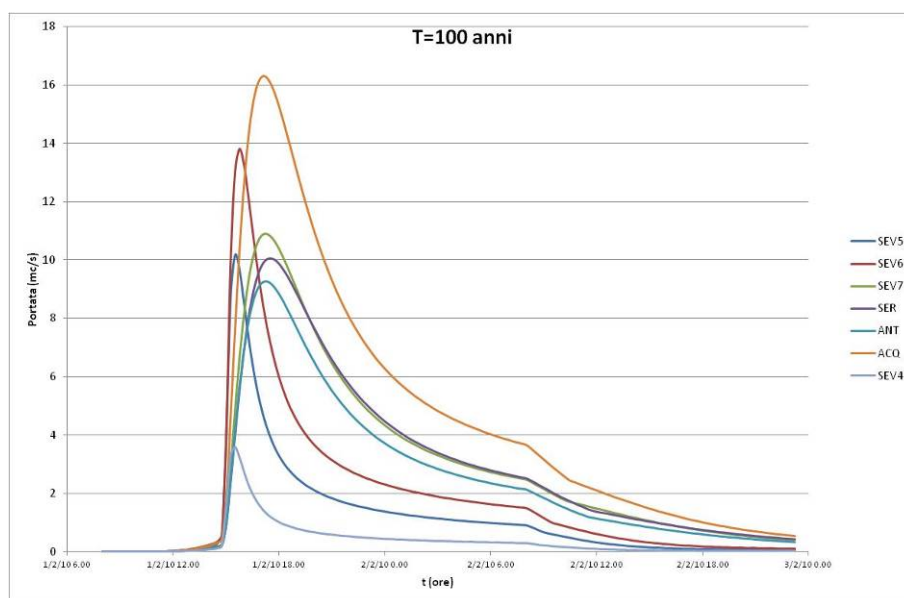
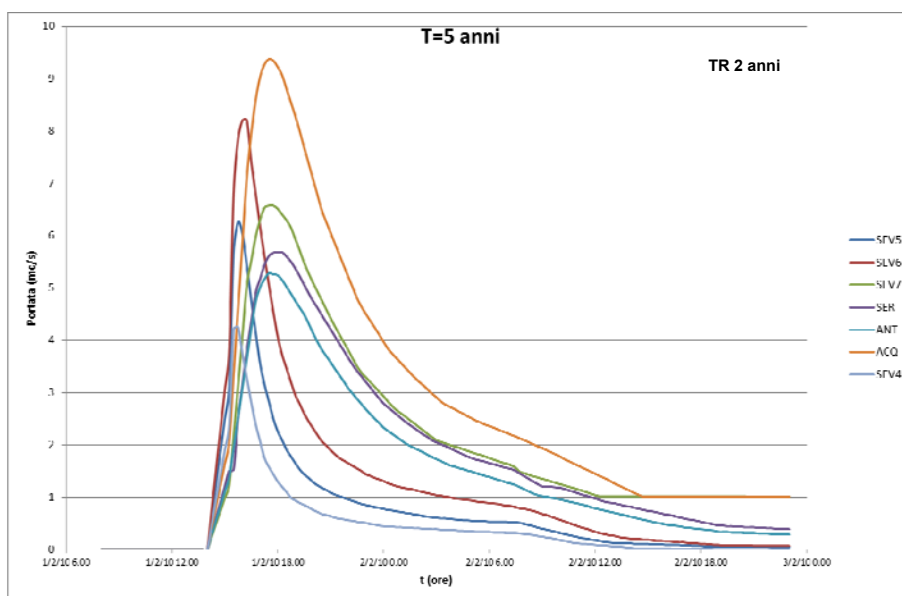
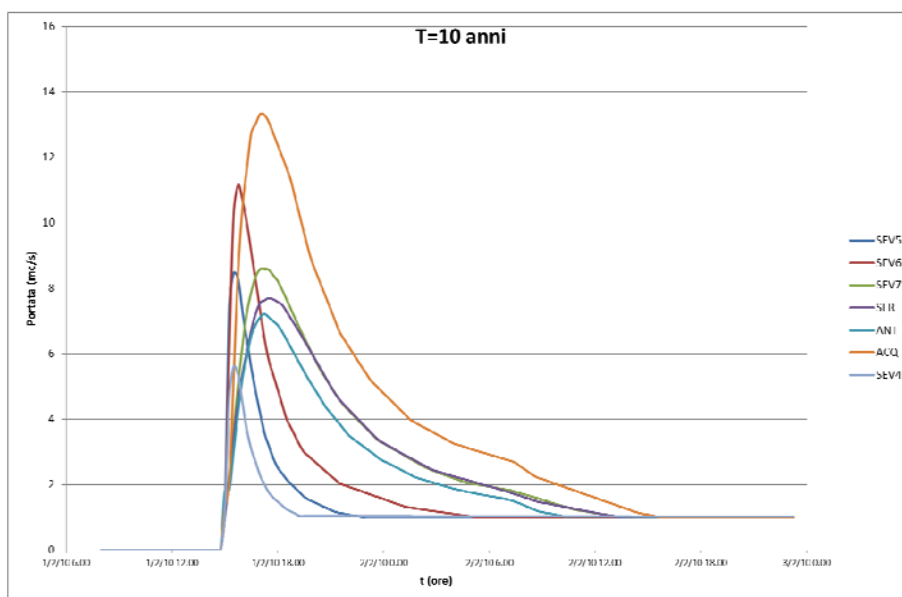


Figura 29 – condizioni al contorno di monte: Idrogrammi di piena TR 100, 10, 5 e 2 anni alla sezione SV 85.1

Come condizioni al contorno distribuite lungo il tratto di simulazione sono stati inseriti i seguenti idrogrammi:







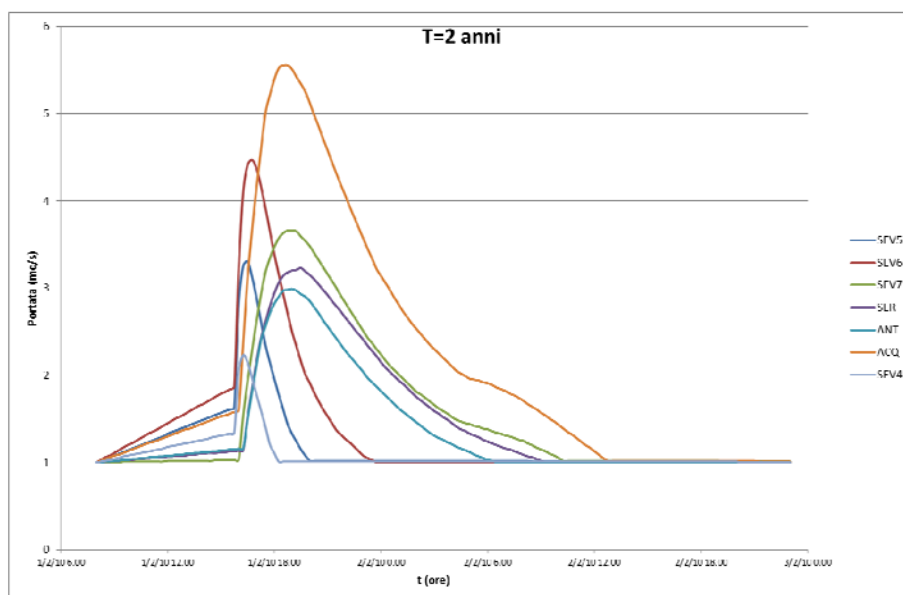


Figura 30 – Idrogrammi di piena TR 100, 10, 5 e 2 anni

Come condizione di valle è stato inserita una condizione di moto uniforme alla sezione SV 66 sufficientemente distante dalle opere in progetto per non influenzare i livelli nel tratto di interesse.

E' stato anche simulato il funzionamento dello stato di fatto e degli interventi in progetto considerando come idrogramma in ingresso dal torrente Acquanegra quello risultante dallo studio *“Interventi di riqualificazione fluviale nell'ambito del contratto di fiume Seveso nei comuni di Cucciago, Casnate con Bernate, Senna Comasco e Fino Mornasco, all'interno dei bacini del Rio Acquanegra e del Rio Valle Sant'Antonio”* del Settembre 2016, qui di seguito riportato, al posto di quello inserito nello studio AIPO 2011, mantenendo invece gli idrogrammi dello studio AIPO 2011 per i restanti sottobacini.

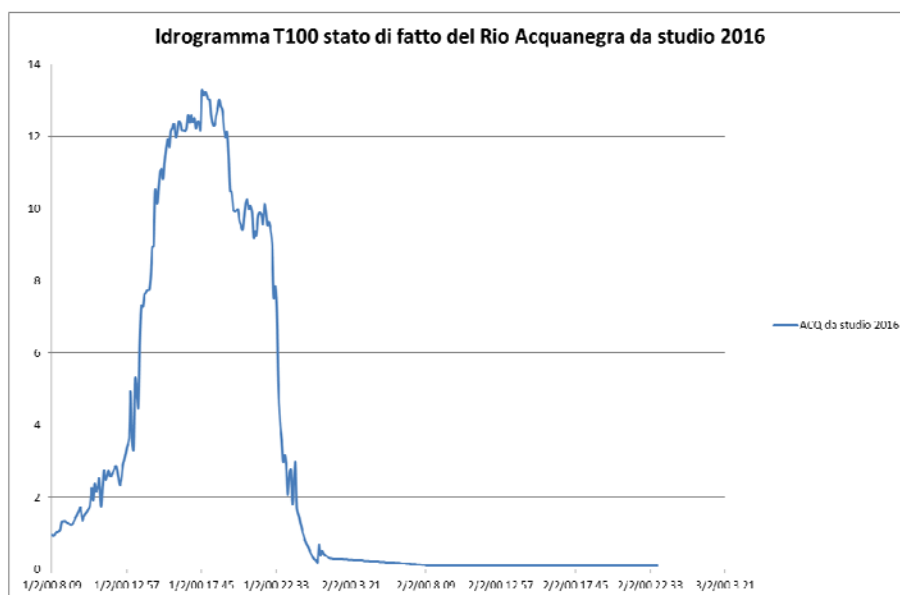


Figura 31 – Idrogramma di piena TR 100 del rio Acquanegra nello stato di fatto desunto dallo studio *“Interventi di riqualificazione fluviale nell’ambito del contratto di fiume Seveso nei comuni di Cucciago, Casnate con Bernate, Senna Comasco e Fino Mornasco, all’interno dei bacini del Rio Acquanegra e del Rio Valle Sant’Antonio”* del settembre 2016.

#### 4.2.7 Scabrezze

All'alveo inciso simulato attraverso una schematizzazione monodimensionale è stato dato un valore di Manning pari a 0.0286 in linea con quanto previsto nello studio AIPO 2011, mentre per le aree di espansione, al dominio di calcolo bidimensionale è stato applicato un coefficiente di scabrezza di variabile per tipologia di copertura del suolo come segue:

Aree boscate	0.05
Tessuto residenziale sparso o isolato	0.07
Insedimenti industriali, artigianali, commerciali e tessuto residenziale continuo	0.10
Prati, parchi giardini e seminativi	0.04
Reti stradali	0.02

#### 4.2.8 Simulazioni condotte e risultati ottenuti

Sono state condotte le simulazioni nello stato di fatto e nella configurazione di progetto per i tempi di ritorno sopra descritti.

Nel seguito si riporta la descrizione e le immagini relative alle simulazioni condotte considerando come condizioni al contorno gli idrogrammi dello studio AIPO 2011. Le simulazioni condotte invece considerando l'idrogramma in arrivo dall'Acquanegra proveniente dallo studio 2016 non sono riportate in quanto i risultati differiscono in maniera non apprezzabile rispetto allo scenario rappresentato e le considerazioni fatte nei paragrafi seguenti rimangono valide anche considerando l'idrogramma Acquanegra 2016.

#### 4.2.8.1 Stato di fatto

Nelle figure seguenti è riportata la mappa degli allagamenti nella configurazione stato di fatto per tempo di ritorno 2, 5 10 e 100 anni del tratto simulato.

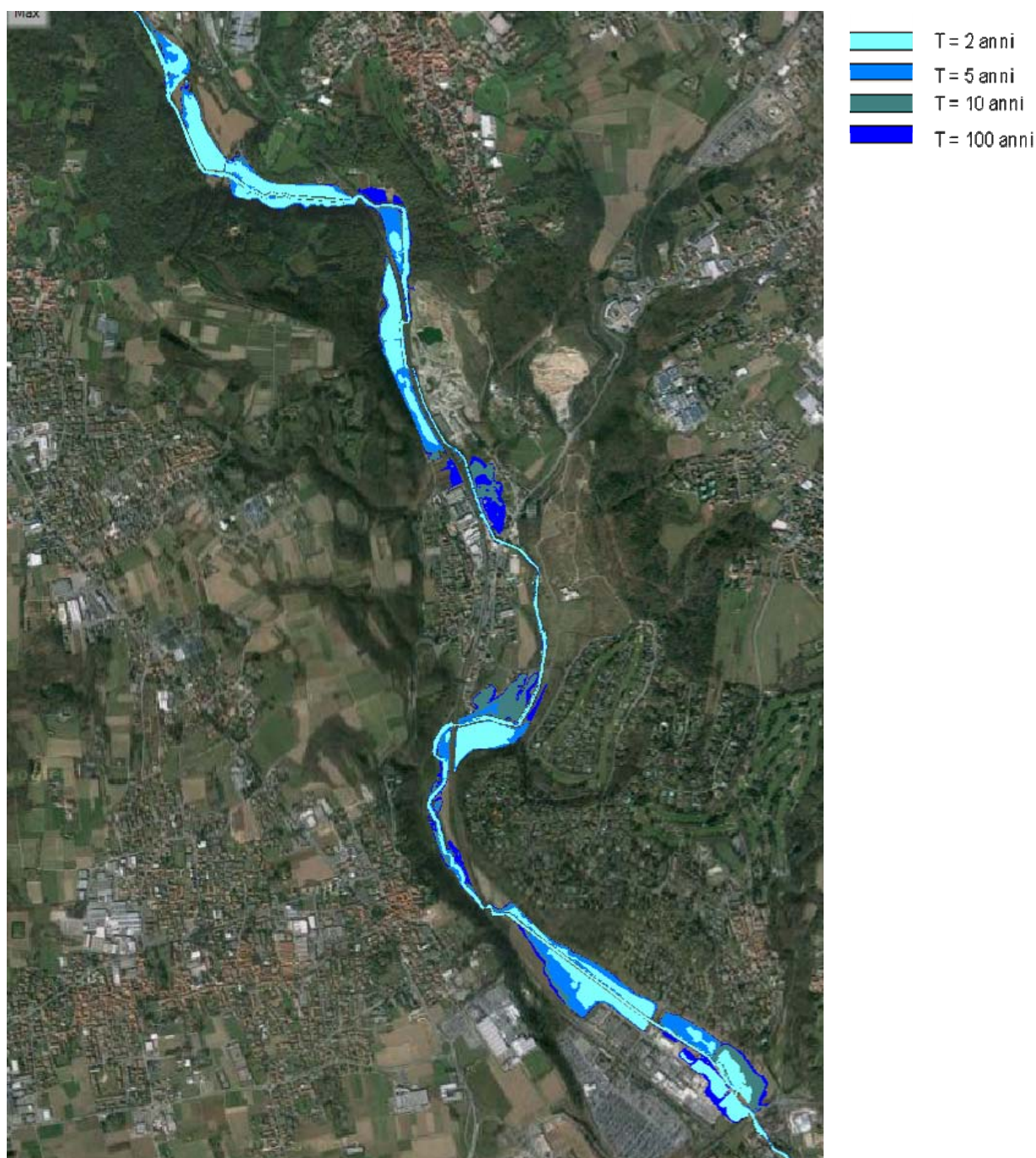


Figura 32 – Planimetria degli allagamenti stato di fatto T=2, 5, 10 e 100 anni

Entrando nel dettaglio, dall'analisi condotta emerge che:

- già per Tempo di ritorno 2 anni attualmente le aree golenali 1 e 2, sia in sinistra che in destra, risultano allagate e gli allagamenti interessano parzialmente anche le cascine poste a nord delle due aree a causa dell'insufficienza argina-



le e, per quanto riguarda l'area 1, del rigurgito indotto dal ponte di via dell'Abbazia (Figura 34).

- Già per  $T=2$  anni via dell'Abbazia nel tratto che separa l'area golenale 1 e 2 risulta tracimata dalle acque esondate in golena e quindi la portata prosegue verso valle in parte in alveo e in parte in golena, per poi rientrare in alveo al termine dell'area golenale 2 in sinistra, prima dell'attraversamento ferroviario.



Figura 33 – Planimetria degli allagamenti stato di fatto  $T=2$  anni con frecce di direzione e velocità della corrente

- l'area in sinistra idraulica a valle del rilevato ferroviario e dell'area golenale 2 risulta allagabile per  $T=100$  anni



Figura 34 – Planimetria degli allagamenti stato di fatto T=2, 5, 10 e 100 anni aree golenali 1 e 2

- l'area golenale 3 e l'area a monte di quest'ultima e del rilevato ferroviario risulta allagabile già per T=2 anni e per i tempi di ritorno maggiori gli allagamenti si spingono fino alle aree residenziali e industriali a valle (Figura 35)
- l'area golenale 4 a seguito del sovrizzo arginale realizzato negli anni passati ad oggi non risulta allagabile mentre l'area industriale in sinistra idraulica a monte dell'area 4 risulta allagabile per T=10 e 100 anni (Figura 35)



Figura 35 – Planimetria degli allagamenti stato di fatto T=2, 5, 10 e 100 anni area golenale 3 e 4

- l'area golenale 5 risulta allagabile per T = 2 anni, mentre per T= 5 anni o superiori anche l'area in destra Seveso a monte e in corrispondenza dell'area 5 risulta allagata (Figura 36).
- l'area golenale a valle dell'area 5 risulta allagabile per eventi con tempo di ritorno superiore a 2 anni





Figura 36 – Planimetria degli allagamenti stato di fatto T=2, 5, 10 e 100 anni area golenale 5

- l'area golenale 6, sia in destra che sinistra risulta allagabile allo stato attuale già per tempo di ritorno 2 anni con estensione dell'allagamento via via crescente al crescere del tempo di ritorno.

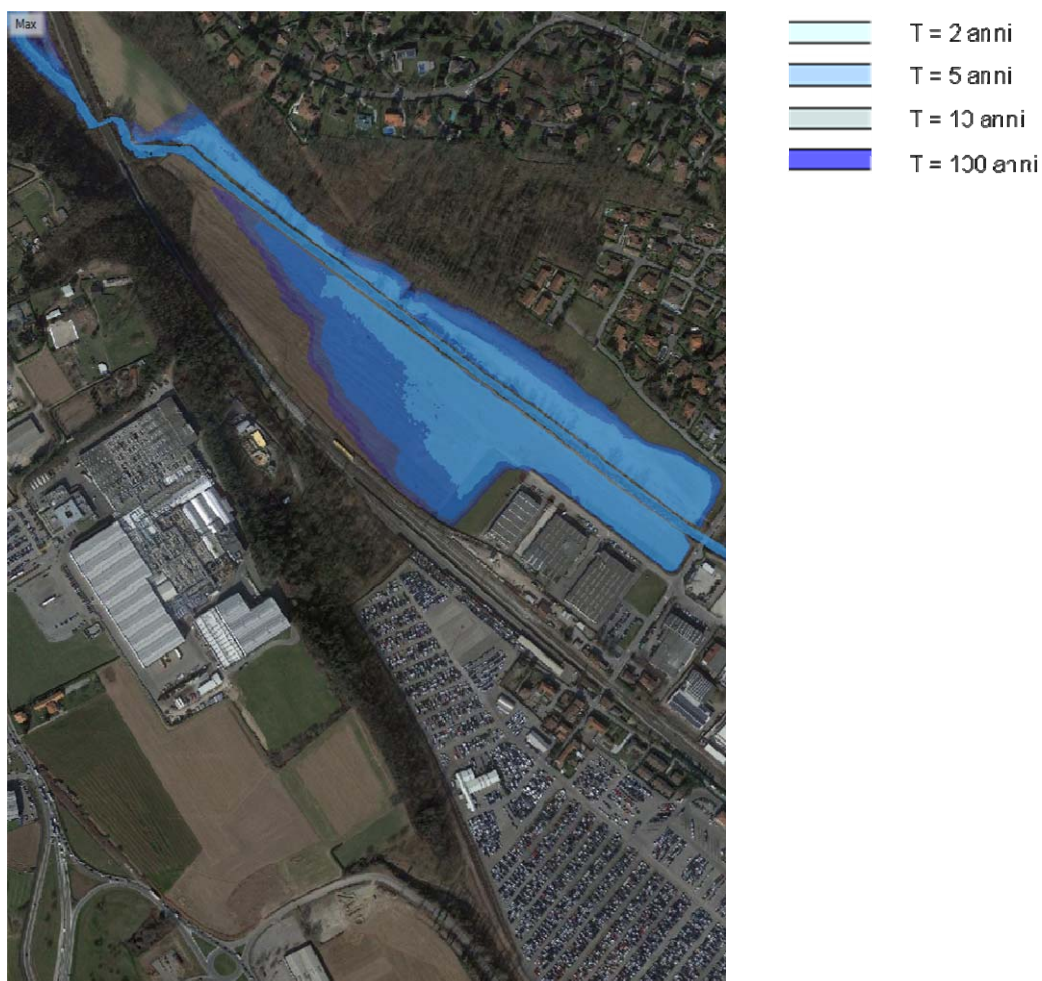


Figura 37 – Planimetria degli allagamenti stato di fatto T=2, 5, 10 e 100 anni aree golenali 6  
Qui di seguito si riportano gli idrogrammi in alcune sezioni significative.



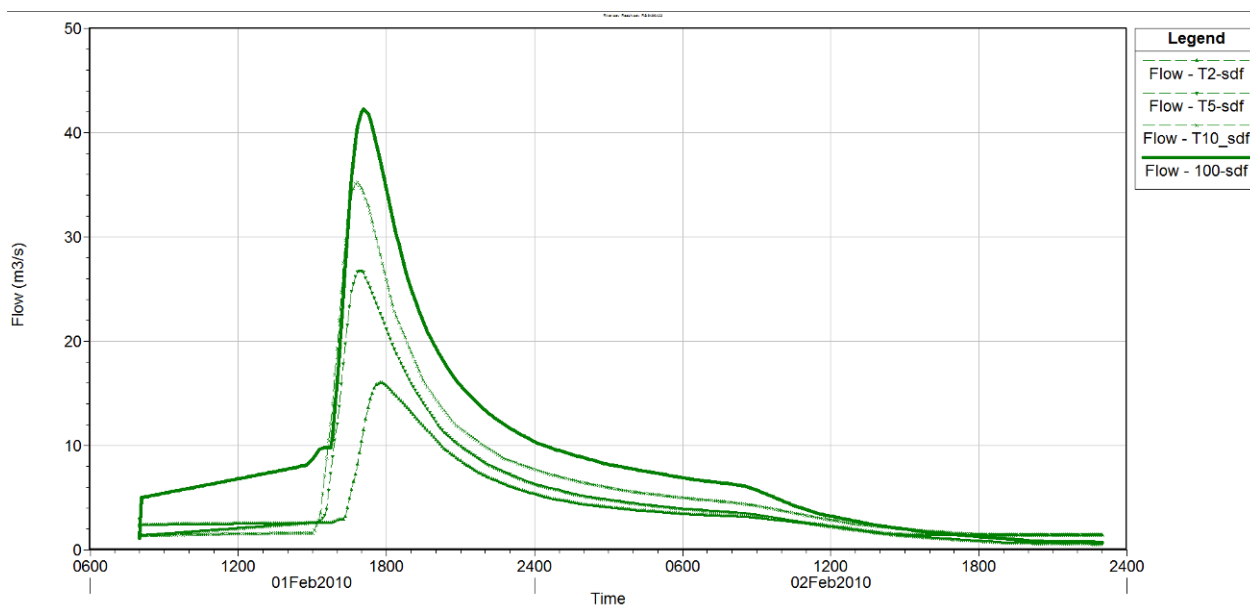


Figura 38 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a monte dell'immissione del rio Acquanegra

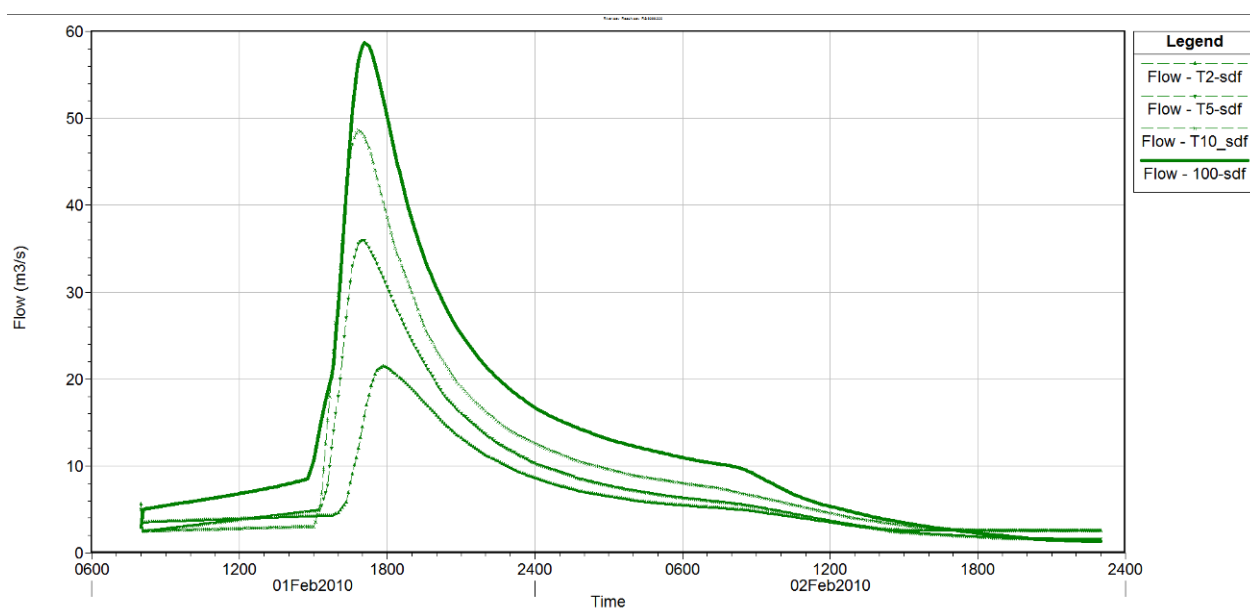


Figura 39 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a valle dell'immissione del rio Acquanegra

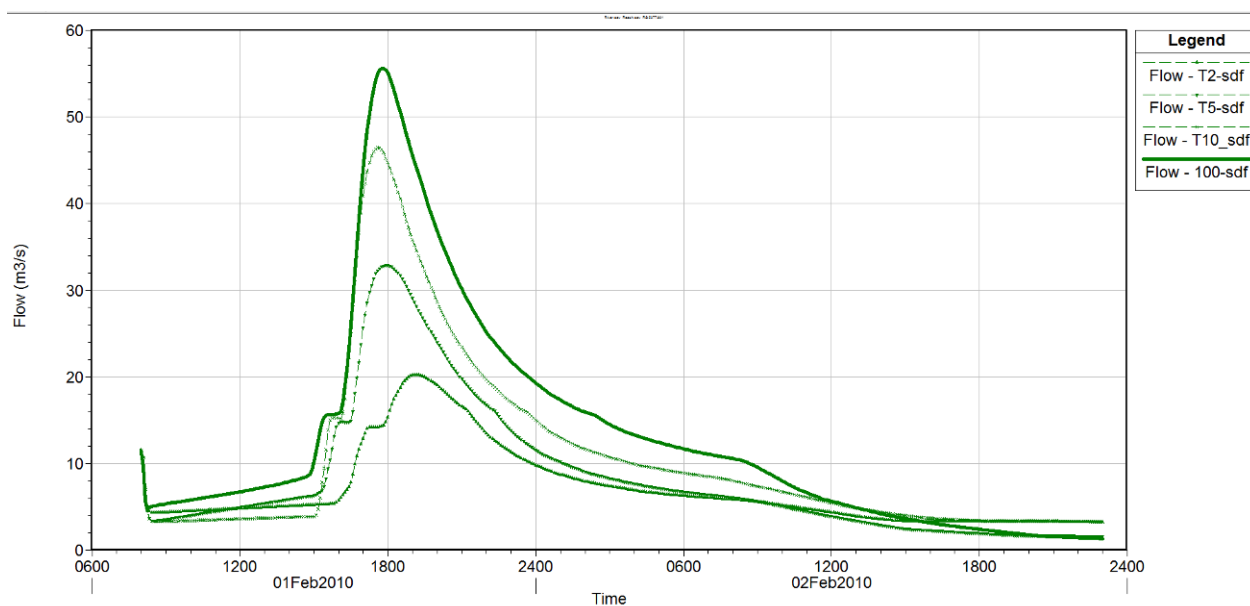


Figura 40 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a valle dell'area golenale 2 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario

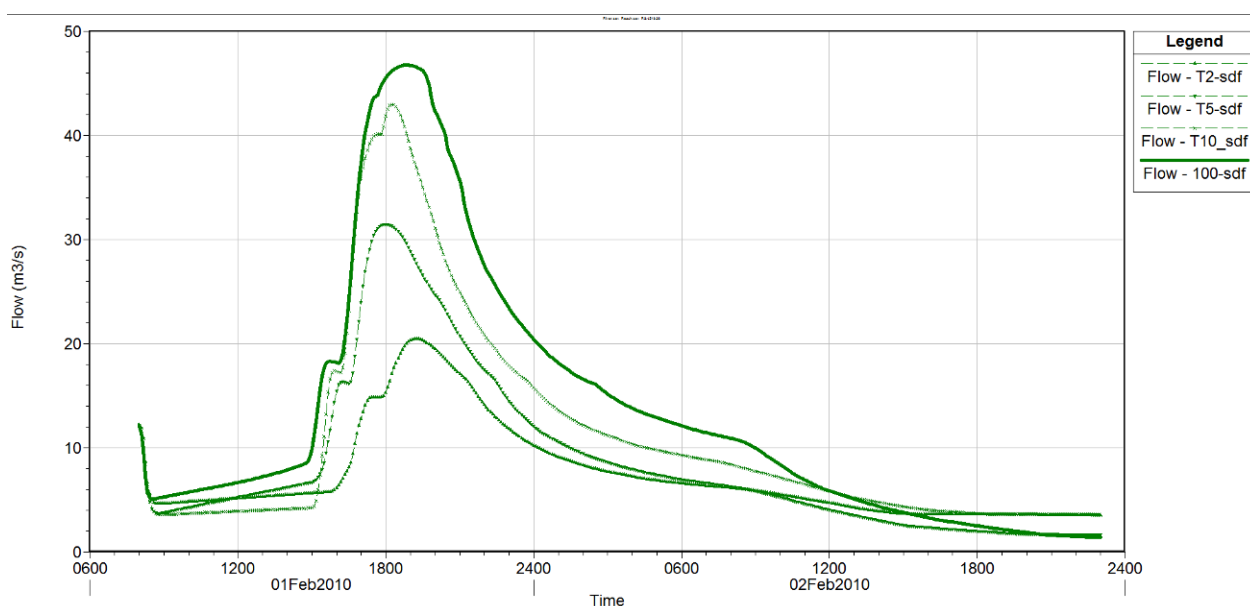


Figura 41 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a monte dell'area golenale 3 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario

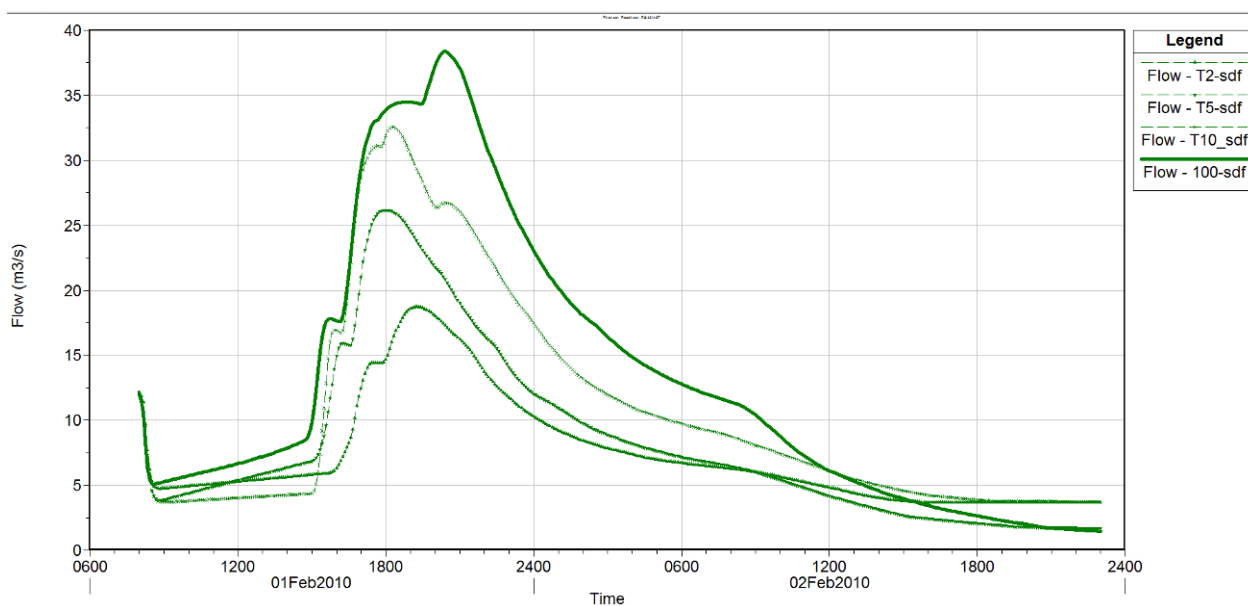


Figura 42 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a valle dell'area golenale 3 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario

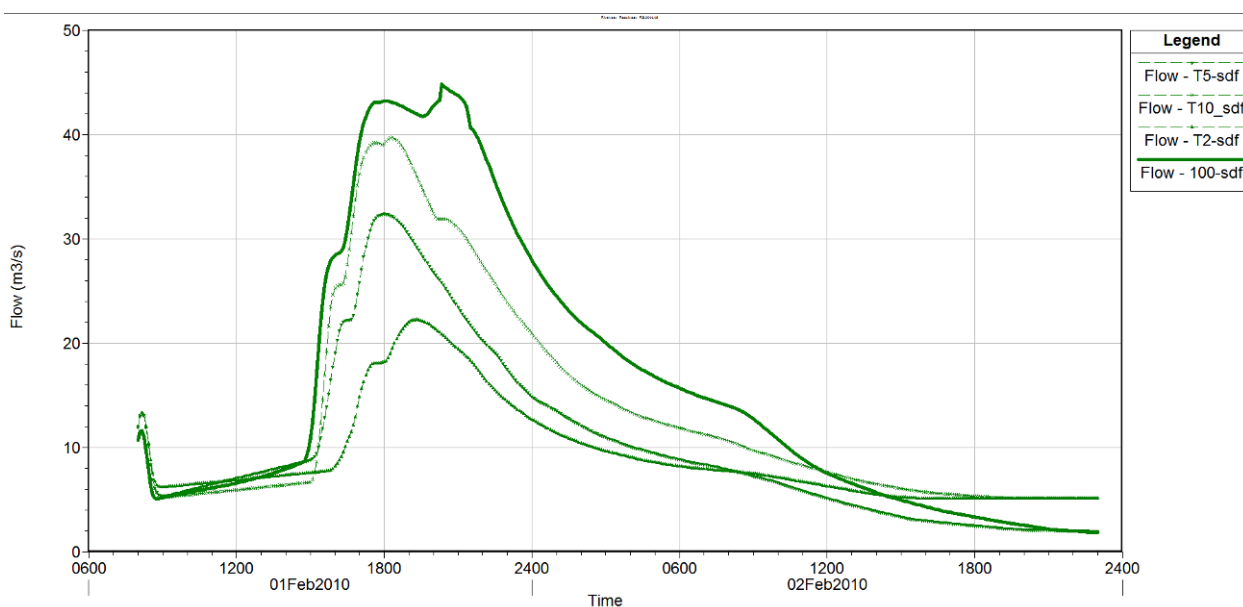


Figura 43 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a monte dell'area golenale 4 in corrispondenza del campo sportivo di Cantù Asnago

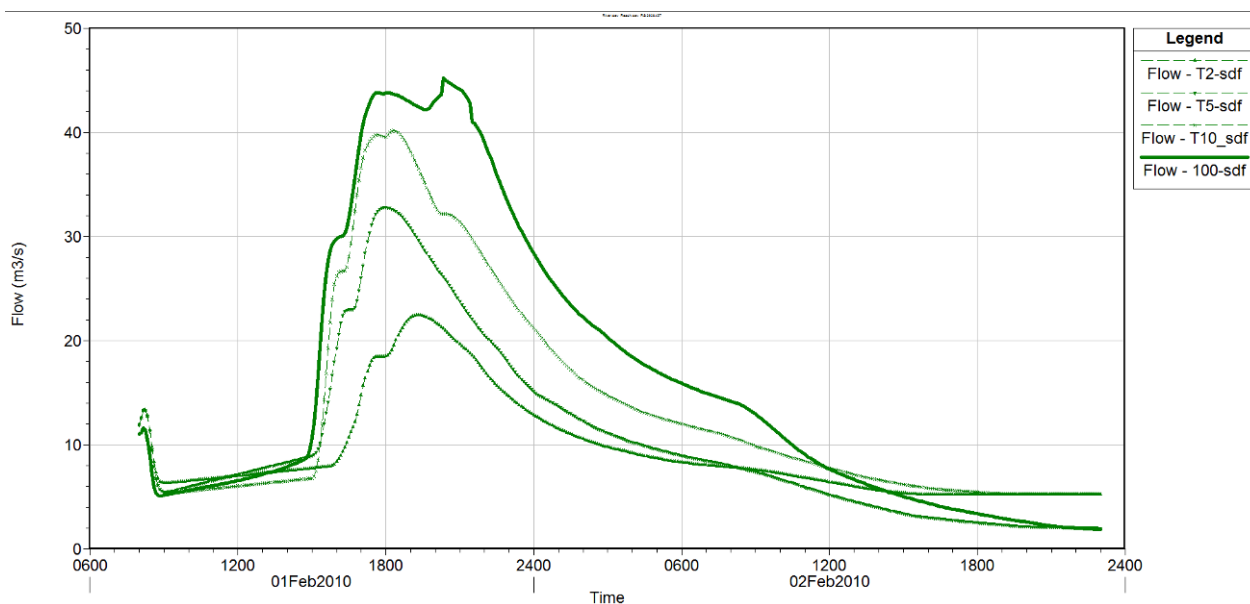


Figura 44 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a valle dell'area golenale 4 in corrispondenza del ponte di via dei Partigiani

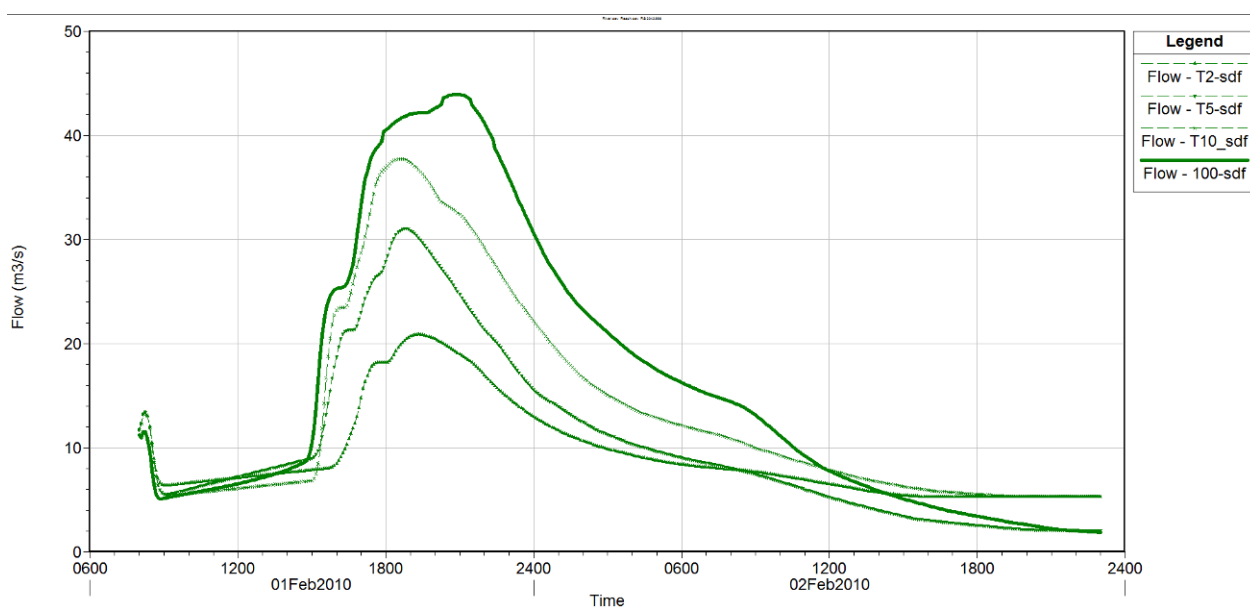


Figura 45 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a monte dell'area golenale 5 in corrispondenza della cabina gas

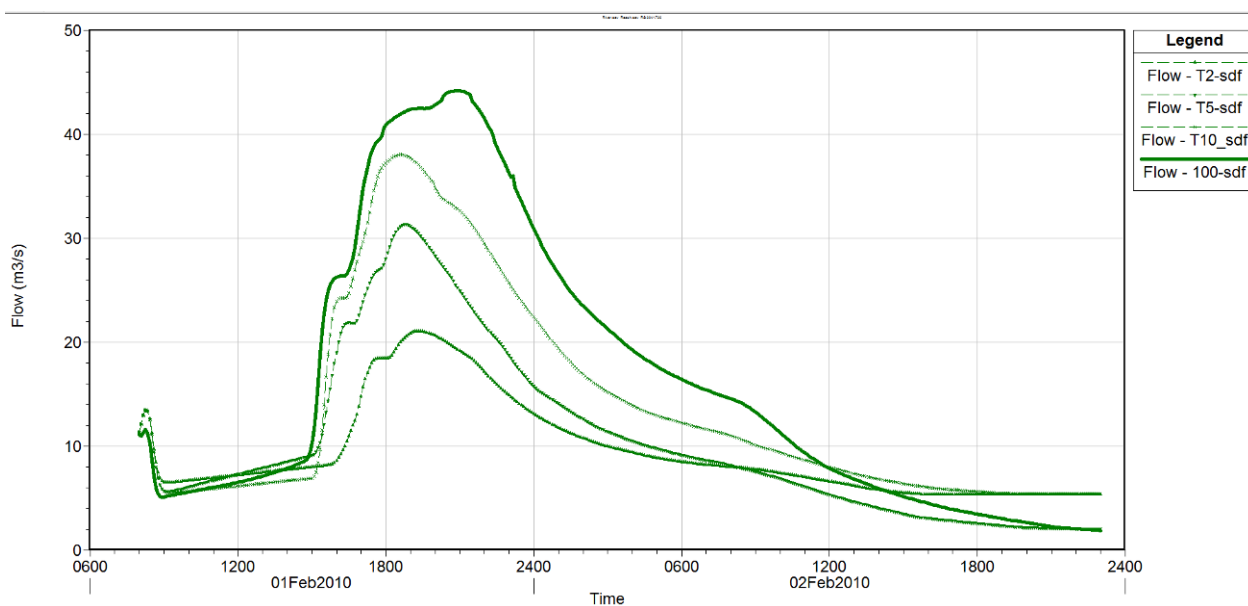


Figura 46 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a valle dell'area golenale 5 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario

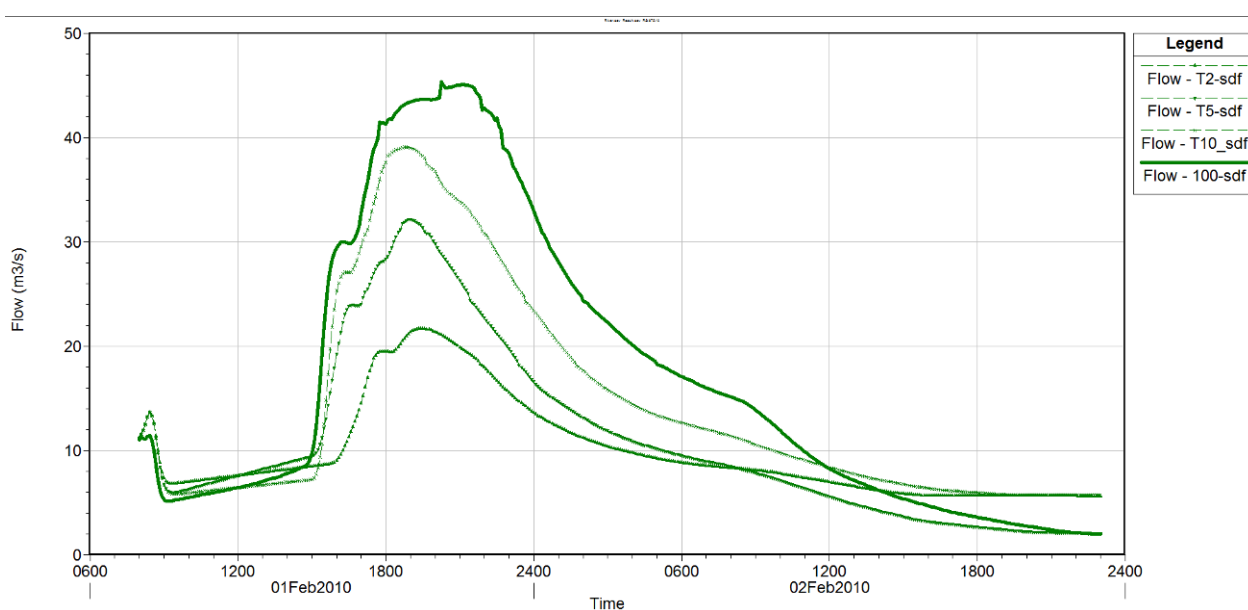


Figura 47 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a monte dell'area golenale 6 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario



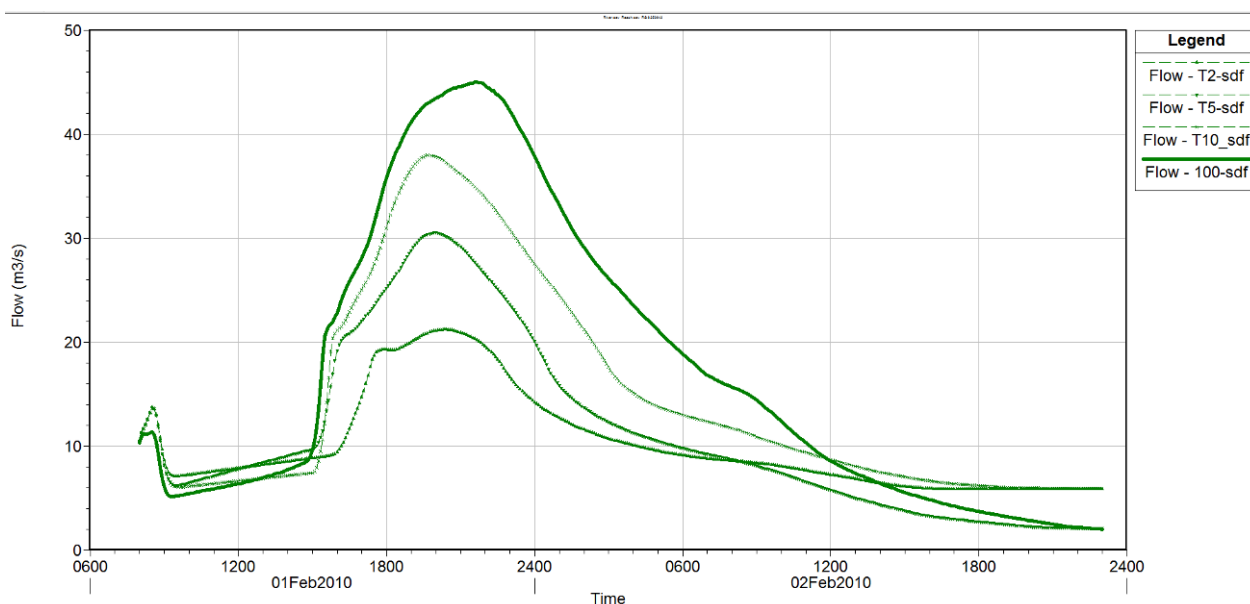


Figura 48 – Idrogramma T=2, 5, 10 e 100 anni stato di fatto a valle dell'area golenale 6 in corrispondenza di via alla stazione di Carimate

In tavola SVS 2008 è riportato il profilo dei livelli idrici per  $T = 100$  anni nell'alveo del Seveso nel tratto simulato.

#### 4.2.8.2 Configurazione di progetto

Nel seguito vengono descritte dal punto di vista del funzionamento idraulico le singole aree golenali in progetto, confrontando gli allagamenti con lo stato di fatto e infine vengono descritti gli effetti indotti complessivamente dal sistema di aree golenali ottimizzate.

##### **Area golenale 1**

L'area golenale 1 presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Superficie di base invaso: circa 27'000 mq

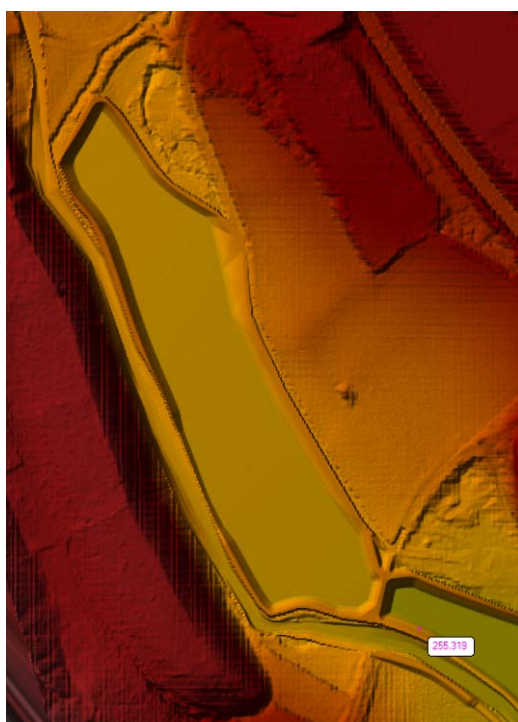
Quota di sfioro: 256.62 m s.l.m

Volume invasabile sotto la quota di sfioro: 53'800 mc

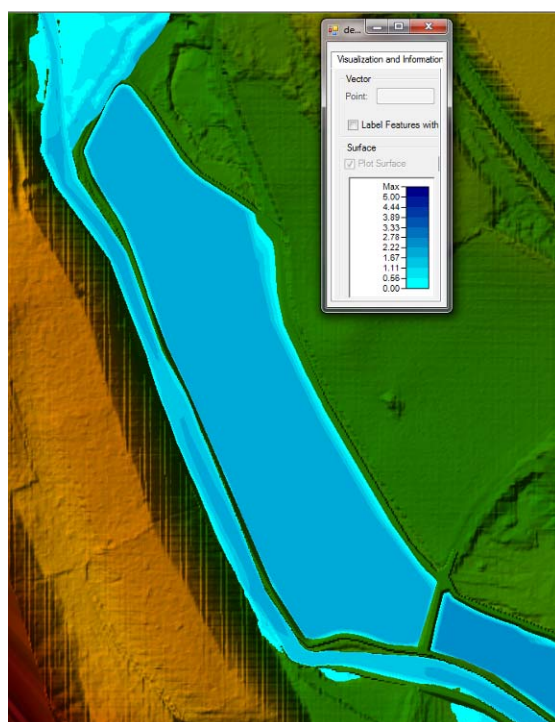
Quota di massimo invaso  $T=100$  anni: 256.50 m s.l.m.

Volume invasato per  $T=100$  anni: 53'800 mc

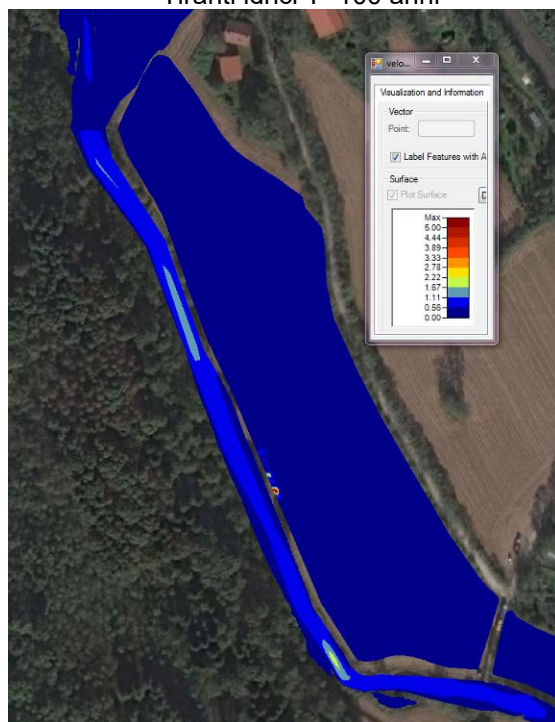
Nella figura seguente sono riportate le mappe desunte dal modello con gli elementi salienti dell'assetto di progetto.



DEM di progetto



Tiranti idrici T=100 anni

Area di allagamento con direzioni di flusso  
T=100 anni

Mappa delle velocità T=100 anni

Figura 49 – Elementi idraulici dell'area golendale 1 nell'assetto di progetto



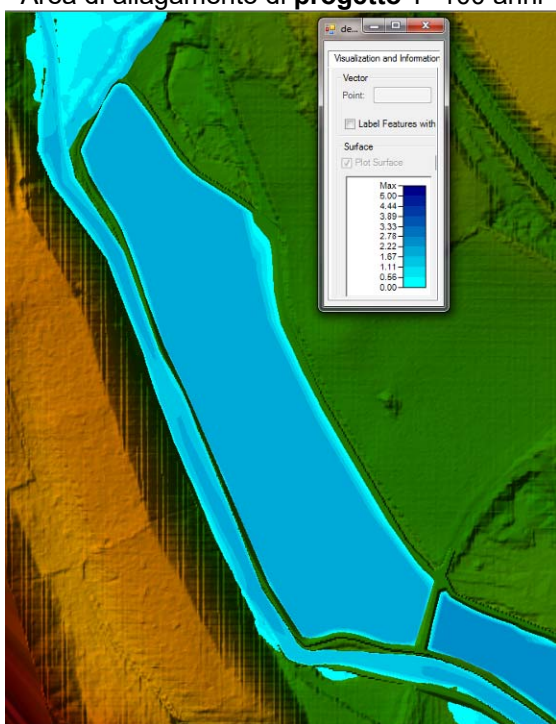
Nella figura seguente sono invece riportate le mappe desunte dal modello con i confronti tre stato di fatto e progetto relativamente aree di allagamento e tiranti.



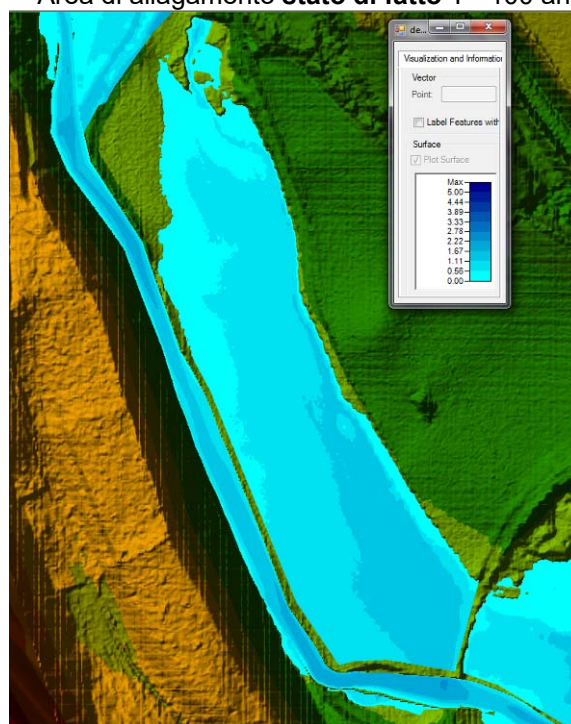
Area di allagamento di **progetto** T=100 anni



Area di allagamento **stato di fatto** T= 100 anni



Tiranti idrici di **progetto** T=100 anni



Tiranti idrici **stato di fatto** T=100 anni

Figura 50 – Mappe di allagamento dell'area golenale 1 confronto tra stato di fatto e assetto di progetto

Dal confronto tra le aree di allagamento nello stato di fatto e nel progetto si evidenzia come rispetto allo stato di fatto l'intervento metta in sicurezza la cascina a nord dell'area golenale. Si evidenzia inoltre dalla mappa delle velocità come gli unici punti nei quali si riscontra una velocità apprezzabile sono estremamente localizzati e posti in corrispondenza del manufatto di restringimento e nell'area golenale a valle dello sfioro (per individuare lo sfioro si veda anche la mappa delle aree di allagamento con direzione di flusso). In questi punti è stato previsto un rivestimento in massi a protezione dell'erosione. Nella seguente figura è riportata invece l'estensione dell'allagamento in vasca per  $T = 2, 5, 10$  e  $100$  anni.

Dalla figura si nota come l'area non risulti allagabile per eventi con tempo di ritorno 2 anni mentre inizia ad essere allagata, con estensione sempre maggiore, per eventi con tempo di ritorno almeno 5 anni.

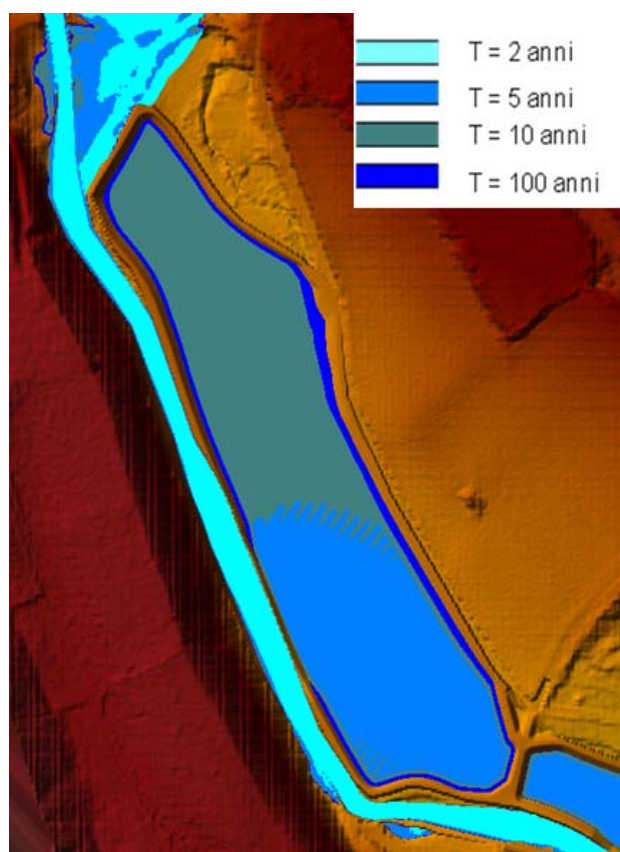


Figura 51 – Mappe di allagamento dell'area golenale 1 T=2, 5, 10 100 anni

Analizzando gli idrogrammi di piena, per un evento centennale, considerando sia l'attuale assetto del corso d'acqua a monte che l'assetto futuro con realizzate le vasche a monte di queste aree golenali, si verifica che l'area golenale 1 dà un beneficio sia in termini di riduzione del volume che prosegue verso valle sia in termini di riduzione del picco di portata, come rappresentato nella figura seguente. Il funzionamento dell'invaso è interamente in derivazione, in quanto tutto il volume derivato rimane invasato fino alla fine dell'evento e quindi all'attivazione della luce di scarico di fondo.

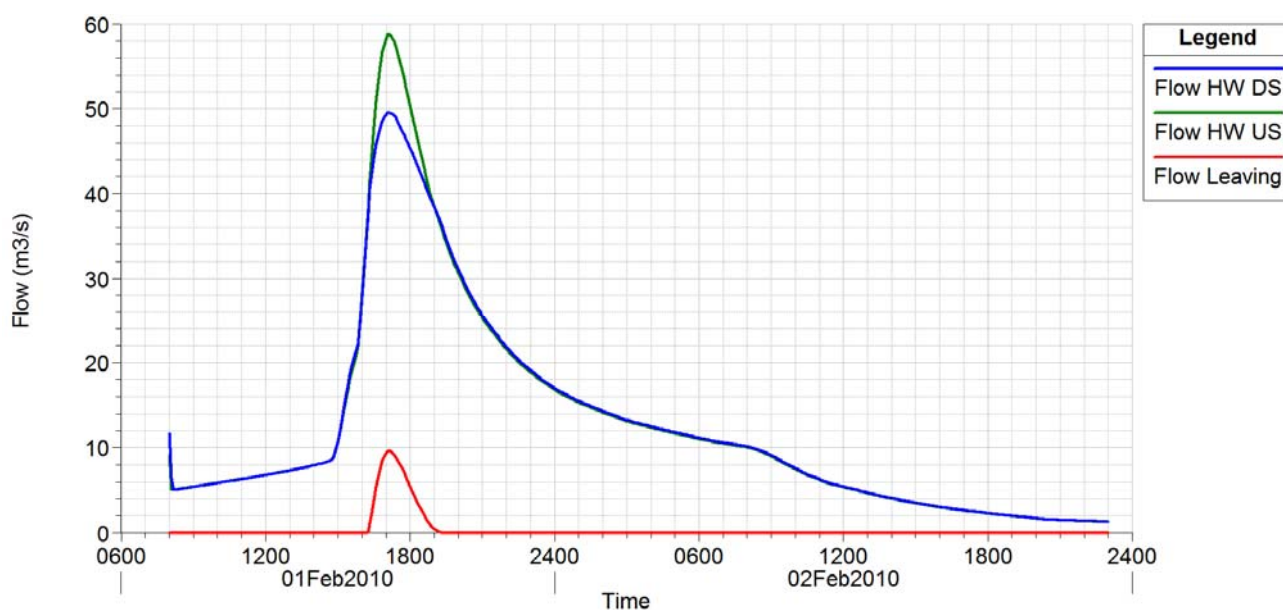


Figura 52 – Area 1 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**



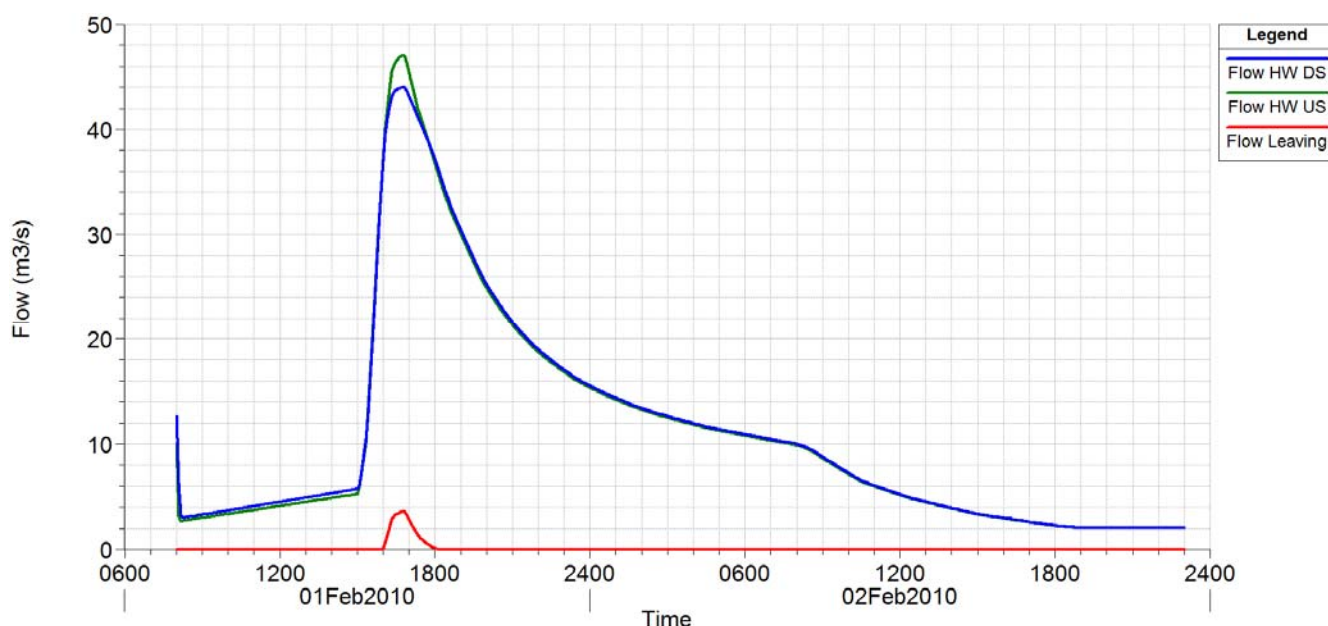


Figura 53 – Area 1 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

Evidentemente nel caso di realizzazione anche degli invasi a monte, l'area golenale risulta sottoutilizzata per l'evento centennale (invasa circa 14'000 mc), ma questo è inevitabile con un meccanismo di alimentazione a soglia fissa quale quello previsto, senza regolazione con paratoia automatizzata in alveo. In ogni caso la funzionalità delle opere potrà essere assolutamente garantita anche in questo assetto, ad esempio laminando nell'area il rio Acquanegra prima della sua immissione in Seveso, cosa fattibile senza difficoltà visto che l'area golenale si trova proprio alla confluenza tra i due corsi d'acqua e il limite nord dell'area golenale è la sponda sinistra del rio, ovvero alzando i livelli sullo sfioro attraverso l'inserimento in un secondo momento di una paratoia sul manufatto di restringimento già predisposto in questa fase.

### **Area golenale 2**

L'area golenale 2 presenta le seguenti caratteristiche dimensionali:

Superficie di base invaso : circa 18'500 mq in sinistra + 15'900 mq in destra

Quota di sfioro: 255.25 m s.l.m. in sinistra e 255.35 m s.l.m. in destra

Volume invasabile sotto la quota di sfioro: 41'400 mc in sinistra + 19'650 mc in destra

Quota di massimo invaso T=100 anni: 255.65 m s.l.m. in entrambe le aree

Volume invasato per T=100 anni: 51'200 mc in sinistra + 24'000 mc in destra

Nella figura seguente sono riportate le mappe desunte dal modello con gli elementi salienti dell'assetto di progetto.

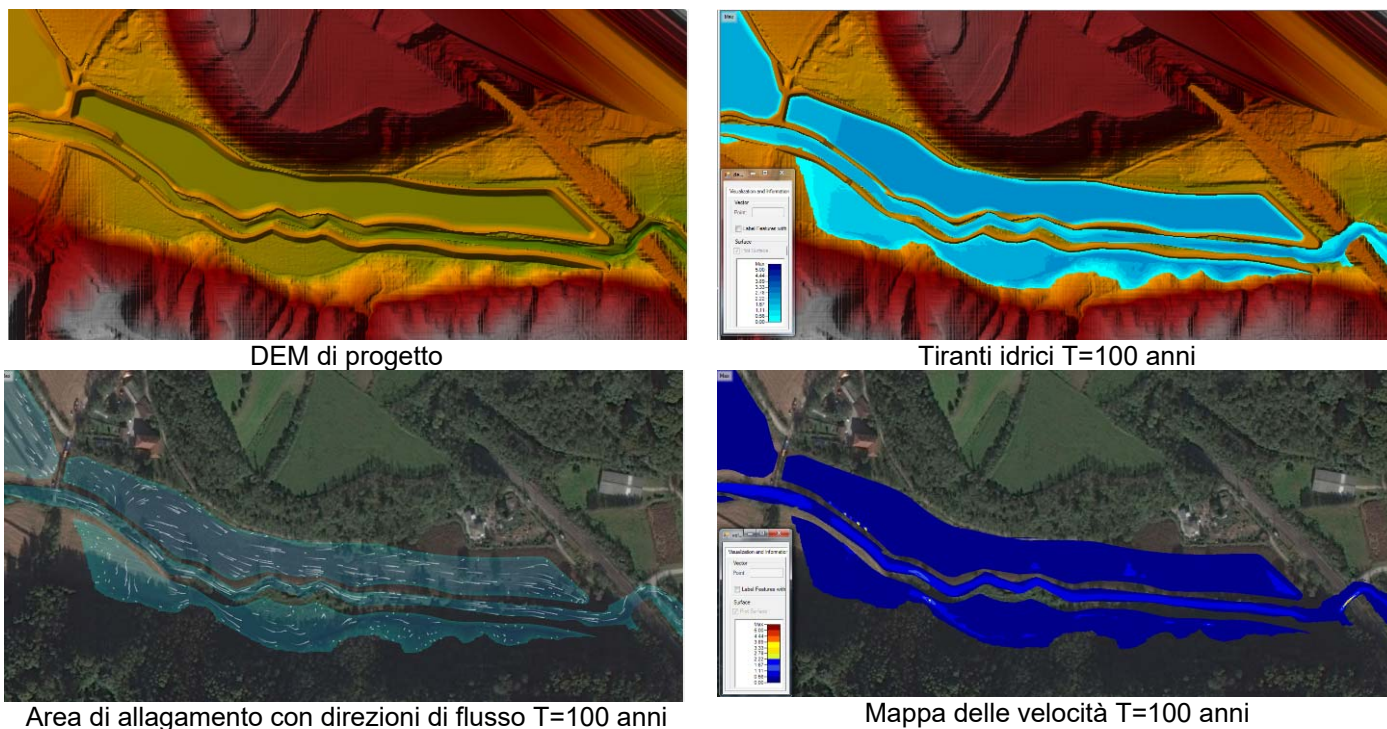


Figura 54 – Elementi idraulici dell'area golenale 2 nell'assetto di progetto

Nella figura seguente sono invece riportate le mappe desunte dal modello con i confronti tre stato di fatto e progetto relativamente aree di allagamento e tiranti.

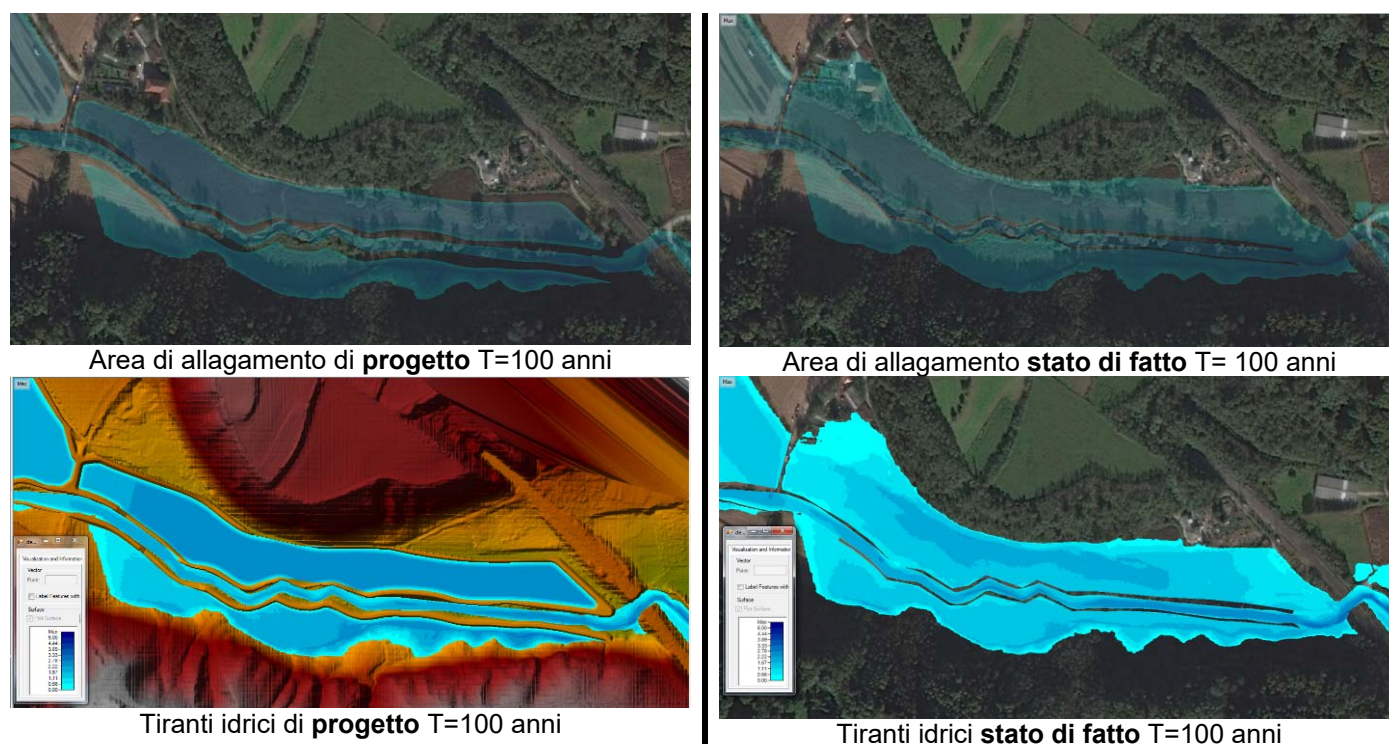


Figura 55 – Mappe di allagamento dell'area golenale 2 confronto tra stato di fatto e assetto di **progetto**

Dal confronto tra le aree di allagamento nello stato di fatto e nel progetto si evidenzia come rispetto allo stato di fatto l'intervento metta in sicurezza la cascina a nord dell'area golenale. Si evidenzia inoltre dalla mappa delle velocità, come per l'area golenale 1, che gli unici punti nei quali si riscontra una velocità apprezzabile sono estremamente localizzati e posti in corrispondenza del manufatto di restringimento e nell'area golenale a valle dello sfioro (per individuare lo sfioro si veda anche la mappa delle aree di allagamento con direzione di flusso). In questi punti è stato previsto un rivestimento in massi a protezione dell'erosione.

Infine nella seguente figura è riportata l'estensione dell'allagamento in vasca per  $T = 2, 5, 10$  e  $100$  anni. Dalla figura si nota come anche l'area 2, sia in destra che in sinistra, non risulti allagabile per eventi con tempo di ritorno 2 anni mentre inizia ad essere allagata, con estensione sempre maggiore, per eventi con tempo di ritorno almeno 5 anni.



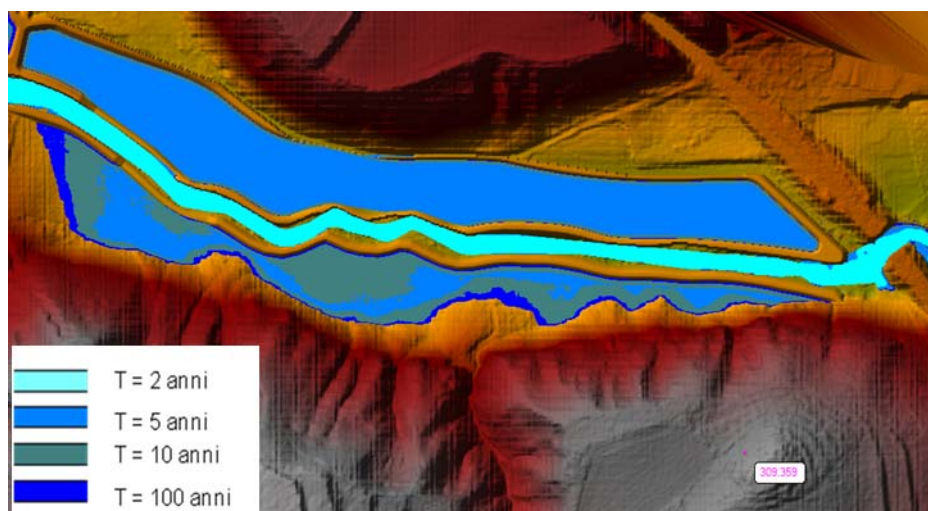


Figura 56 – Mappe di allagamento dell'area golenale 2 T=2, 5, 10 100 anni

Analizzando gli idrogrammi di piena, per un evento centennale, considerando sia l'attuale assetto del corso d'acqua a monte che l'assetto futuro con realizzate le vasche a monte di queste aree golenali, si verifica che l'area golenale da un beneficio sia in termini di riduzione del volume che prosegue verso valle sia in termini di riduzione del picco di portata, come rappresentato nella figura seguente. Il funzionamento dell'invaso è parzialmente in derivazione e parzialmente in linea, in quanto tutto il volume accumulato al di sotto della soglia di sfioro rimane invasato fino alla fine dell'evento e quindi all'attivazione della luce di scarico di fondo, mentre quello invasato nella parte superiore alla quota di sfioro rientra in alveo automaticamente quando il livello in Seveso è inferiore rispetto a quello in vasca (parte negativa della curva rossa).

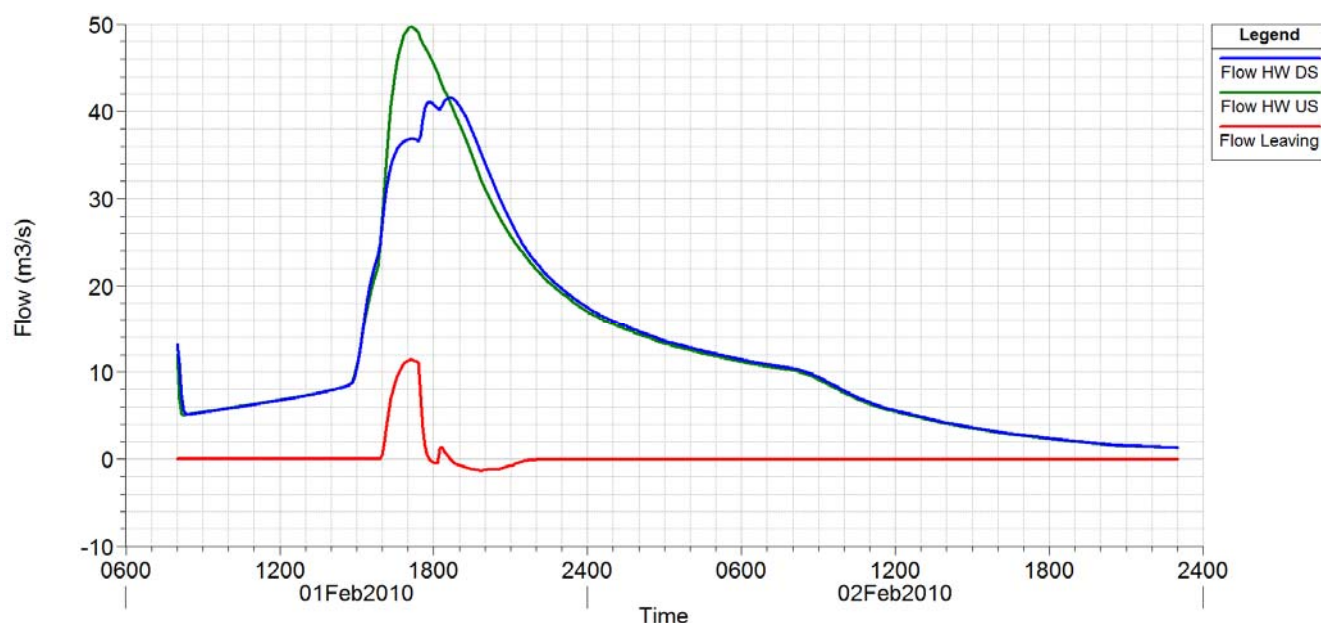


Figura 57 – Area 2 sinistra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golendale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

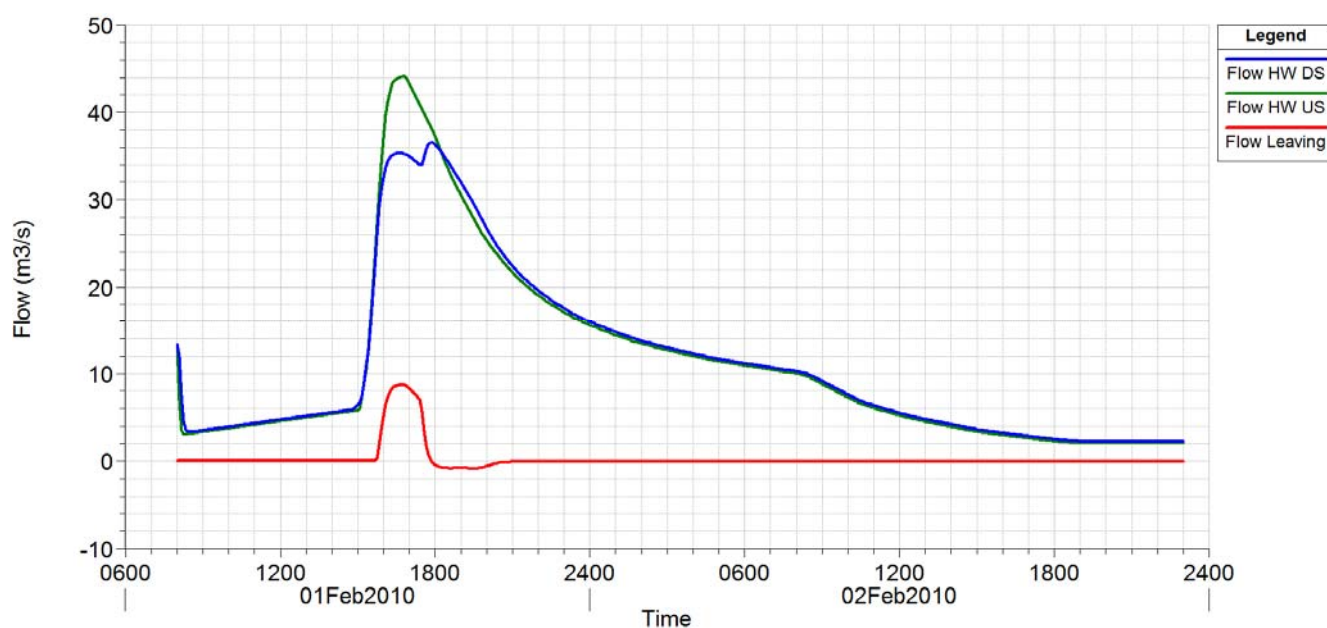


Figura 58 – Area 2 sinistra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golendale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**



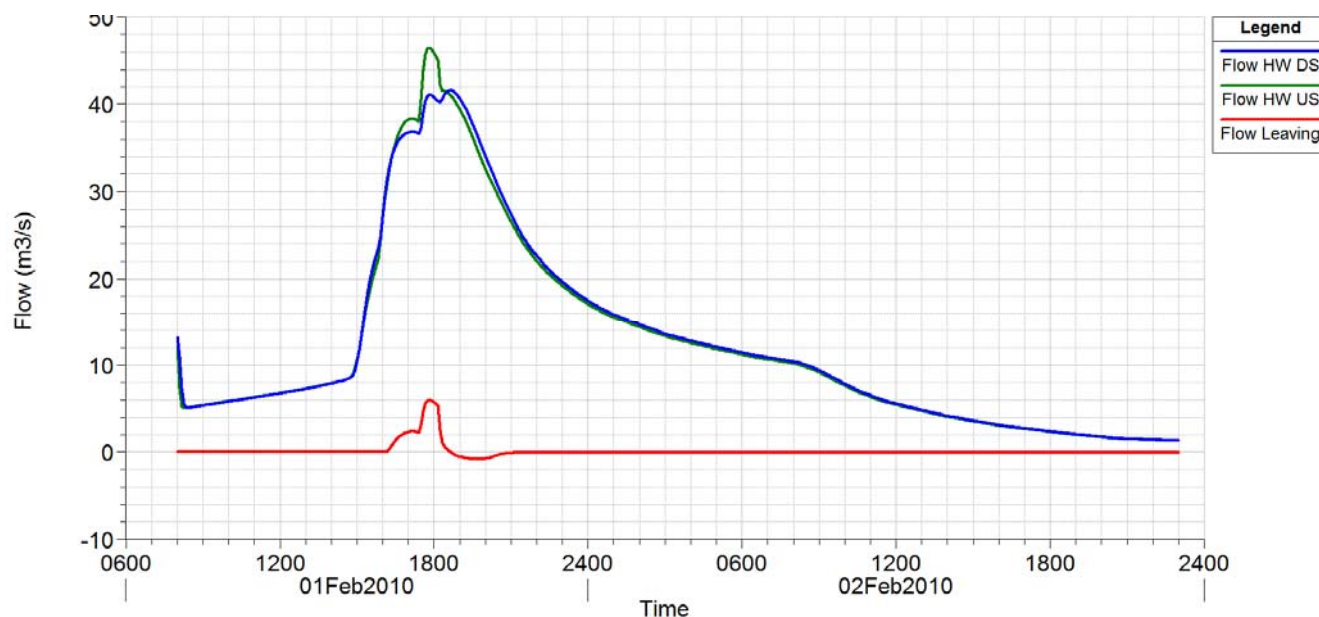


Figura 59 – Area 2 destra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

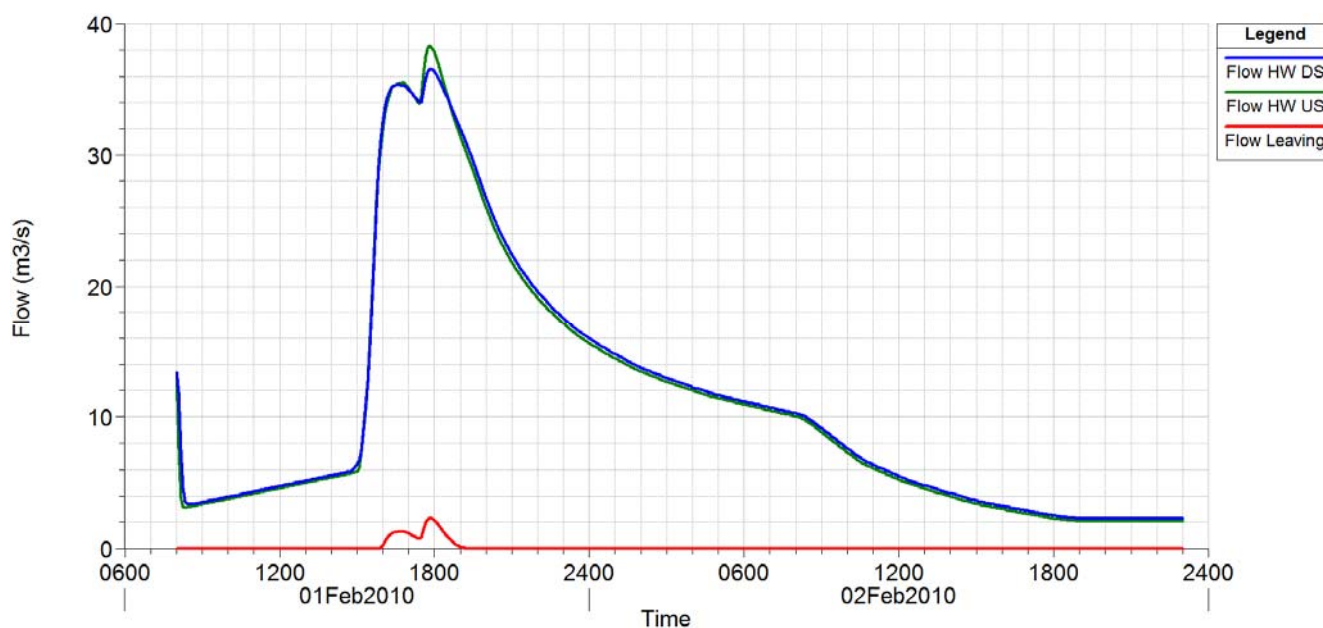


Figura 60 – Area 2 destra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

Nel caso di realizzazione anche degli invasi a monte, l'area golenale in sinistra risulta comunque completamente utilizzata con volume di invaso centennale di 41'000 mc, e anche l'area 2 in destra contribuisce alla laminazione con 12'000 mc di invaso.

### **Area golenale 3**

L'area golenale 3 presenta le seguenti caratteristiche dimensionali

Superficie di base invaso : circa 36'600 mq

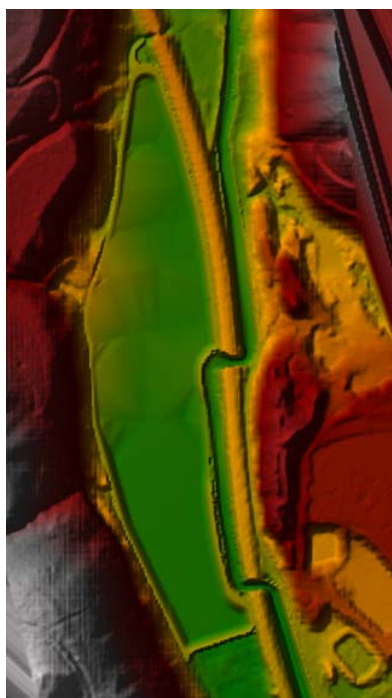
Quota di sfioro: 252.00 m s.l.m.

Volume invasabile sotto la quota di sfioro: 46'700 mc

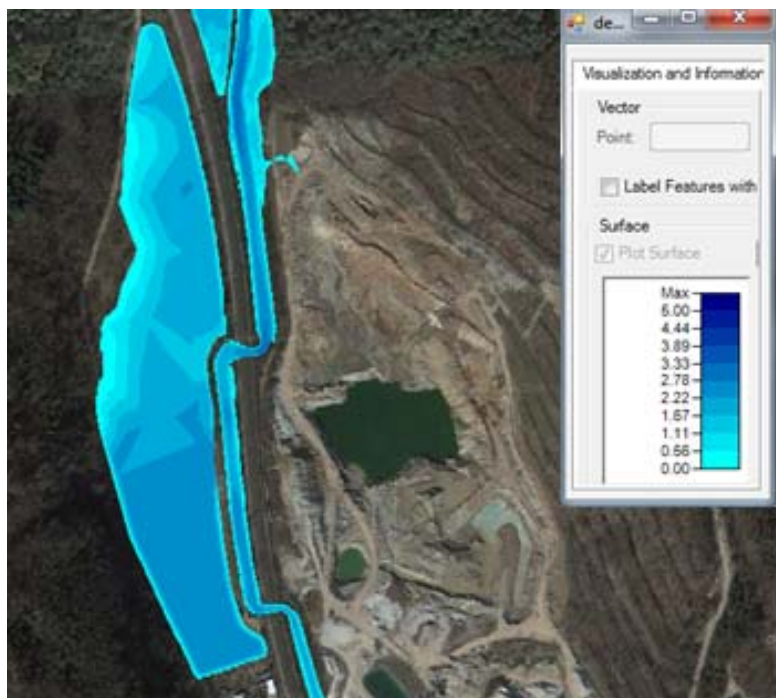
Quota di massimo invaso T=100 anni: 252.50 m s.l.m.

Volume invasato per T=100 anni: 64'700 mc

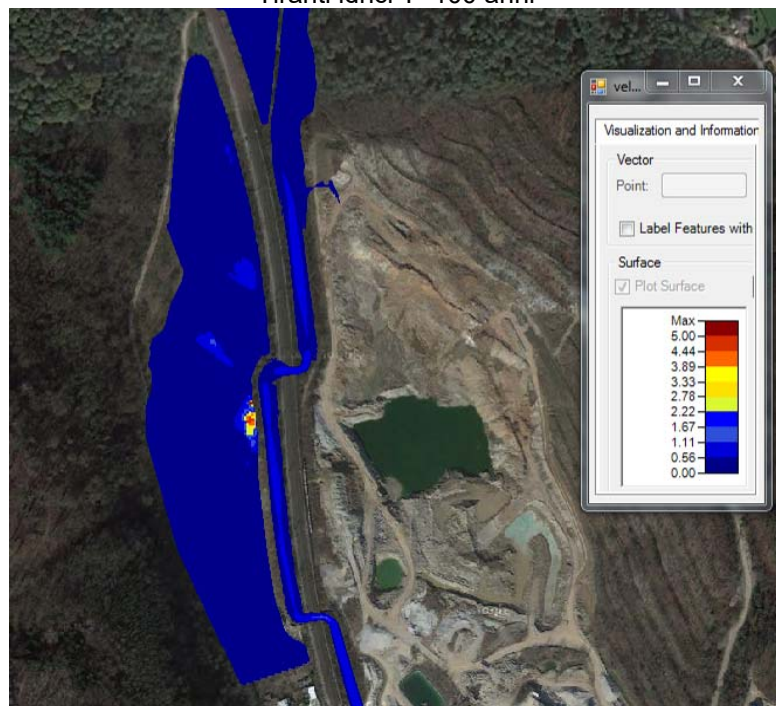
Nella figura seguente sono riportate le mappe desunte dal modello con gli elementi salienti dell'assetto di progetto.



DEM di progetto



Tiranti idrici T=100 anni

Area di allagamento con direzioni di flusso T=100  
anni

Mappa delle velocità T=100 anni

Figura 61 – Elementi idraulici dell'area golenale 3 nell'assetto di progetto



Nella figura seguente sono invece riportate le mappe desunte dal modello con i confronti tre stato di fatto e progetto relativamente aree di allagamento e tiranti.



Area di allagamento di **progetto** T=100 anni



Area di allagamento **stato di fatto** T= 100 anni



Tiranti idrici di **progetto** T=100 anni



Tiranti idrici **stato di fatto** T=100 anni

Figura 62 – Mappe di allagamento dell'area golenale 3 confronto tra stato di fatto e assetto di **progetto**

Dal confronto tra le aree di allagamento nello stato di fatto e nel progetto si evidenzia come rispetto allo stato di fatto l'intervento metta in sicurezza le abitazioni poste a valle dell'area golenale in progetto e anche la zona industriale oggi lambita dagli allagamenti. Si evidenzia inoltre dalla mappa delle velocità, come per le aree golenali precedenti, che gli unici punti nei quali si riscontra una velocità apprezzabile sono estremamente localizzati e posti a valle dello sfioro. In questi punti è stato previsto un rivestimento in massi a protezione dell'erosione del piede del rilevato.

Infine nella seguente figura è riportata l'estensione dell'allagamento in vasca per  $T = 2, 5, 10$  e  $100$  anni. Dalla figura si nota come anche l'area 3 non risulti allagabile per eventi con tempo di ritorno 2 anni mentre inizia ad essere allagata, con estensione sempre maggiore, per eventi con tempo di ritorno almeno 5 anni.





Figura 63 – Mappe di allagamento dell'area golenale 3 T=2, 5, 10 100 anni

Analizzando gli idrogrammi di piena, per un evento centennale, considerando sia l'attuale assetto del corso d'acqua a monte che l'assetto futuro con realizzate le vasche a monte di queste aree golenali, si verifica che l'area golenale da un beneficio sia in termini di riduzione del volume che prosegue verso valle sia in termini di riduzione del picco di

portata, come rappresentato nella figura seguente. Il funzionamento dell'invaso è parzialmente in derivazione e parzialmente in linea in analogia all'area golenale 2.

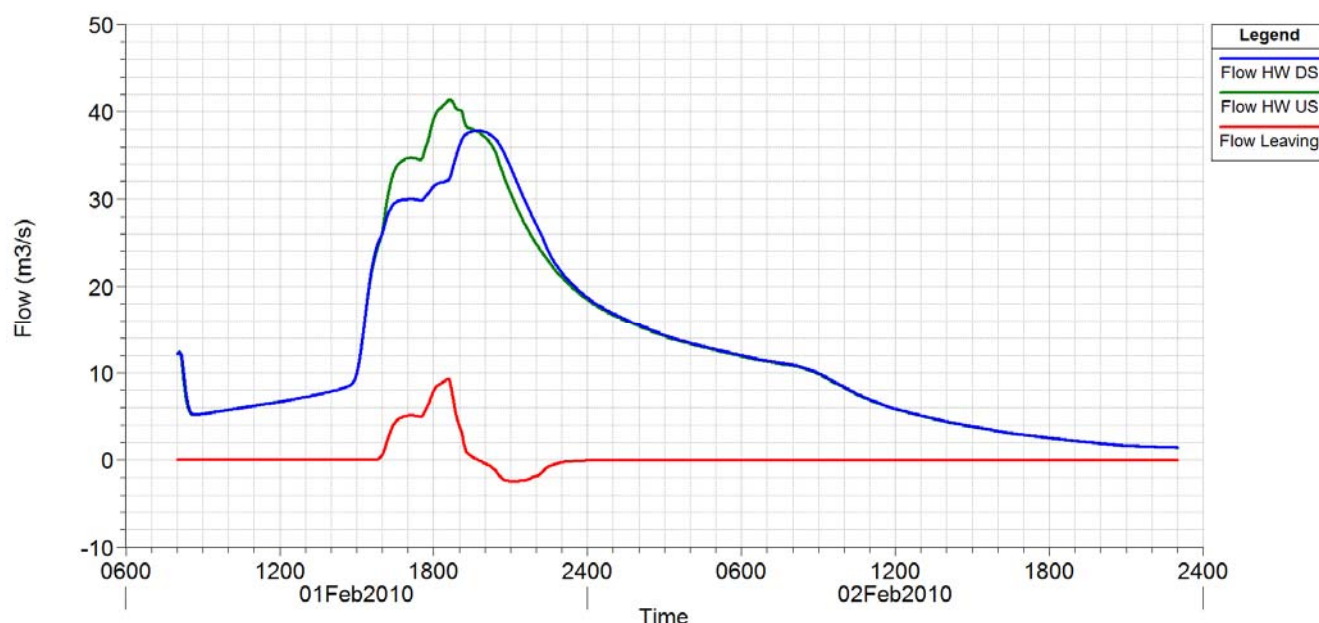


Figura 64 – Area 3 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

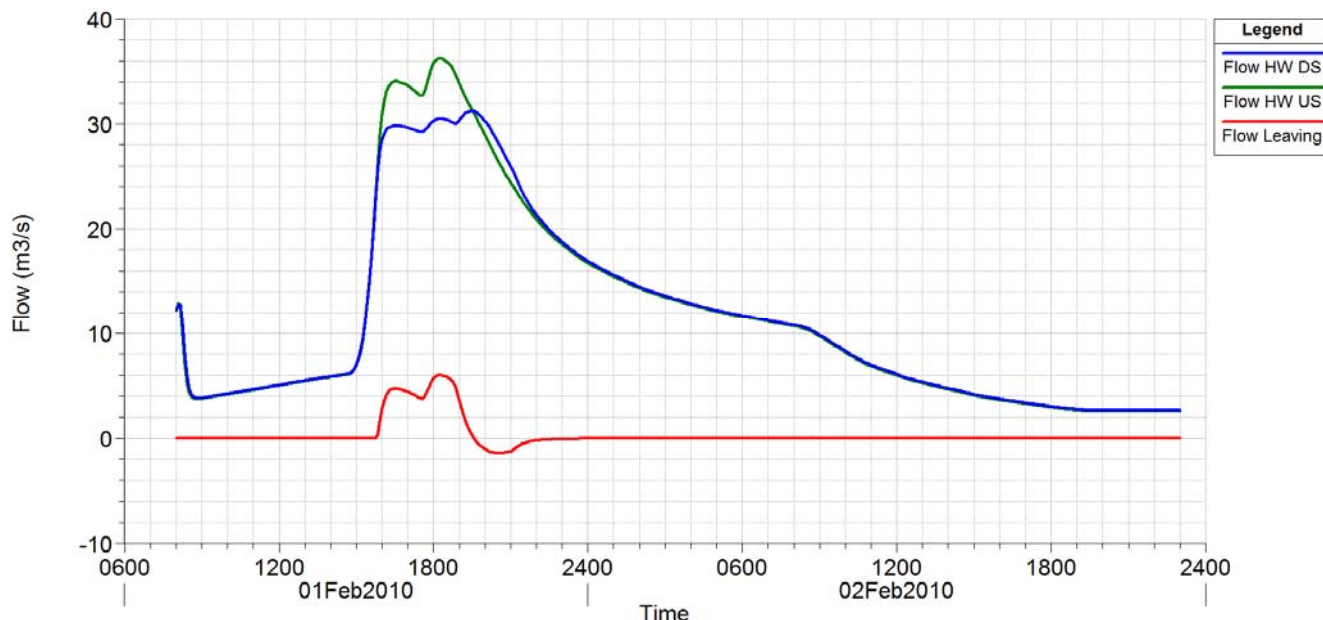


Figura 65 – Area 3 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

Nel caso di realizzazione anche degli invasi a monte, l'area golenale risulta comunque completamente utilizzata con volume di invaso centennale di 47'000 mc.

#### **Area golenale 4**

L'area golenale 4 presenta le seguenti caratteristiche dimensionali

Superficie di base invaso : circa 14'500 mq

Quota di sfioro: 245.55 m s.l.m.

Volume invasabile sotto la quota di sfioro: 36'600 mc

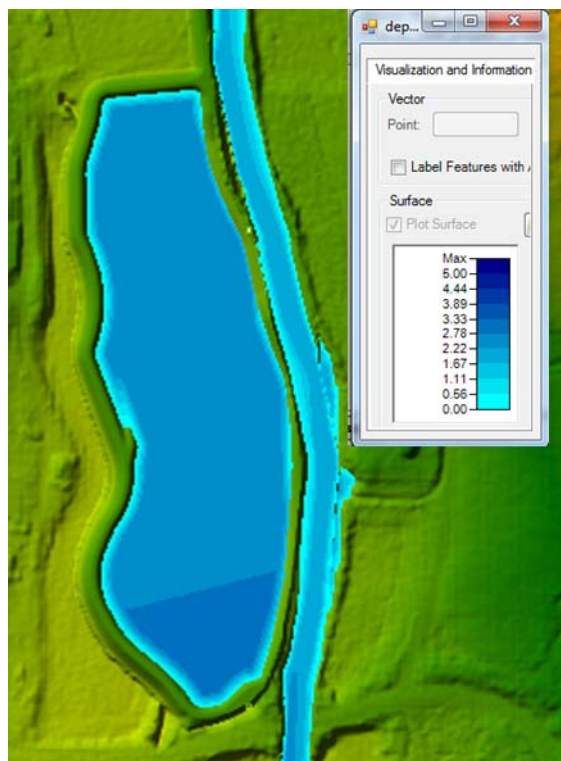
Quota di massimo invaso T=100 anni 245.87 m s.l.m.

Volume invasato per T=100 anni: 42'100 mc

Nella figura seguente sono riportate le mappe desunte dal modello con gli elementi salienti dell'assetto di progetto.



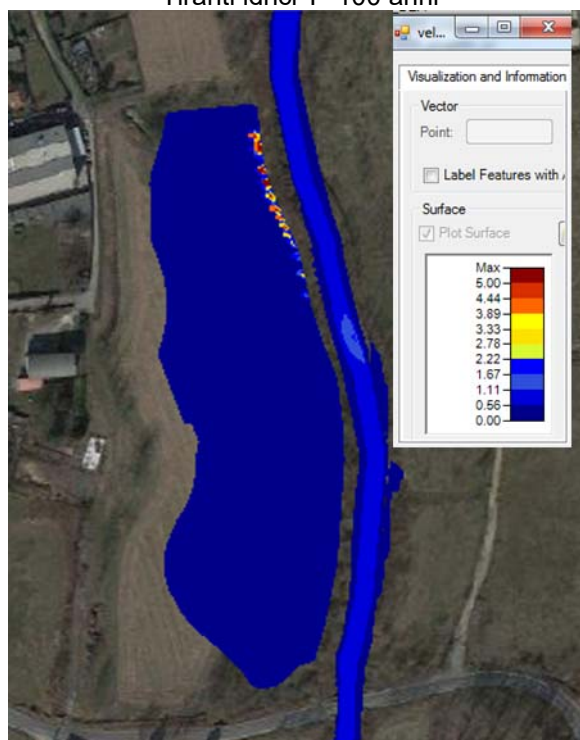
DEM di progetto



Tiranti idrici T=100 anni



Area di allagamento con direzioni di flusso T=100 anni



Mappa delle velocità T=100 anni

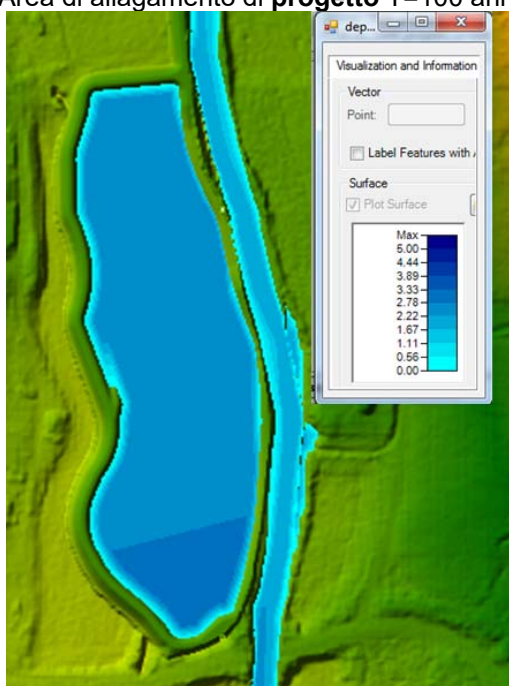
Figura 66 – Elementi idraulici dell'area golenale 4 nell'assetto di progetto



Nella figura seguente sono invece riportate le mappe desunte dal modello con i confronti tra stato di fatto e progetto relativamente aree di allagamento e tiranti.



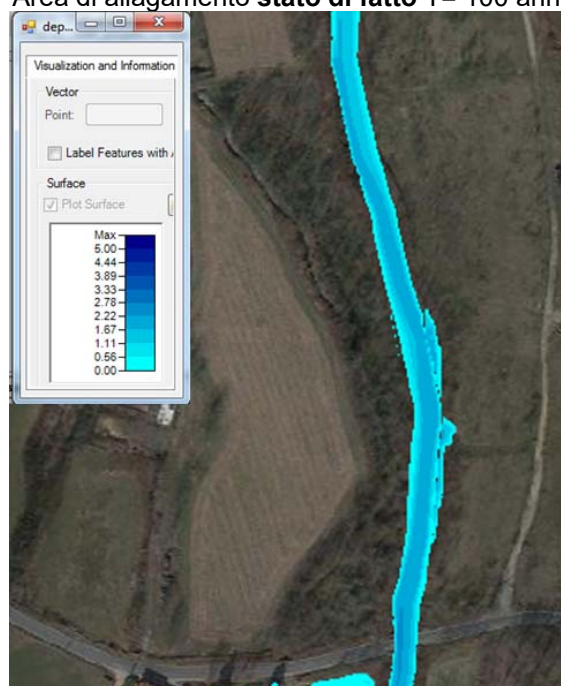
Area di allagamento di **progetto** T=100 anni



Tiranti idrici di **progetto** T=100 anni



Area di allagamento **stato di fatto** T= 100 anni



Tiranti idrici **stato di fatto** T=100 anni

Figura 67 – Mappe di allagamento dell'area golenale 4 confronto tra stato di fatto e assetto di **progetto**



Dal confronto tra le aree di allagamento nello stato di fatto e nel progetto si evidenzia come l'area attualmente non risulti allagabile per la presenza di un'arginatura. A seguito degli interventi in progetto l'allagamento rimarra confinato, senza andare a interessare aree non agricole. Si evidenzia inoltre dalla mappa delle velocità, come per le precedenti aree golenali, come gli unici punti nei quali si riscontra una velocità apprezzabile sono estremamente localizzati e posti a valle dello sfioro. In questi punti è stato previsto un rivestimento in massi a protezione dell'erosione del piede del rilevato.

Infine nella seguente figura è riportata l'estensione dell'allagamento in vasca per  $T = 2, 5, 10$  e  $100$  anni. Dalla figura si nota come anche l'area 4 non risulti allagabile per eventi con tempo di ritorno 2 anni mentre inizia ad essere allagata, con estensione sempre maggiore, per eventi con tempo di ritorno almeno 5 anni.

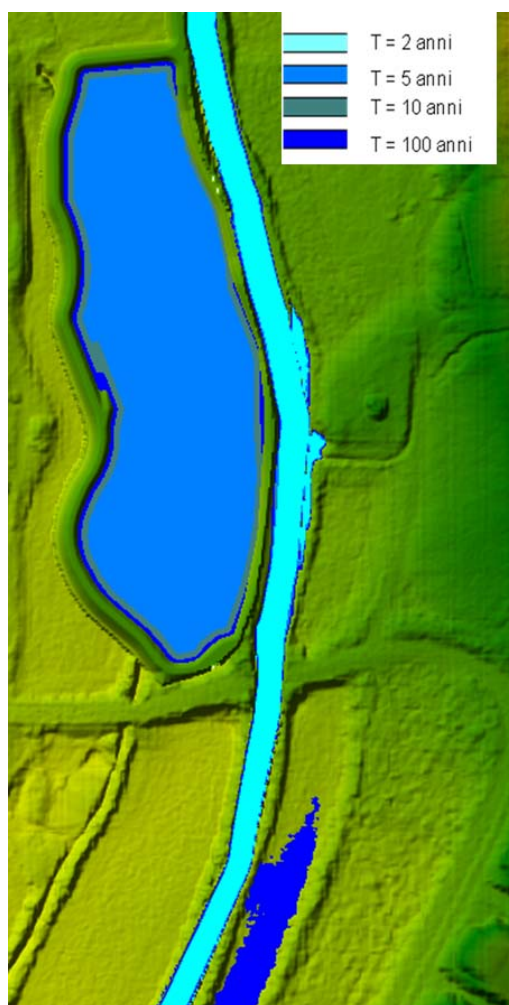


Figura 68 – Mappe di allagamento dell'area golenale 4  $T=2, 5, 10, 100$  anni

Analizzando gli idrogrammi di piena, per un evento centennale, considerando sia l'attuale assetto del corso d'acqua a monte che l'assetto futuro con realizzate le vasche a monte di queste aree golenali, si verifica che nell'assetto attuale del corso d'acqua a monte l'area golenale 4 da un beneficio solo in termini di riduzione del volume che prosegue verso valle e non di riduzione di portata al colmo per un evento centennale. Questo è dovuto alla forma dell'idrogramma che procedendo verso valle e a seguito delle diverse laminazioni (naturali e non) avvenute a monte, si appiattisce e rende difficile tagliare il colmo di piena con invasi di volumi modesti come evidente nella figura seguente. Tuttavia l'area golenale svolge uno scopo importante in termini nel concorrere all'obiettivo complessivo di messa in sicurezza del Seveso, riducendo i volumi in gioco. Anche in questo caso il funzionamento dell'invaso è parzialmente in derivazione e parzialmente in linea.

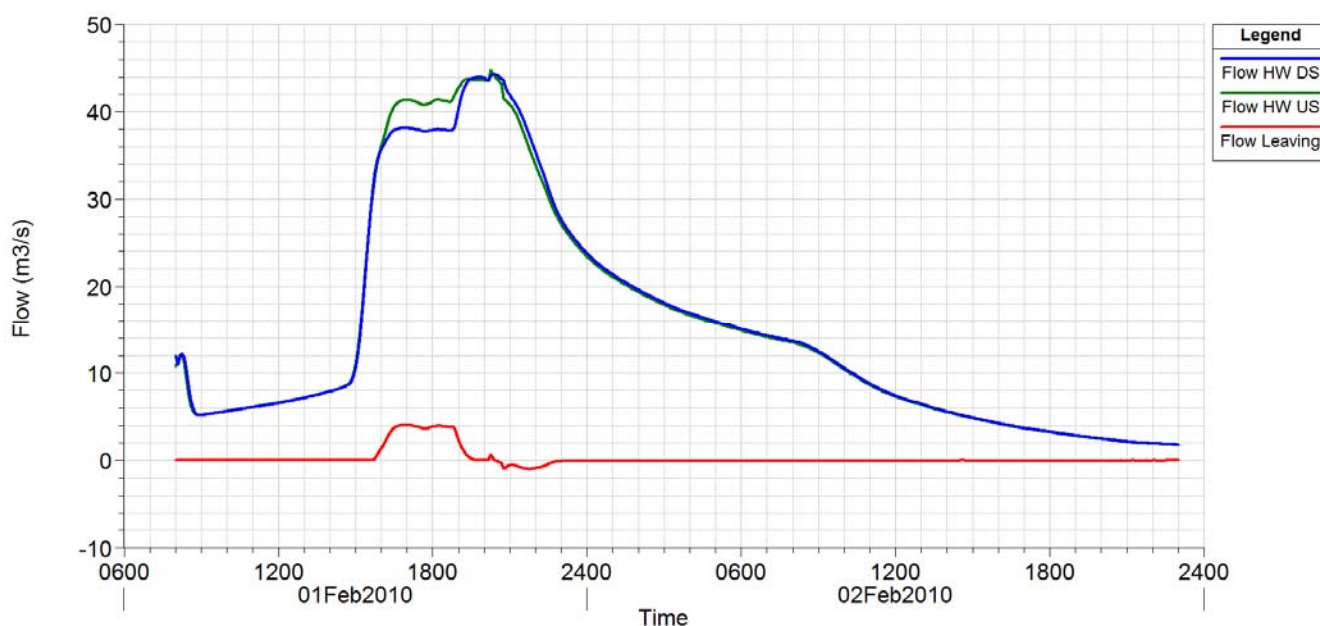


Figura 69 – Area 4 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

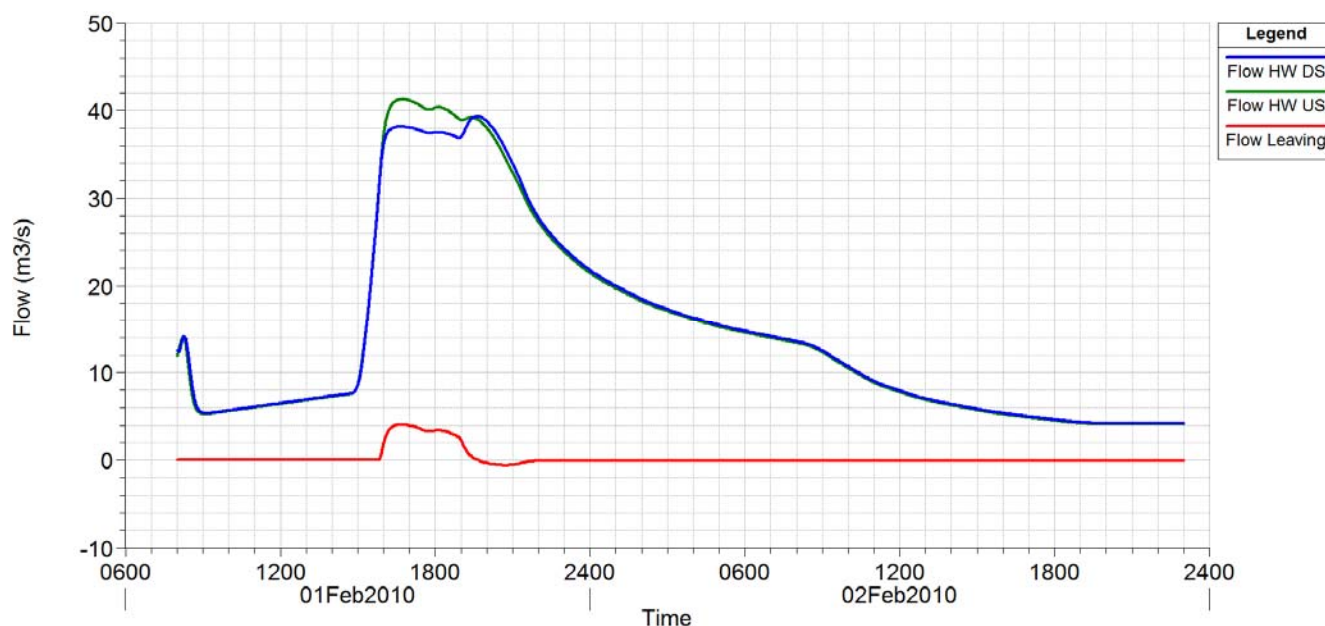


Figura 70 – Area 4 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

Nel caso di realizzazione anche degli invasi a monte, l'area golenale risulta comunque completamente utilizzata con volume di invaso centennale di 36'000 mc. In questo caso, poiché l'idrogramma in arrivo da monte è meno piatto essendo inferiore il suo volume complessivo, la laminazione nell'area golenale è in grado di dare un beneficio anche in termini di riduzione di portata al picco.

### **Area golenale 5**

L'area golenale 5 presenta le seguenti caratteristiche dimensionali

Superficie di base invaso : circa 25'800 mq

Quota di sfioro: 243.40 m s.l.m.

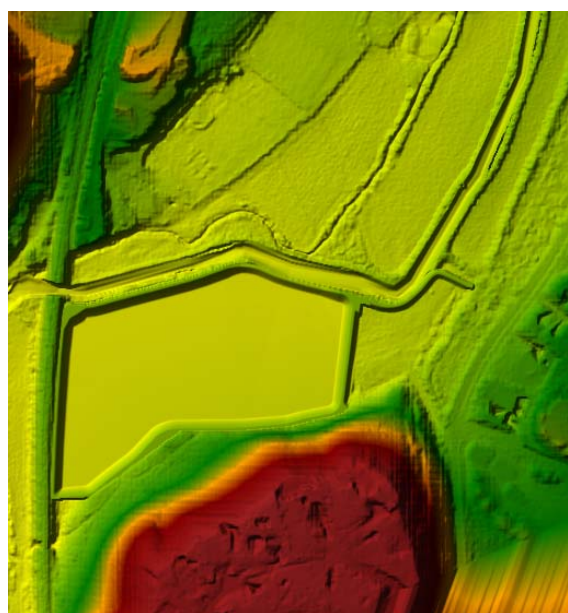
Volume invasabile sotto la quota di sfioro: 55'300 mc

Quota di massimo invaso T=100 anni: 243.72 m s.l.m.

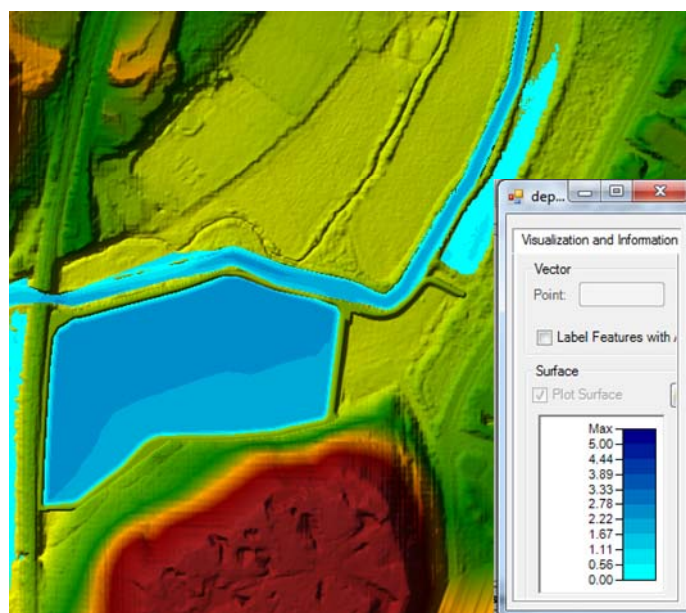
Volume invasato per T=100 anni: 63'900 mc

Nella figura seguente sono riportate le mappe desunte dal modello con gli elementi salienti dell'assetto di progetto.





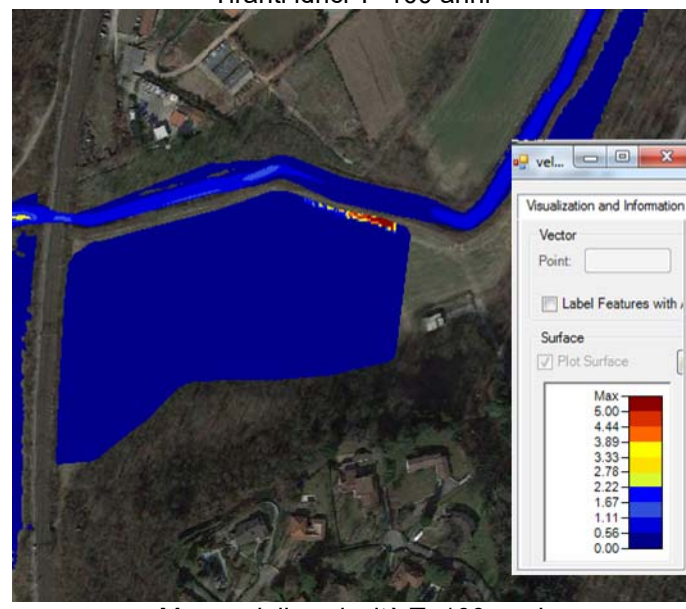
DEM di progetto



Tiranti idrici T=100 anni



Area di allagamento con direzioni di flusso T=100 anni

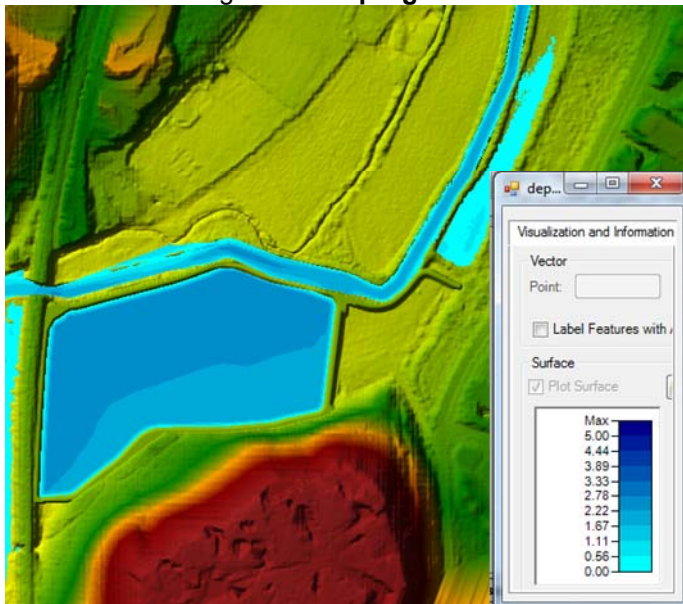
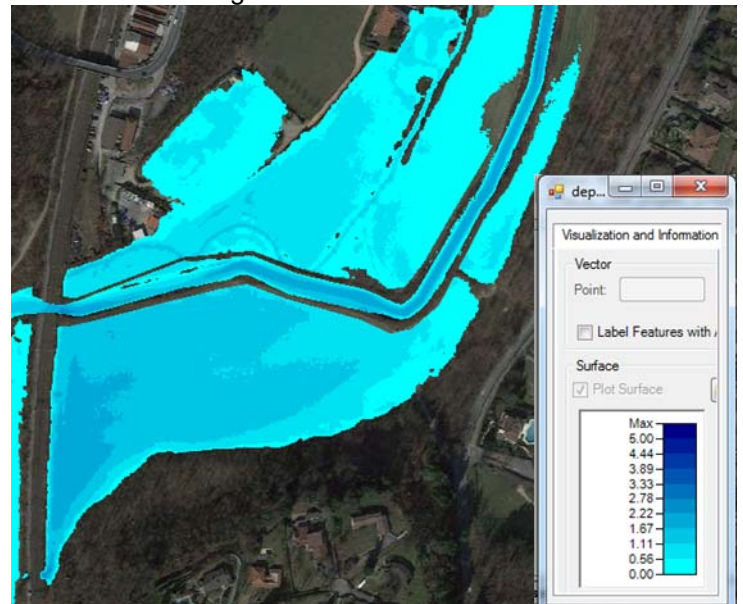


Mappa delle velocità T=100 anni

Figura 71 – Elementi idraulici dell'area golenale 5 nell'assetto di progetto

Nella figura seguente sono invece riportate le mappe desunte dal modello con i confronti tre stato di fatto e progetto relativamente aree di allagamento e tiranti.



Area di allagamento di **progetto** T=100 anniArea di allagamento **stato di fatto** T= 100 anniTiranti idrici di **progetto** T=100 anniTiranti idrici **stato di fatto** T=100 anniFigura 72 – Mappe di allagamento dell'area golendale 5 confronto tra stato di fatto e assetto di **progetto**

Dal confronto tra le aree di allagamento nello stato di fatto e nel progetto si evidenzia come l'intervento di realizzazione dell'argine in sponda destra nel tratto compreso travia dei Partigiani e il rilevato ferroviario metta in sicurezza le cascine in sponda destra del corso d'acqua. Si evidenzia anche come la realizzazione dell'area golendale 5 eviti l'allagamento della cabina del gas ubicata appena a monte dell'invaso e eviti l'allagamento



del sottopasso, seppur di viabilità campestre in sinistra dell'invaso. Si evidenzia inoltre dalla mappa delle velocità, quanto già visto per le aree precedenti.

Infine nella seguente figura è riportata l'estensione dell'allagamento in vasca per  $T = 2, 5, 10$  e  $100$  anni. Dalla figura si nota come anche l'area 5 non risulti allagabile per eventi con tempo di ritorno 2 anni mentre inizia ad essere allagata, con estensione sempre maggiore, per eventi con tempo di ritorno almeno 5 anni.

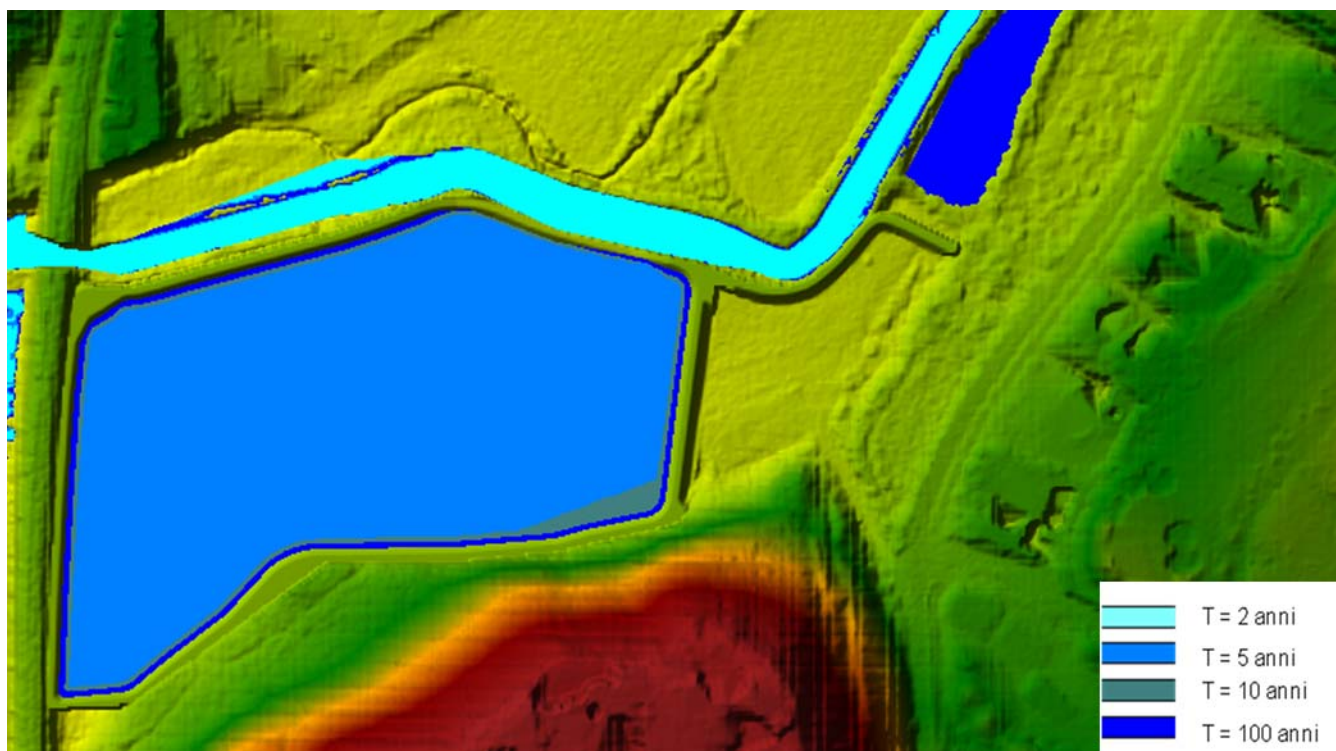


Figura 73 – Mappe di allagamento dell'area golendale 5 T=2, 5, 10 100 anni

Analizzando gli idrogrammi di piena, per un evento centennale, considerando sia l'attuale assetto del corso d'acqua a monte che l'assetto futuro con realizzate le vasche a monte di queste aree golenali, si verifica che nell'assetto attuale del corso d'acqua a monte l'area golendale 5, per quanto illustrato precedentemente in relazione agli effetti di più laminazioni in sequenza, da un beneficio apprezzabile in termini di riduzione del volume che prosegue verso valle e determina anche una riduzione di portata al colmo per un evento centennale, seppur modesta. Anche in questo caso il funzionamento dell'invaso è parzialmente in derivazione e parzialmente in linea.

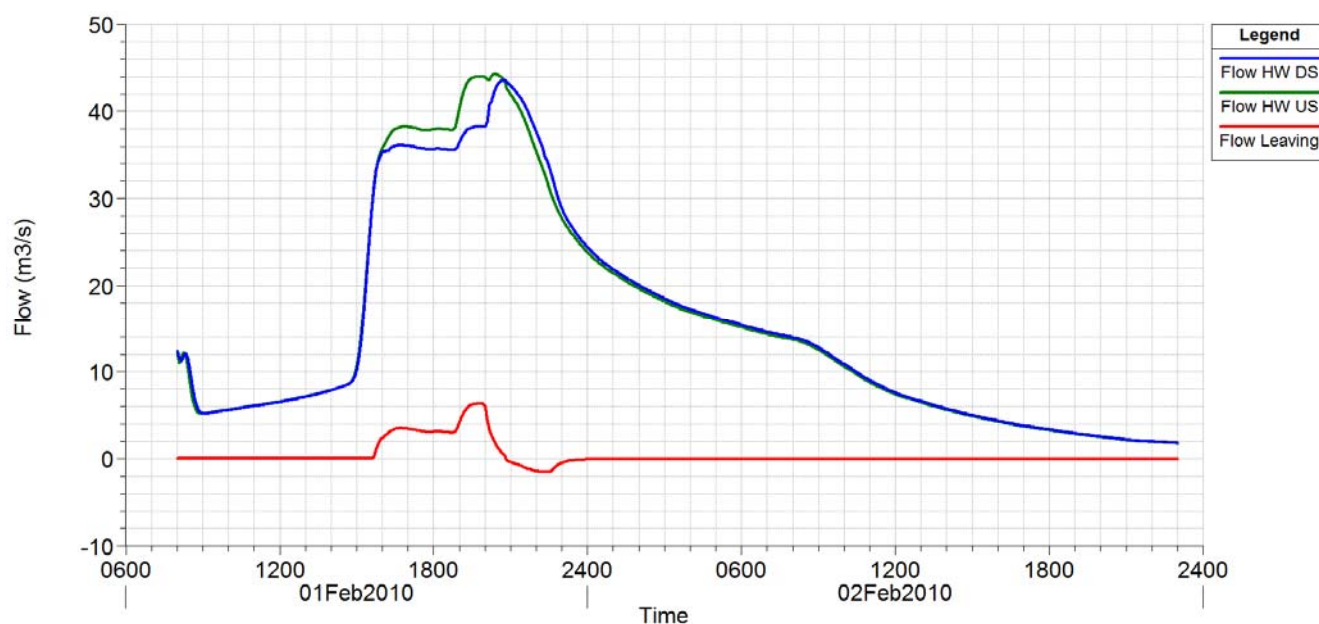


Figura 74 – Area 5 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golendale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

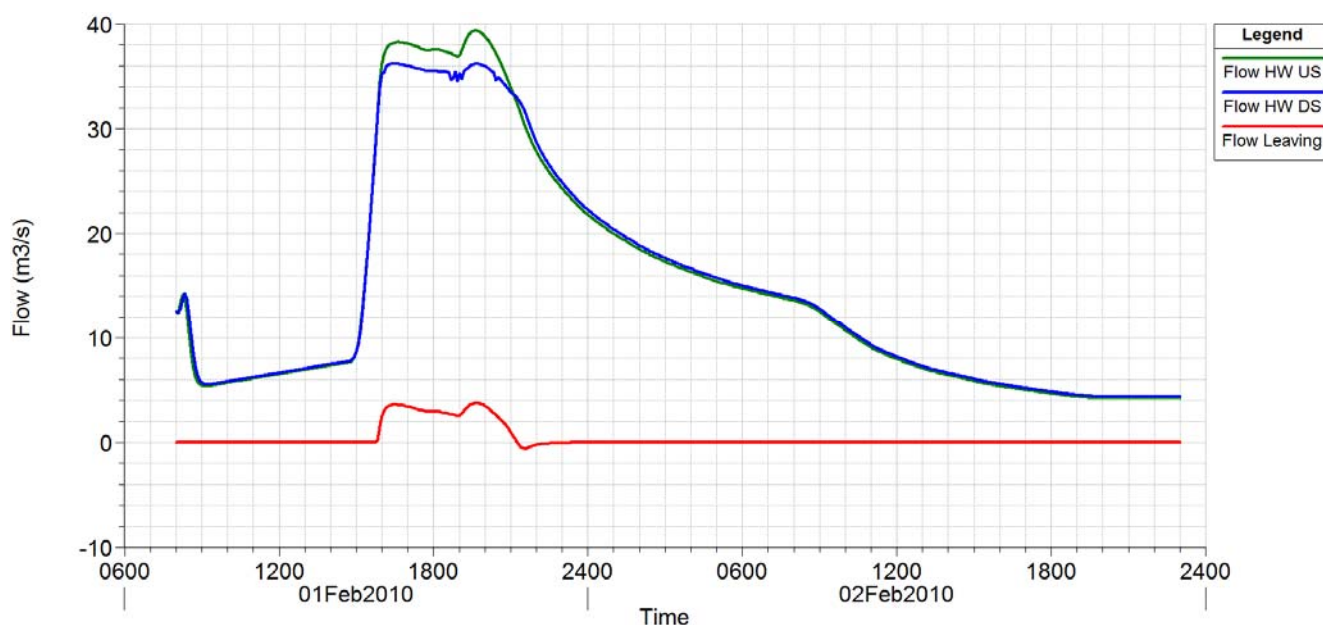


Figura 75 – Area 5 - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golendale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

Nel caso di realizzazione anche degli invasi a monte, l'area golendale risulta completamente utilizzata con volume di invaso centennale di 54'000 mc. In questo caso,

poiché l'idrogramma in arrivo da monte è meno piatto essendo inferiore il suo volume complessivo, la laminazione nell'area golenale è in grado di dare un beneficio molto più significativo in termini di abbattimento delle portate al colmo.

### **Area golenale 6**

L'area golenale 6 presenta le seguenti caratteristiche dimensionali

Superficie di base invaso: circa 67'800 mq in destra + 37'700 in sinistra

Quota di sfioro: 237.20 m s.l.m. in sinistra e 237.00 m s.l.m. in destra

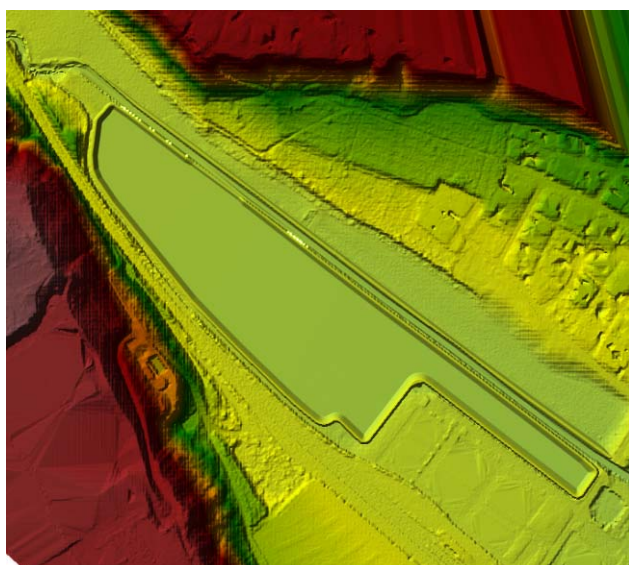
Volume invasabile sotto la quota di sfioro: 56'600 mc in sinistra + 129'900 mc in destra

Quota di massimo invaso T=100 anni: 237.70 m s.l.m. in destra e 238.00 m s.l.m. in sinistra

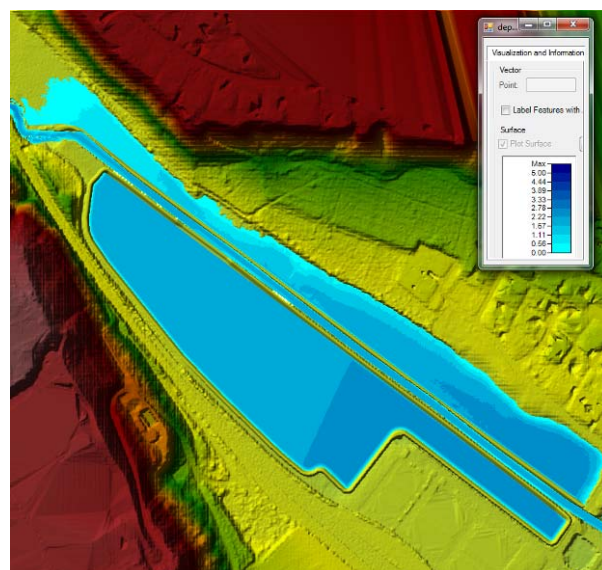
Volume invasato per T=100 anni: 76'600 mc in sinistra + 146'600 mc in destra

Nella figura seguente sono riportate le mappe desunte dal modello con gli elementi salienti dell'assetto di progetto.

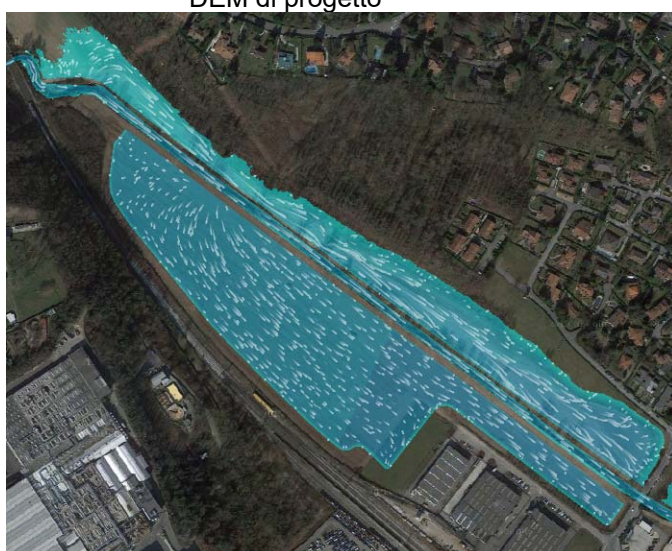




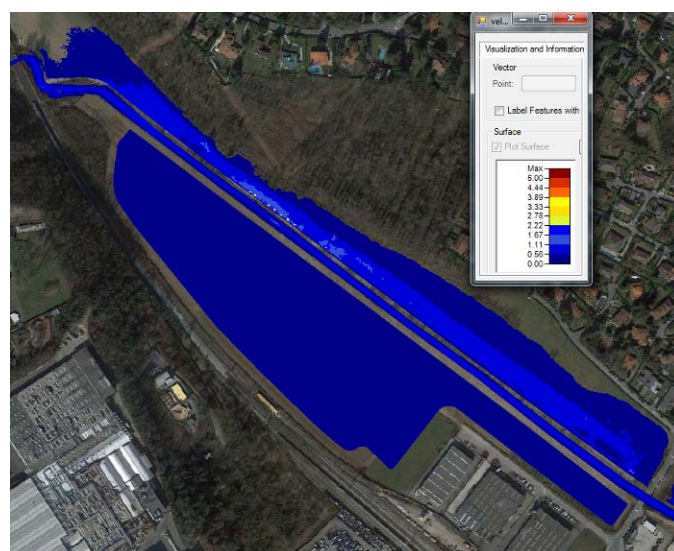
DEM di progetto



Tiranti idrici T=100 anni



Area di allagamento con direzioni di flusso T=100 anni

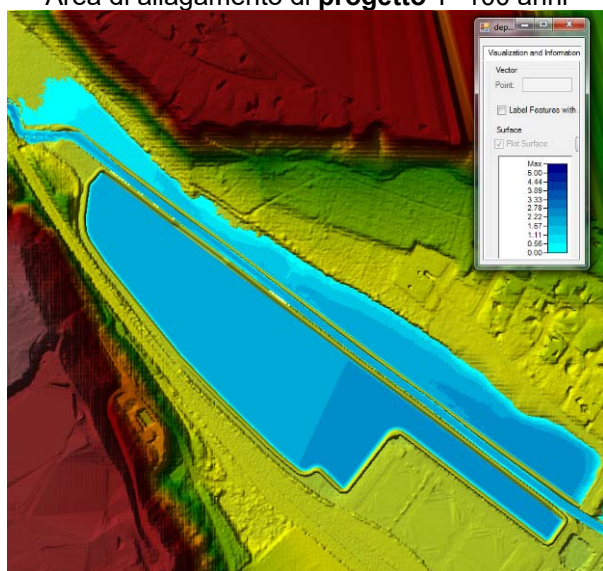
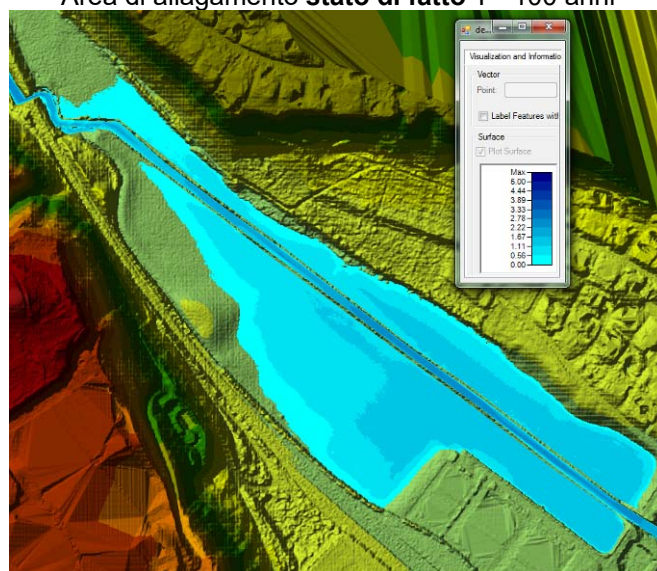


Mappa delle velocità T=100 anni

Figura 76 – Elementi idraulici dell'area golendale 5 nell'assetto di progetto

Nella figura seguente sono invece riportate le mappe desunte dal modello con i confronti tre stato di fatto e progetto relativamente aree di allagamento e tiranti.



Area di allagamento di **progetto** T=100 anniArea di allagamento **stato di fatto** T= 100 anniTiranti idrici di **progetto** T=100 anniTiranti idrici **stato di fatto** T=100 anniFigura 77 – Mappe di allagamento dell'area golenale 5 confronto tra stato di fatto e assetto di **progetto**

Dal confronto tra le aree di allagamento nello stato di fatto e nel progetto si evidenzia come sia raggiunto l'obiettivo di ottimizzare la laminazione all'interno di aree già oggi allagabili, senza andare a peggiorare le condizioni di rischio dei frontisti. Relativamente alle velocità vale quanto già detto per le aree precedenti.

Nella seguente figura è riportata l'estensione dell'allagamento in vasca per T = 2, 5, 10 e 100 anni. Dalla figura si nota come anche l'area 6 in destra non risulti allagabile per eventi



con tempo di ritorno 2 anni mentre inizia ad essere allagata, con estensione sempre maggiore, per eventi con tempo di ritorno almeno 5 anni e al contrario l'area golenale 6 in sinistra risulta allagabile già per eventi con tempo di ritorno 2 anni.

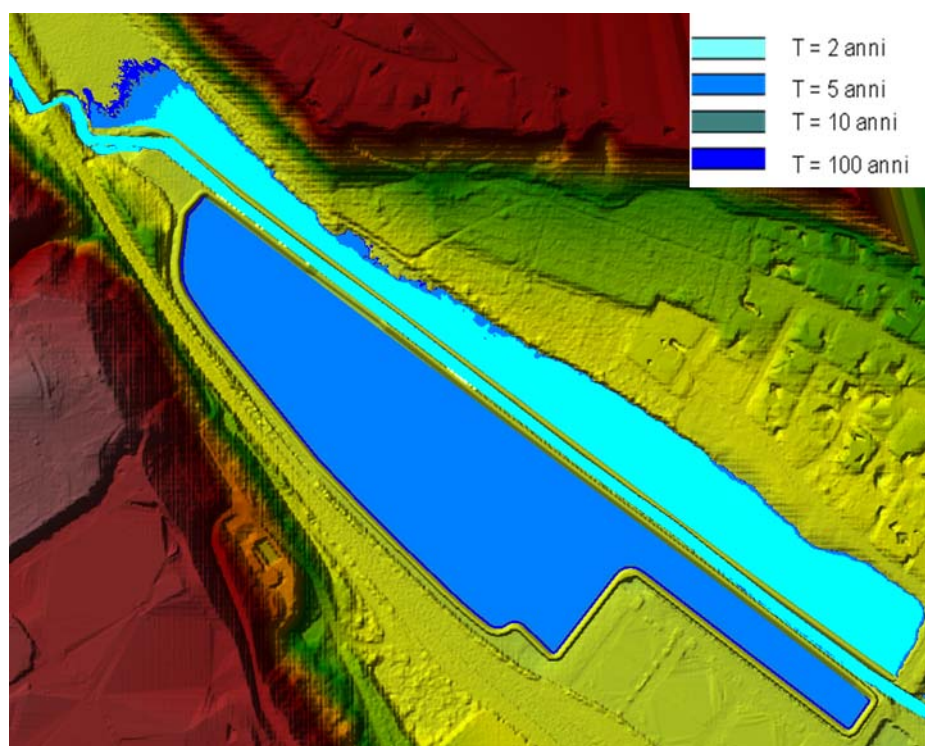


Figura 78 – Mappe di allagamento dell'area golenale 5 T=2, 5, 10 100 anni

Analizzando gli idrogrammi di piena, per un evento centennale, considerando sia l'attuale assetto del corso d'acqua a monte che l'assetto futuro con realizzate le vasche a monte di queste aree golenali, si verifica un importante beneficio in termini di laminazione sia dei volumi che dei picchi di piena grazie al contributo di entrambe le aree. In questo caso il funzionamento dell'area golenale 6 in sinistra è parzialmente in derivazione e parzialmente in linea, mentre per quanto riguarda l'area golenale 6 in destra questa presenta un funzionamento misto (linea e derivazione) nell'assetto attuale del corso d'acqua, mentre trattiene l'intero volume laminato nell'assetto futuro dell'alveo a monte.

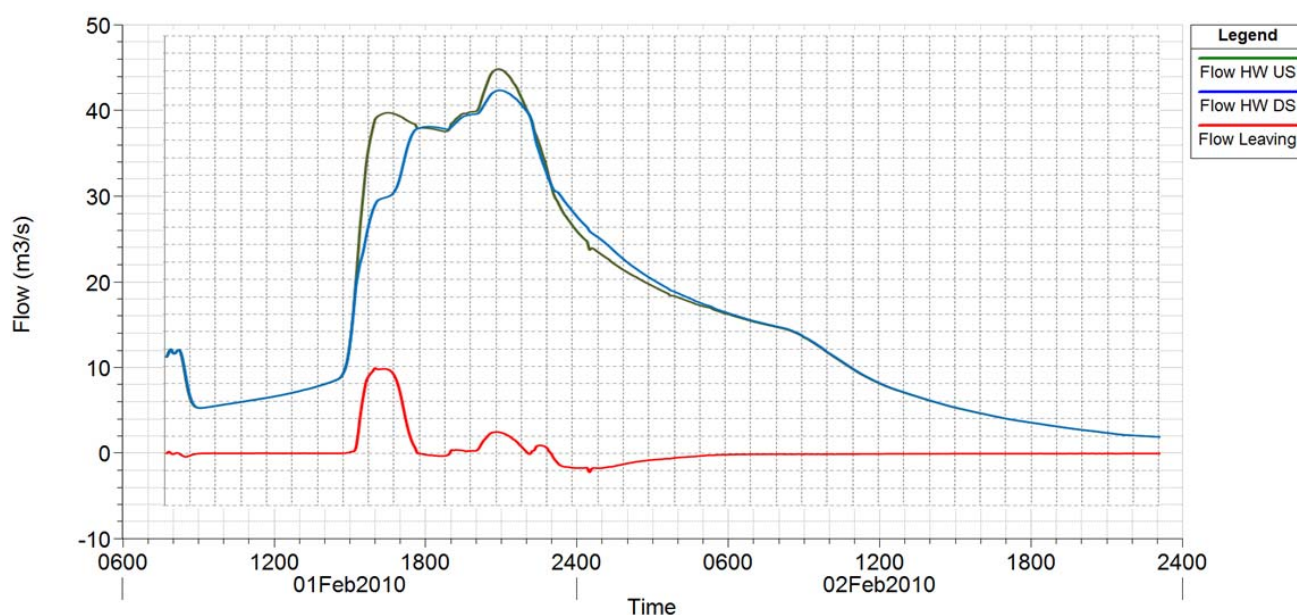


Figura 79 – Area 6 sinistra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

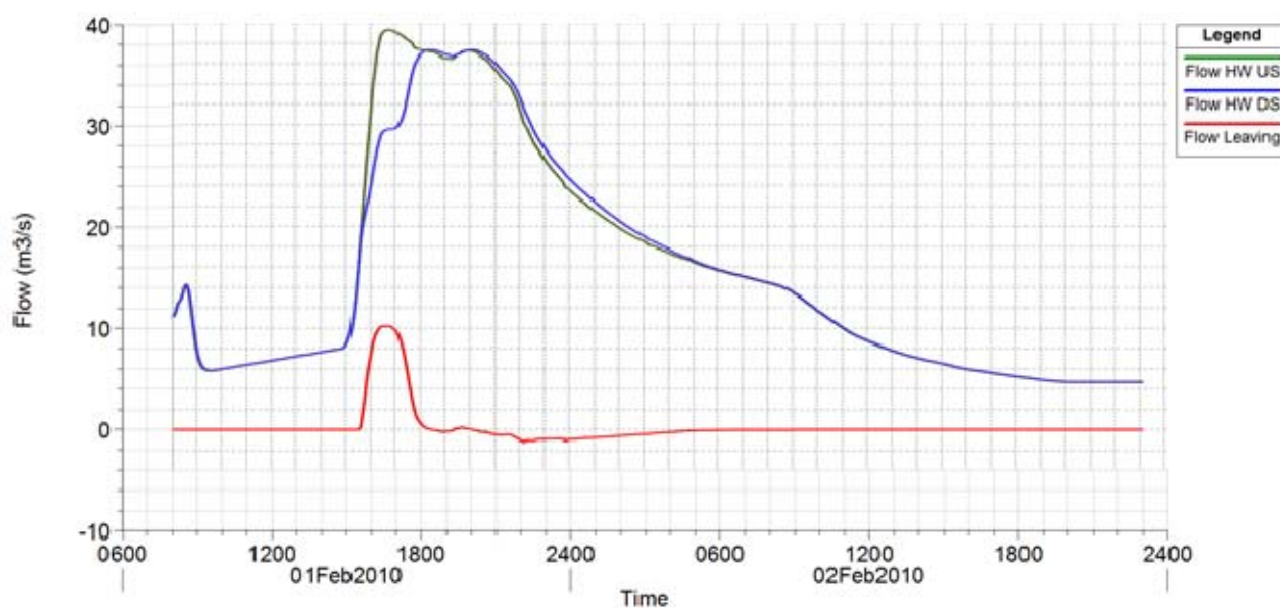


Figura 80 – Area 6 sinistra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

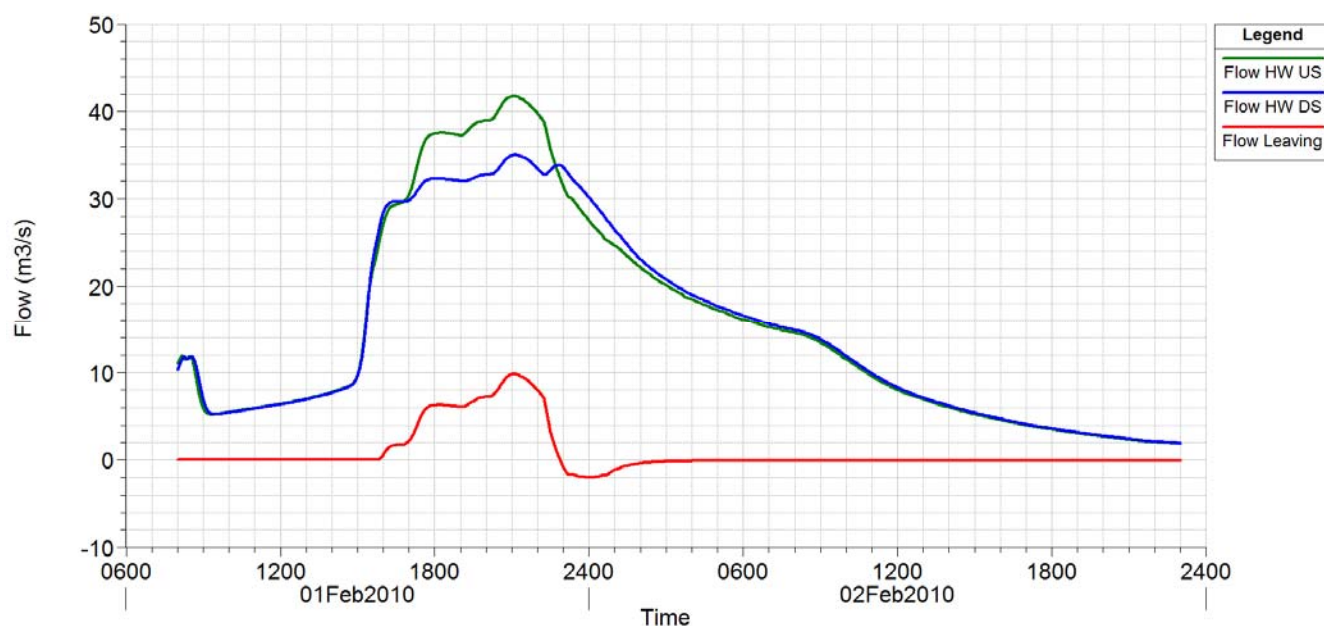


Figura 81 – Area 6 destra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto attuale dell'alveo a monte del tratto di intervento**

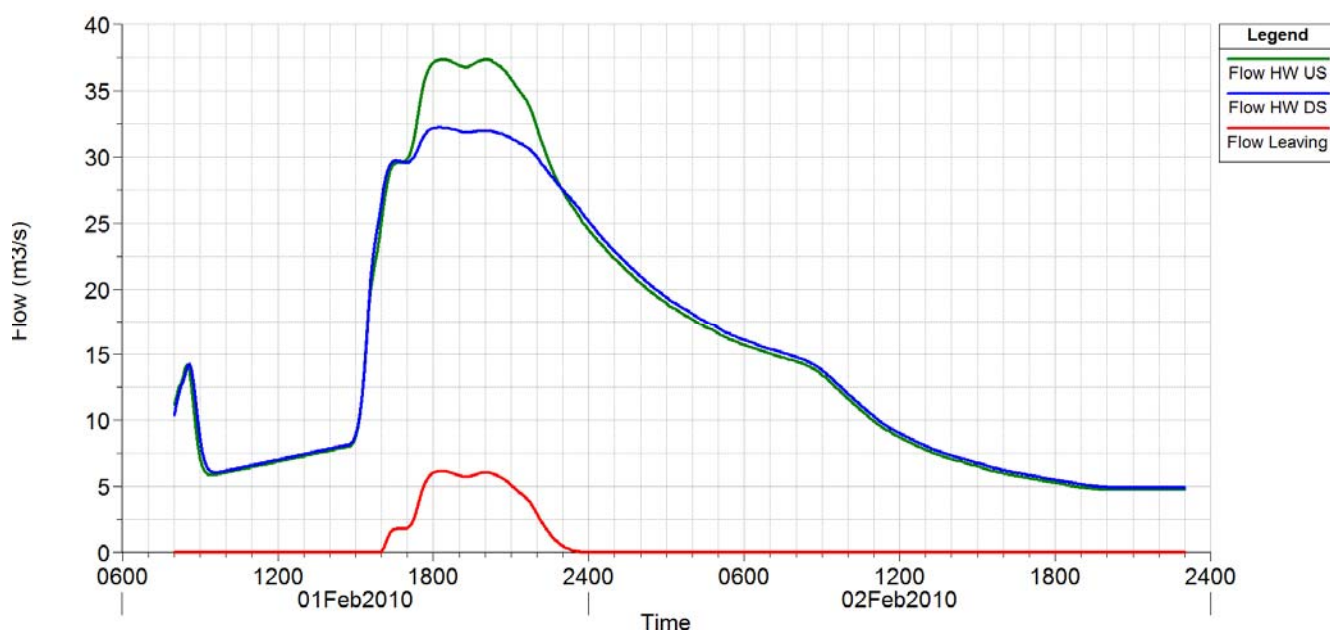


Figura 82 – Area 6 destra - Idrogramma a monte dello sfioro (verde), idrogramma a valle dello sfioro (blu) e idrogramma entrante nell'area golenale (rosso) per **T=100 anni progetto con assetto futuro dell'alveo a monte del tratto di intervento**

Nel caso di realizzazione anche degli invasi a monte, le aree golenali risultano significativamente utilizzate con volume di invaso centennale di 47'000 mc per l'area golenale in sinistra e circa 105'000 mc per quella in destra. Anche in questo caso la laminazione nelle aree golenali è in grado di dare un beneficio molto più significativo in termini di abbattimento delle portate al colmo.

### **Benefici complessivi indotti dalle opere in progetto**

L'ottimizzazione delle aree golenali provoca una serie di benefici in relazione alla sicurezza idraulica connessa alle esondazioni del Seveso, senza andare ad alterare sensibilmente il regime del corso d'acqua. I principali benefici indotti, come risulta da quanto sopra esposto, sono:

- **Riduzione degli allagamenti in aree ad elevata domanda di sicurezza** (case, cascine, aree industriali) poste nel tratto di intervento già per eventi con tempo di ritorno 2 anni



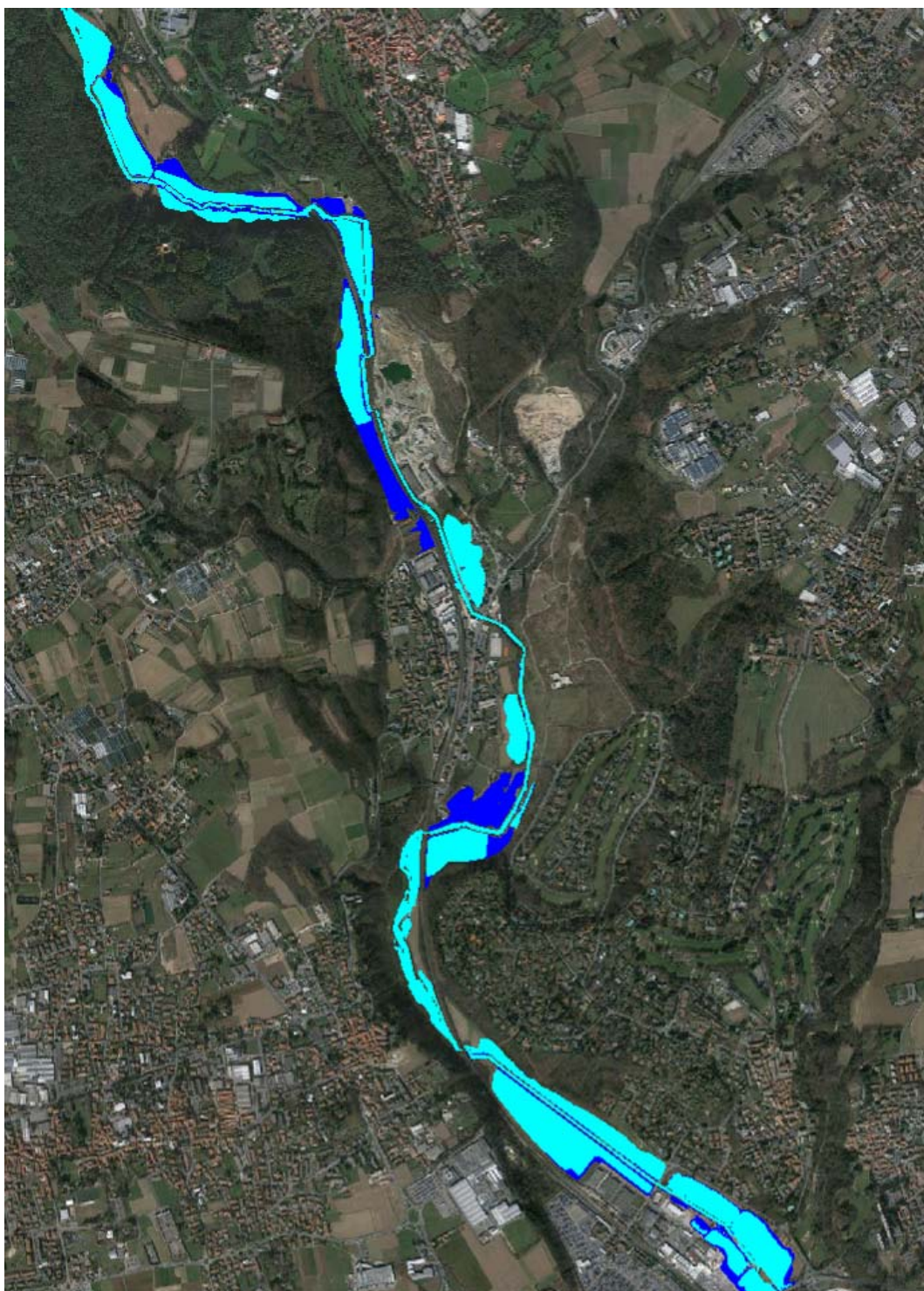


Figura 83 – Confronto tra aree di allagamento T100 anni con l'assetto attuale dell'alveo a monte tra stato di fatto (blu) e assetto di progetto (azzurro)



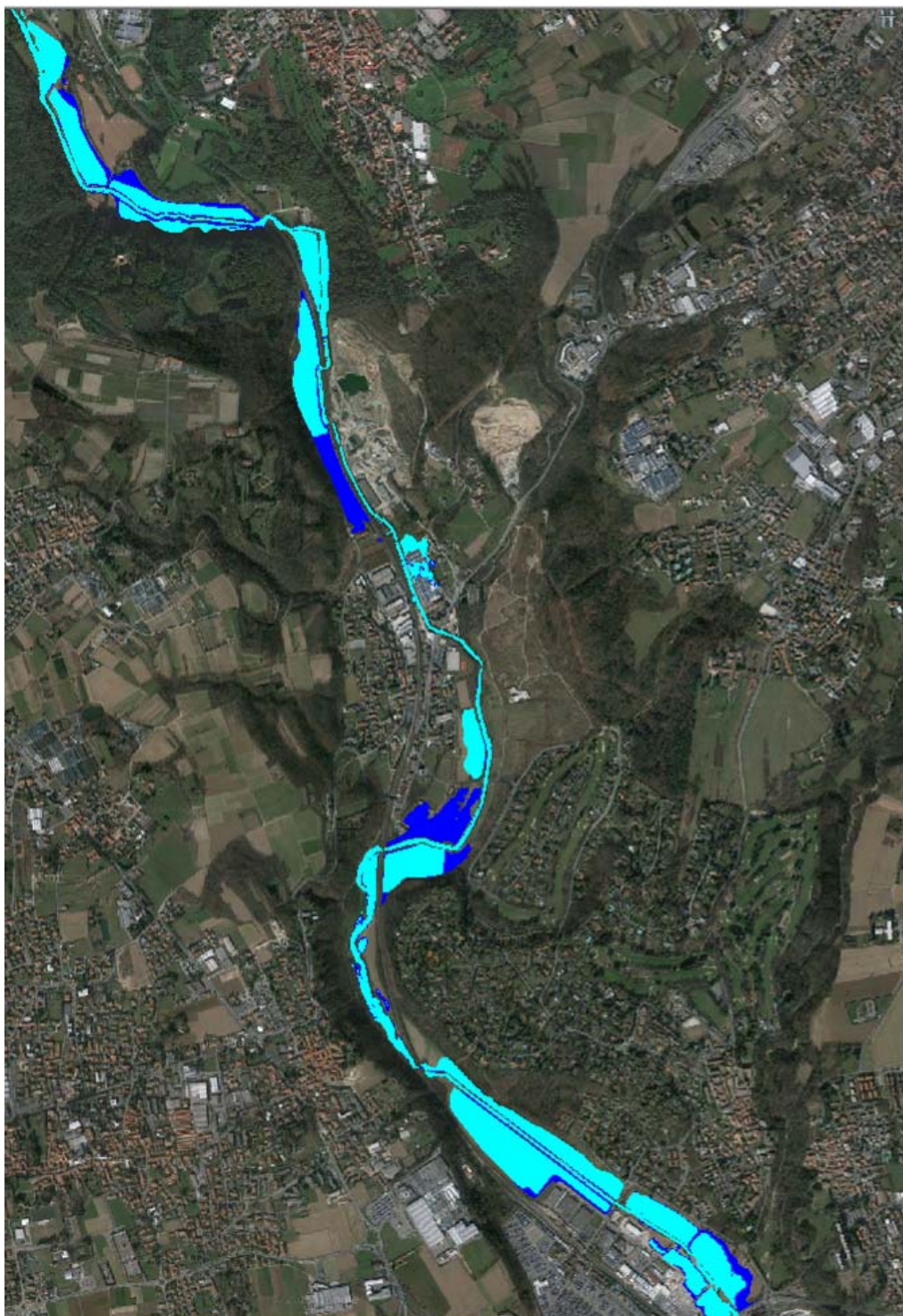


Figura 84 – Confronto tra aree di allagamento **T100** anni con l'assetto futuro dell'alveo a monte (realizzate vasche nella parte alta del bacino) tra stato di fatto (blu) e assetto di progetto (azzurro)



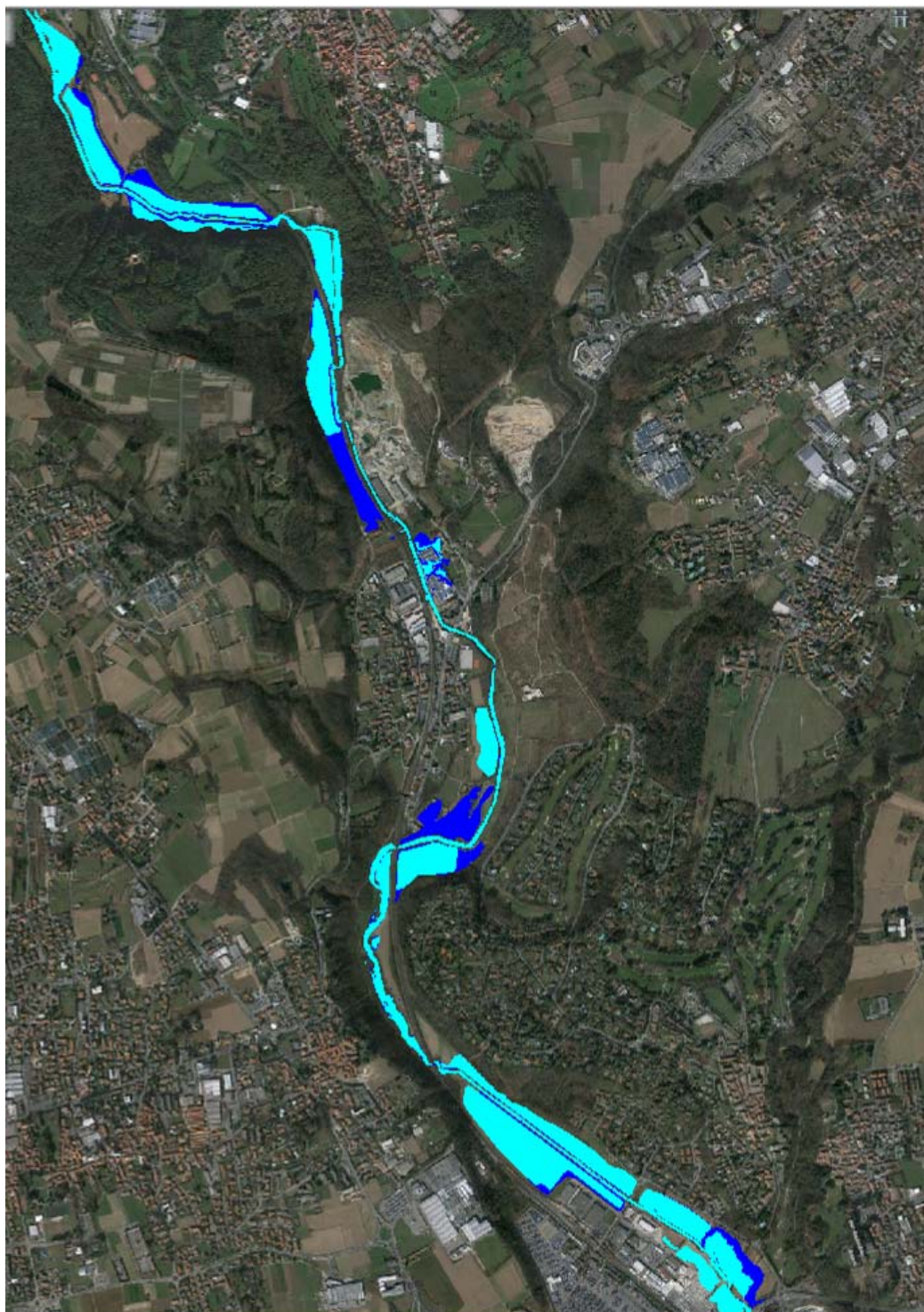


Figura 85 – Confronto tra aree di allagamento **T10** anni con l'assetto attuale dell'alveo a monte tra **stato di fatto (blu)** e **assetto di progetto (azzurro)**



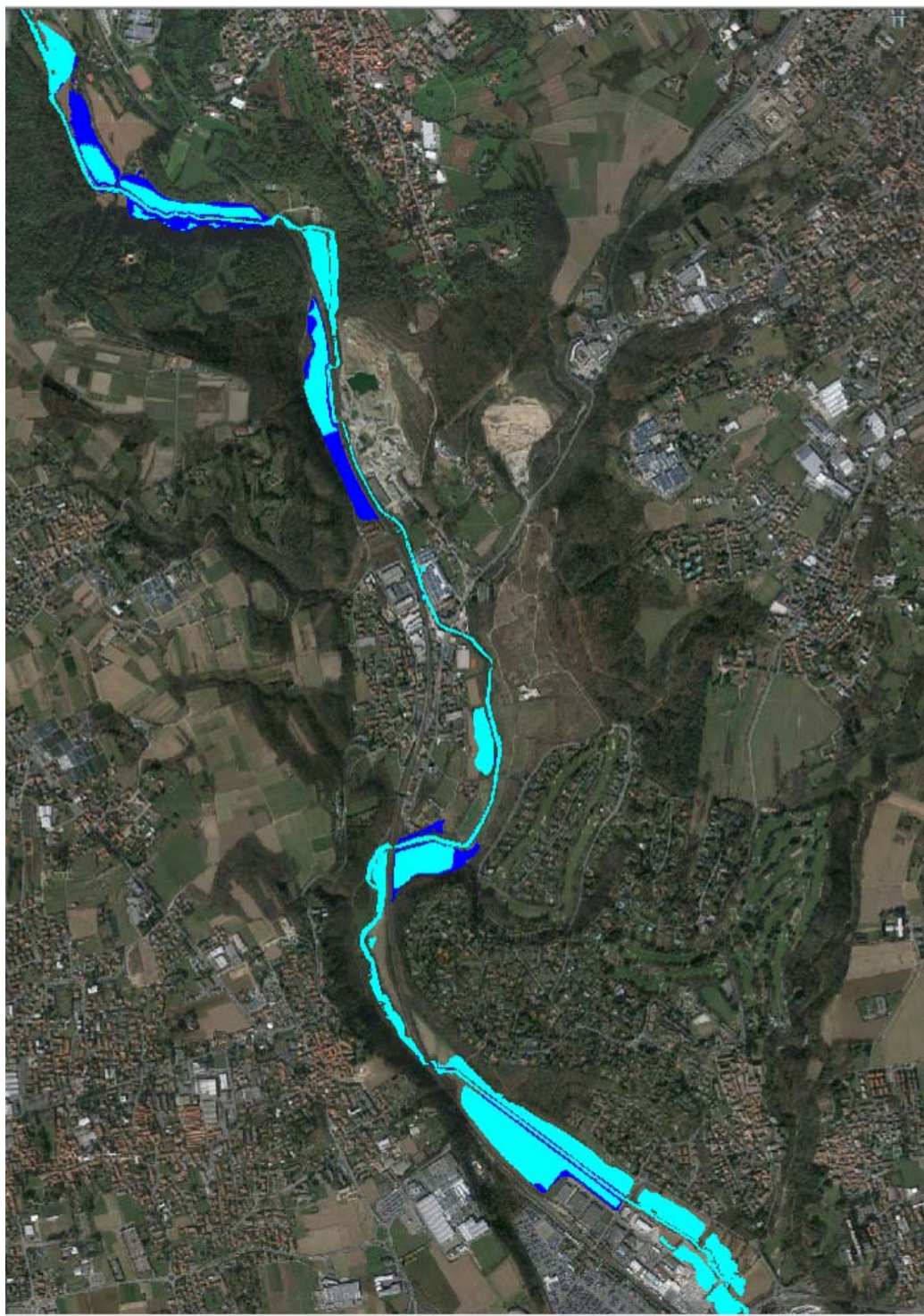


Figura 86 – Confronto tra aree di allagamento T 5 anni con l' assetto attuale dell'alveo a monte tra stato di fatto (blu) e assetto di progetto (azzurro)



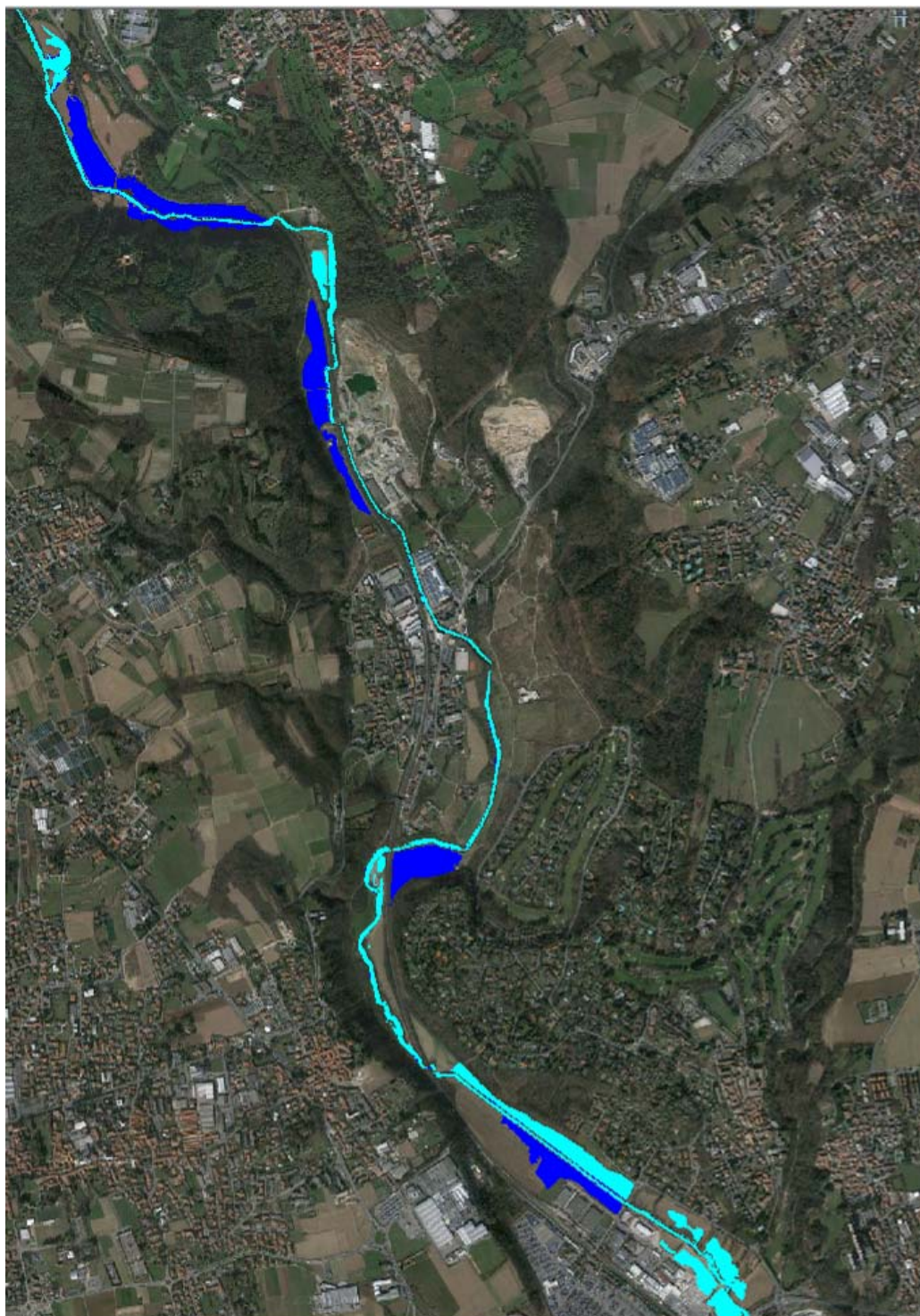


Figura 87 – Confronto tra aree di allagamento T 2 anni con l' assetto attuale dell'alveo a monte tra stato di fatto (blu) e assetto di progetto (azzurro)

- **Invaso complessivo di 522'900 mc dei quali 439'950 mc trattenuto al di sotto della quota di sfioro e 82'950 mc laminati a quote superiori rispetto a quella di sfioro, che quindi rientrano in alveo quando il livello del Seveso è inferiore al livello nell'area golenale.**

PP	PD	
Vol. invaso max [mc]	Vol. invaso [mc]	Vol. invaso max [mc]
66 500	53 800	53 800
48 500	41 400	51 200
23 000	19 650	24 000
71 800	46 700	64 700
52 500	36 600	42 100
57 500	55 300	63 900
76 700	56 600	76 600
125 600	129 900	146 600
<b>522 100.00</b>	<b>439 950.00</b>	<b>522 900.00</b>

Per maggior chiarezza, la differenza di volume tra quello definito “volume invaso max” e “volume invaso” è la quota parte di volume che durante l’evento di progetto centennale si accumula nell’area golenale al di sopra della quota dello sfioratore di alimentazione\scarico di emergenza e che viene restituita al fiume al decrescere dei livelli in alveo, con un funzionamento tipico di un invaso in linea. La quota parte invece stoccata al di sotto della quota dello sfioratore di alimentazione\scarico di emergenza ha un funzionamento in derivazione in quanto il suo svuotamento è regolato dall’apertura dello scarico di fondo.

- **Riduzione della portata al colmo al termine del tratto oggetto di intervento per tutti i tempi di ritorno superiori a 2 anni e sostanziale invarianza di portata per questo tempo di ritorno.** Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi in corrispondenza del ponte di via alla stazione di Carimate per tutti i tempi di ritorno simulati nello stato di fatto e nella configurazione di progetto.

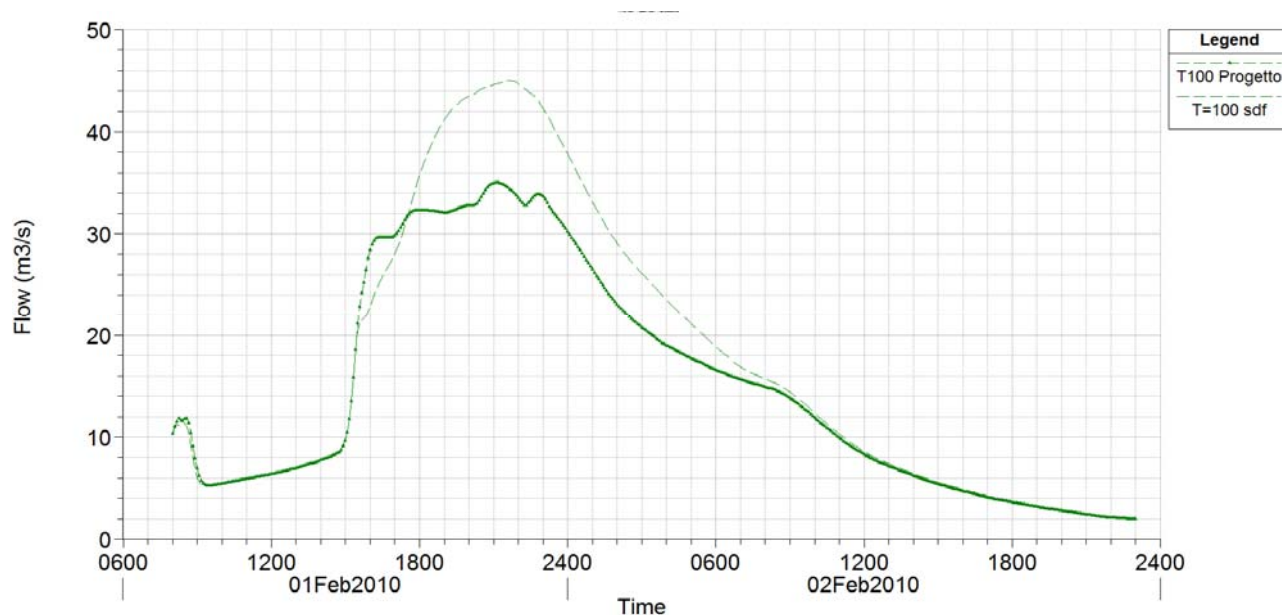


Figura 88 – Idrogrammi T100 stato di fatto e progetto (nell'assetto attuale del corso d'acqua a monte del presente tratto) al ponte di via della stazione a Carimate

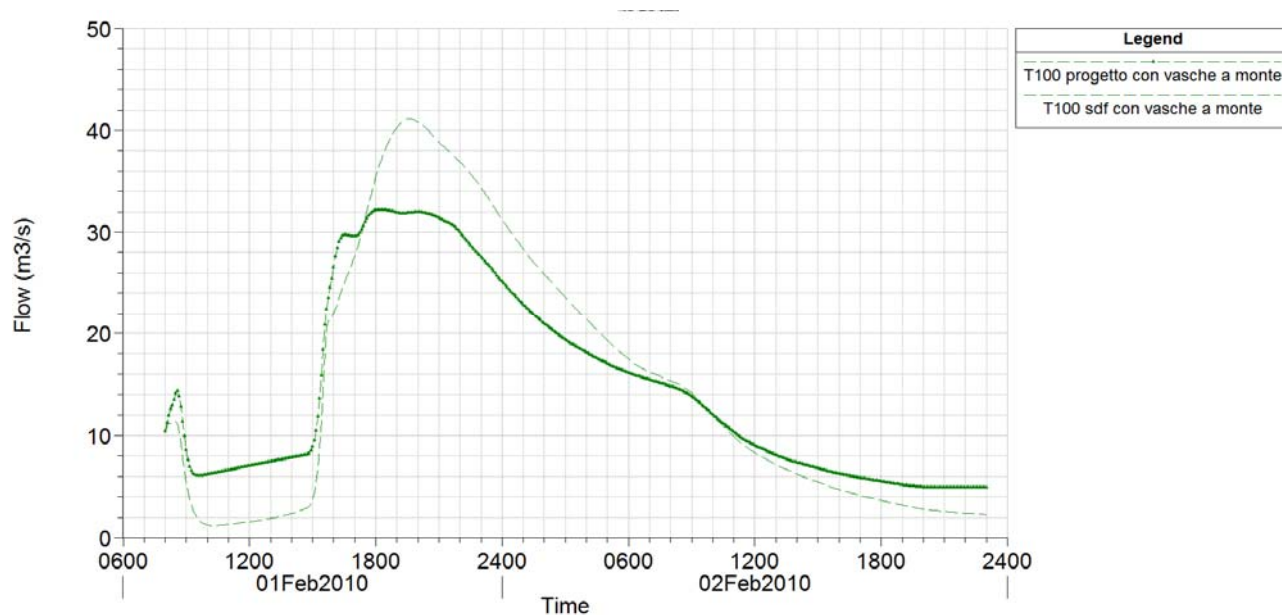


Figura 89 – Idrogrammi T100 stato di fatto e progetto (nell'assetto futuro con realizzate le vasche a monte del presente tratto) al ponte di via della stazione a Carimate



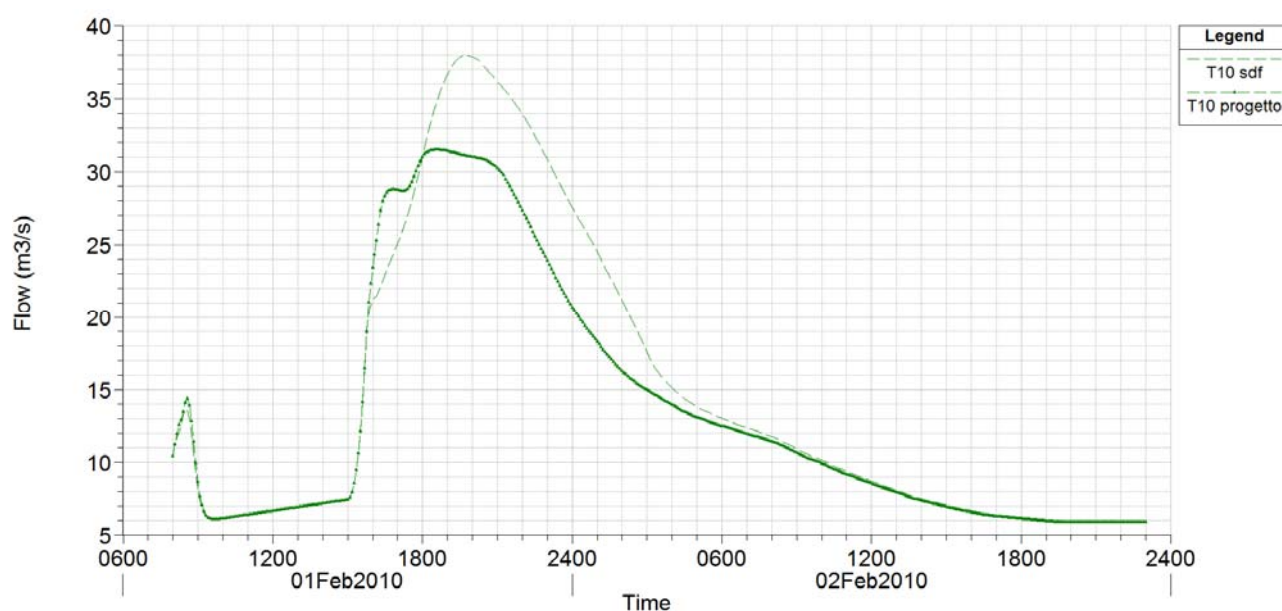


Figura 90 – Idrogrammi T10 stato di fatto e progetto al ponte di via della stazione a Carimate

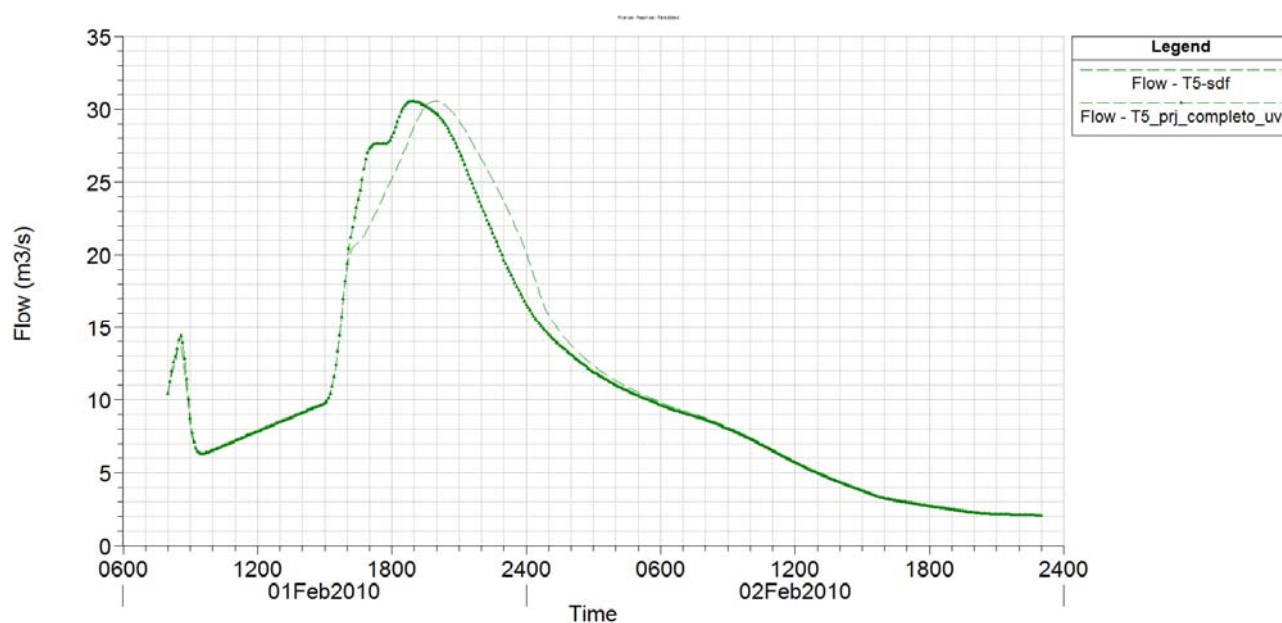


Figura 91 – Idrogrammi T5 stato di fatto e progetto al ponte di via della stazione a Carimate



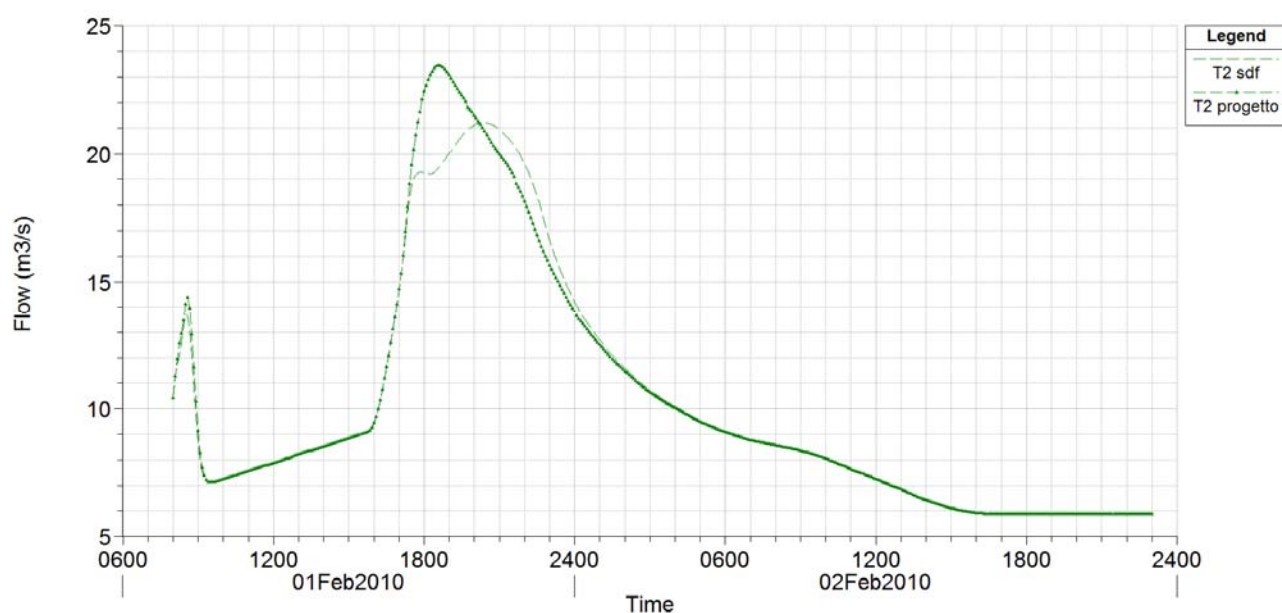


Figura 92 – Idrogrammi T2 stato di fatto e progetto al ponte di via della stazione a Carimate

- **Riduzione del volume in uscita dal tratto oggetto di intervento da 2.42 Mmc a 2.1 Mmc nell'assetto attuale del corso d'acqua.** Tale volume ovviamente è inferiore al volume laminato nelle aree golenali in quanto già oggi risultano allagabili e quindi laminano l'onda di piena del corso d'acqua.
- **Le aree manterranno la loro funzionalità anche quando verranno realizzate le opere previste a monte ad eccezione dell'area golenale 1, che potrà essere ottimizzata con estrema semplicità ed efficacia derivando all'interno le acque del rio Acquanegra prima della sua immissione in Seveso o modificando con semplici interventi la sezione di controllo per aumentare i livelli sullo sfioro e quindi la capacità di alimentazione dell'invaso.**