

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J11H03000030008

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' DI BORGONE E AVIGLIANA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

NT01 05 D 26 RI ID0002 001 1

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
1	Emissione Esecutiva	M. Coccato	Gennaio 2020	S. Scafa	Gennaio 2020	F. Perrone	Gennaio 2020	ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD Doc. Ing. Francesco Scafa Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 2317/2020	

File: NT01 05 D 26 RI ID0002 001 1.doc

n. Elab.:

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 2 di 46

INDICE

1	PREMESSA	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	7
3	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	8
3.1	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	9
3.2	STUDI PREGRESSI NELL'AREA DI STUDIO	11
3.3	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO	12
4	INQUADRAMENTO NORMATIVO DI SETTORE	13
4.1	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO	13
4.2	PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI	14
5	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	17
6	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO	18
6.1	IL MODELLO DI CALCOLO	18
6.1.1	<i>Geometria di calcolo</i>	19
6.1.2	<i>Manufatti</i>	22
6.2	SCABREZZE	24
6.3	SCENARI SIMULATI	25
7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	26
7.1	ANTE OPERAM	26
7.2	POST OPERAM	28
7.3	CONFRONTO CON I RISULTATI PAI	34
8	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	37
8.1.1	<i>Analisi risultati</i>	37
8.1.2	<i>Analisi di compatibilità</i>	37
9	CONCLUSIONI	41
	APPENDICE A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM	42

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 3 di 46

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Area di intervento in progetto.	5
Figura 2 – Suddivisione territoriale in distretti.	8
Figura 3 – Suddivisione territoriale Bacino del Fiume Po.	8
Figura 4 – Inquadramento del bacino della Dora Riparia.....	9
Figura 5 – Inquadramento dell'area di studio.	10
Figura 6 – Stralcio planimetrico della sottostazione elettrica in progetto.	10
Figura 7 – Aree di esondazione e aree di pericolosità del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (2014).	14
Figura 8 – Stralcio delle aree di esondazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto idrografico Padano	16
Figura 9 – Idrogramma per l'evento TR 200 anni.	17
Figura 10 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM.....	18
Figura 11 – Modello del terreno.	19
Figura 12 – Confronto sezione 82 come da schede PAI (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde). In rosso è indicata l'estensione della sezione nel modello InfoWorks	19
Figura 13 – Particolare della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.....	20
Figura 14 – Elementi quotati inseriti nel dominio di calcolo bidimensionale.	21
Figura 15 – Zona di magliatura in blu che dettaglia il canale di derivazione in sinistra idraulica.....	22
Figura 16 – Schermata di visualizzazione in InfoWorks del ponte 99-1P.	23
Figura 17 – Ubicazione degli attraversamenti minori modellati, evidenziati in blu.....	24
Figura 18 – Poligono impermeabile che descrive la SSE in progetto nella zona 2D	25
Figura 19 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR200	26
Figura 20 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR300	27
Figura 21 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR500	27
Figura 22 – Ubicazione dei punti di controllo.	28
Figura 23 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200.....	29
Figura 24 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200 – dettaglio	29
Figura 25 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR300.....	30
Figura 26 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR300 – dettaglio	30
Figura 27 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR500.....	31
Figura 28 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR500 – dettaglio	31
Figura 29 – Confronto risultati delle simulazioni per l'evento TR200: differenza massime altezze d'acqua post operam – ante operam.	33
Figura 30 – Confronto risultati delle simulazioni per l'evento TR300: differenza massime altezze d'acqua post operam – ante operam.	33
Figura 31 – Confronto risultati delle simulazioni per l'evento TR500: differenza massime altezze d'acqua	

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	4 di 46

post operam – ante operam.	34
Figura 32 – Confronto profilo Dora Riparia tra le sezioni 92 e 80: risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam e livelli PAI (2014) per l'evento TR200.....	35
Figura 33 – Confronto risultati 2D Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam per l'evento TR200 e fasce PAI (2014)	36
Figura 34 – Confronto risultati 2D Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam per l'evento TR500 e fasce PAI (2014)	36
Figura 35 – Sezione del piazzale con quota di massima piena	37

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elaborati annessi.	6
Tabella 2 – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d'acqua.	24
Tabella 3 – Valori dei coefficienti di scabrezza per diverse coperture del suolo.....	25
Tabella 4 – Analisi dei risultati: stato di fatto.	28
Tabella 5 – Analisi dei risultati: stato di progetto.....	31
Tabella 6 – Confronto dei risultati: differenze di livelli nello scenario ante operam e post operam (differenze positive indicano un incremento di livello nel post operam).	32

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA					
	REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 5 di 46

1 PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio idraulico eseguito mediante modellazione numerica mono-bidimensionale del fiume Dora Riparia, nell'area interessata dal progetto della SSE di Borgone di Susa.

Il tratto di linea oggetto di intervento, compreso tra le stazioni, di Bussoleno e di Avigliana escluse, fa parte della linea di valico che connette Modane/Susa al nodo di Torino. La linea è a traffico misto passeggeri e merci, a doppio binario ed elettrificata a 3 kV cc.

Il progetto di adeguamento è suddiviso in "lotti" da 1 a 8. Fra i vari interventi, il Lotto 5, oggetto del presente progetto, prevede la completa realizzazione di due nuove sottostazioni elettriche per l'alimentazione di linee ferroviarie a 3 kV in corrente continua, nelle località di Avigliana e Borgone. Esse, in relazione ai nuovi carichi previsti dal progetto di adeguamento sopracitato, andranno ad alimentare la tratta oggetto dell'intervento sostituendo l'esistente sottostazione sita in località Sant'Ambrogio, che sarà dismessa all'attivazione dei nuovi impianti.

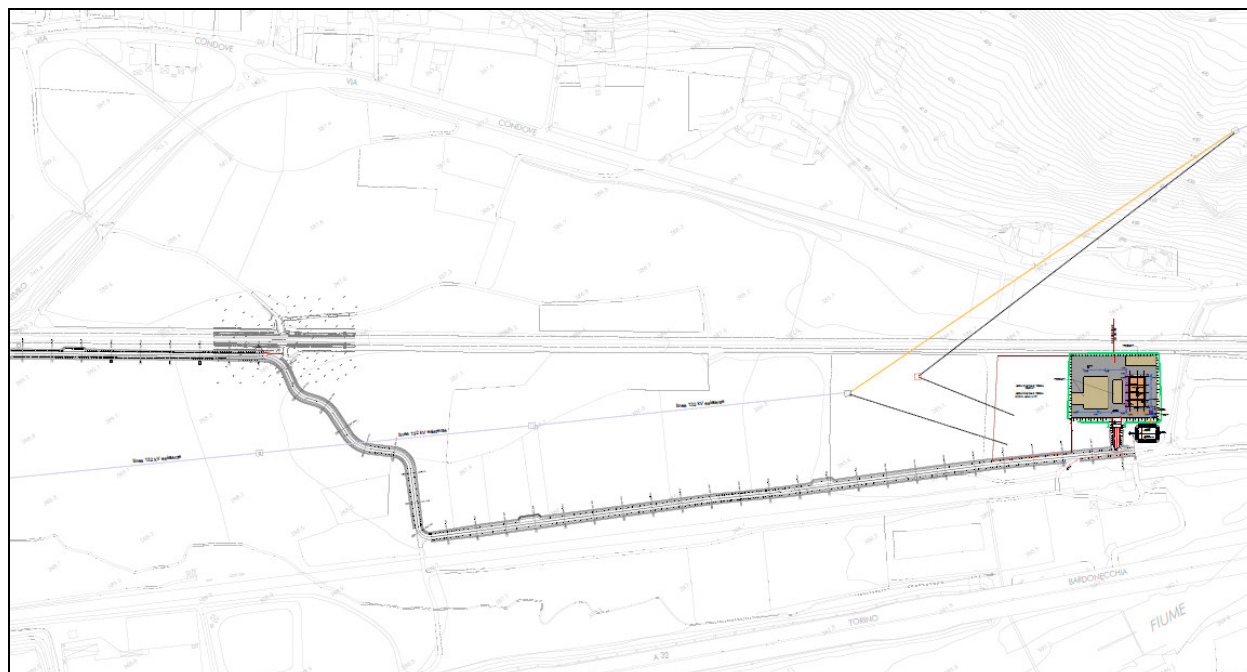


Figura 1 – Area di intervento in progetto.

L'area interessata dalla realizzazione della nuova SSE nel comune di Borgone di Susa ricade nella zona con probabilità di alluvione scarsa, L, per Tr maggiore di 500 anni.

Nello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" redatto dall'Autorità di bacino del Fiume Po non è stata prevista la riduzione dell'attuale campo di esondazione della piena cinquecentennale vista l'assenza di aree edificate nonché di infrastrutture presenti.

Al fine di rendere l'intervento della SSE di Borgone idraulicamente compatibile con le normative attualmente in vigore è stato indispensabile sviluppare un modello bidimensionale che consentisse di

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 6 di 46

definire la quota di calpestio del piazzale e di verificare che non vi fosse incremento di rischio dovuto all'intervento in oggetto.

Obiettivo del presente studio è:

- l'individuazione della quota di calpestio del piazzale della SSE;
- l'analisi di compatibilità idraulica dell'intero intervento.

Per le simulazioni idrauliche e per la definizione delle aree allagate, nonché dei livelli idrici e delle velocità, si è fatto uso del codice di calcolo Infoworks ICM, sviluppato dalla software house Innovyze.

Gli elaborati connessi allo studio sono:

TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE EMITTENTE	TIPO DOCUMENTO	OPERA DISCIPLINA	PROG. D'OPERA	TRATTO D'OPERA	PARTE D'OPERA SPEC.	PROGR. DOCUMENTO										
IDROLOGIA E IDRAULICA																				
STUDIO IDRAULICO FIUME DORA RIPARIA																				
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	N	T	0	I	0	5	D	2	6	R	I	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Aree di esondazione con indicazione delle velocità per Tr 200 anni (ante/post operam)	N	T	0	I	0	5	D	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Aree di esondazione con indicazione delle velocità per Tr 300 anni (ante/post operam) - progetto	N	T	0	I	0	5	D	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	2
Aree di esondazione con indicazione delle velocità per Tr 500 anni (ante/post operam)	N	T	0	I	0	5	D	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	3
Aree di esondazione con indicazione dei tiranti idrici per Tr 200 anni (ante/post operam)	N	T	0	I	0	5	D	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	4
Aree di esondazione con indicazione dei tiranti idrici per Tr 300 anni (ante/post operam) - progetto	N	T	0	I	0	5	D	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	5
Aree di esondazione con indicazione dei tiranti idrici per Tr 500 anni (ante/post operam)	N	T	0	I	0	5	D	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	6

Tabella 1 – Elaborati annessi.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NTOI	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 7 di 46

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale.
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.
- Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC).
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008".
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato.
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016).
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016).
- Piano di tutela delle acque (PTA), approvato con D.C.R. 117-10731 del 13 marzo 2007 dalla Regione Piemonte.
- Regolamento regionale n. 1/R del 20 febbraio 2006 – "Regolamento regionale recante: disciplina delle acque meteoriche di dilavamento e delle acque di lavaggio di aree esterne (L.r. n. 61 del 29 dicembre 2000).
- Deliberazione della Giunta Regionale 28 luglio 2009, n. 2-11830 Indirizzi per l'attuazione del PAI: sostituzione degli allegati 1 e 3 della DGR. 45-6656 del 15 luglio 2003 con gli allegati A e B. Allegato B - Criteri tecnici per la valutazione della pericolosità e del rischio lungo il reticolo idrografico.

Il progetto in essere considera inoltre:

- "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza del Po e del fiume Toce nel tratto da Masera alla Foce" effettuato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT01	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	8 di 46

3 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 8 distretti idrografici in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Figura 2 – Suddivisione territoriale in distretti.

Gli interventi in progetto ricadono nel bacino idrografico della Dora Riparia ricadente nell'area di intervento del Distretto idrografico Padano.

Nell'immagine a seguire i principali bacini idrografici gestiti, fino a febbraio 2017, dall'Autorità di Bacino del fiume Po, in rosso il bacino idrografico della Dora Riparia.



Figura 3 – Suddivisione territoriale Bacino del Fiume Po.

Il fiume Dora Riparia nasce dalla confluenza del Ripa con la Piccola Dora in comune di Cesana Torinese, il suo corso drena l'intera Valle di Susa prima di confluire in Po in comune di Torino. I principali

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NTOI	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 9 di 46

affluenti sono la Dora di Bardonecchia che confluisce in sinistra in comune di Oulx ed il torrente Cenischia che confluisce sempre in sinistra in corrispondenza dell'abitato di Susa.

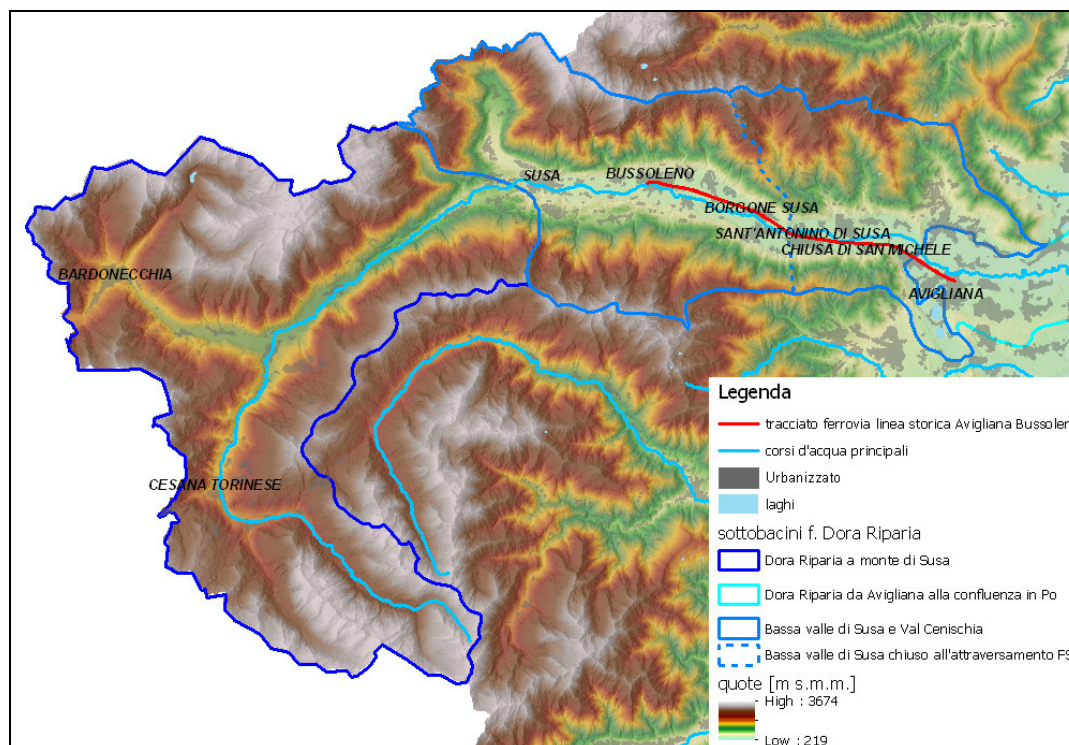


Figura 4 – Inquadramento del bacino della Dora Riparia.

I principali affluenti della Dora Riparia nel tratto tra Bussoleno e Avigliana sono il rio Gerardo, il Torrente Gravio di Villar Focchiardo che confluiscono in destra, mentre in sinistra si hanno il Rio Moletta, il Rio Prebech e il Rio Pissaglio. Nella Piana di Chiusa San Michele è presente un sistema di canali artificiali, regolato da scaricatori di piena, che svolgono la duplice funzione di canali irrigui e canali di drenaggio e scarico dei versanti.

3.1 Inquadramento dell'area di studio

In Figura 5 è riportata l'estensione del dominio di calcolo bidimensionale, delimitato in rosso, e del dominio di calcolo monodimensionale, in azzurro. L'area di studio occupa una superficie di circa 22 km² e si sviluppa in un tratto del fiume Dora Riparia di circa 17 km, con estensione compresa tra una sezione a valle (circa 450 m) del primo attraversamento autostradale (A32) sulla Dora Riparia in località San Giuliano fino ad una sezione poco più a valle del ponte della strada provinciale SP201 (circa 300 m) (Sant'Antonino di Susa, TO).

L'area interessata dagli interventi relativi alla sottostazione elettrica (SSE) in progetto, oggetto del presente studio, è caratterizzata da una superficie di circa 10000 m² e la sua ubicazione è consultabile in Figura 6.

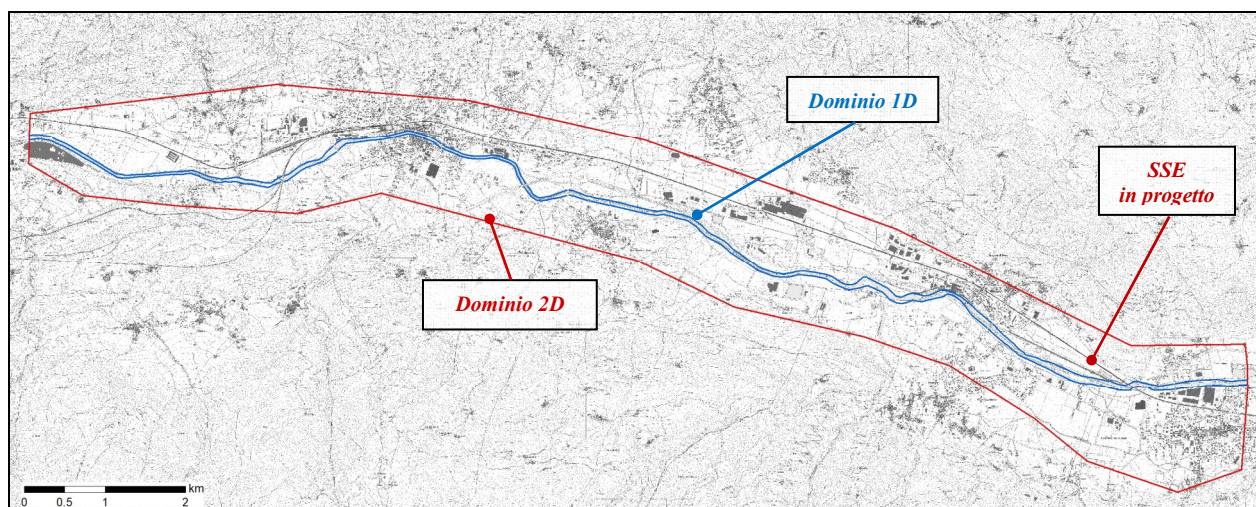


Figura 5 – Inquadramento dell'area di studio.

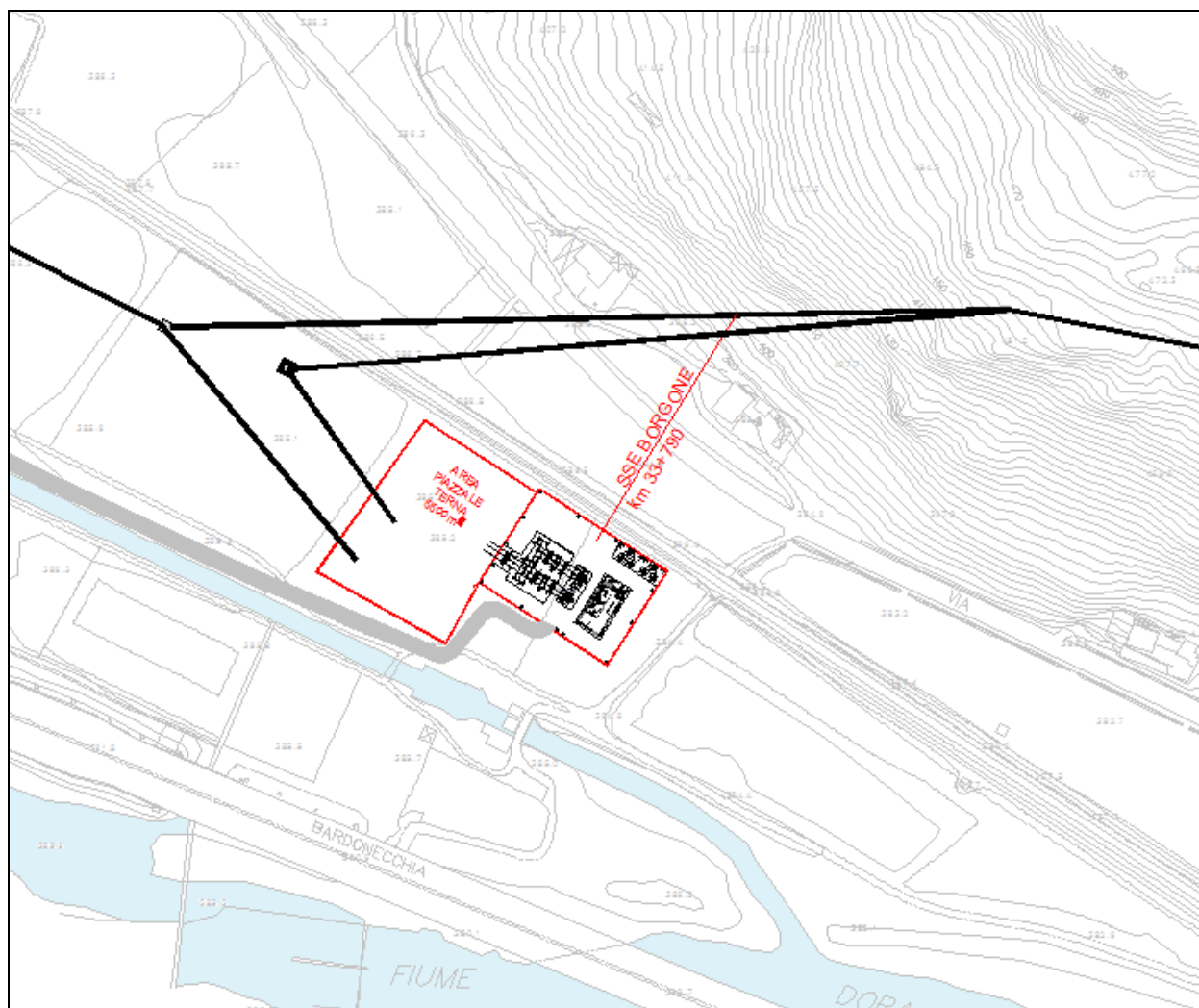


Figura 6 – Stralcio planimetrico della sottostazione elettrica in progetto.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NTOI	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 11 di 46

3.2 Studi pregressi nell'area di studio

Il tratto di Dora Riparia esaminato nel presente studio idraulico è stato precedentemente studiato nell'ambito del più ampio "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" (AdbPo, 2003).

In tale contesto è stato realizzato un modello idraulico monodimensionale costruito con il programma Infoworks RS in cui l'asta del Fiume Dora Riparia da Oulx alla confluenza in Po, suddivisa in sei tratti, è stata studiata allo scopo di individuare le aree allagate tramite la propagazione di idrogrammi di piena ad assegnata frequenza. Per ciascun tratto sono stati valutati gli idrogrammi in ingresso e in uscita per gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno di 2, 20, 200 e 500 anni, rappresentativi ciascuno del processo di formazione della piena nei rispettivi bacini di monte. Oltre alla valutazione dell'assetto della sicurezza idraulica tramite individuazione delle aree allagabili per eventi con tempo di ritorno di 20, 200 e 500 anni, tale studio risponde all'esigenza della valutazione di interventi di mitigazione locali sul rischio di esondazione.

In particolare, la zona oggetto del presente studio ricade nel Tratto IV, esteso da Susa con Cenischia (sezione 111-1P) a S. Antonino (sezione 83-1P).

Partendo dall'assetto idraulico della Dora Riparia definito nella sopracitata analisi concernente lo stato di fatto (Attività 3.2.2), nell'ambito del medesimo studio è stata effettuata la "Definizione dell'assetto di Progetto del Sistema Fluviale" (Attività 3.4.1, Elaborato 3.4.1./1/1R), volta a individuare le possibili configurazioni di progetto, a livello di intero sistema e per singole specificità, in funzione dell'obiettivo della riduzione del rischio idrogeologico ai livelli di compatibilità assunti dal PAI.

In tutti i casi in cui è stata riscontrata la necessità di ridurre l'attuale campo di esondazione della piena bicentenaria in corrispondenza di aree in deficit di sicurezza, il limite di allagamento è stato definito tramite il tracciamento della fascia B di progetto, in prossimità dei siti in cui verranno effettivamente realizzate opere di contenimento dei livelli. Lo studio ha previsto, oltre alla definizione delle possibili soluzioni di intervento, la verifica, mediante il calcolo del profilo di corrente, delle variazioni introdotte in relazione alla modalità di deflusso della piena permettendo di valutare, tratto per tratto, l'effetto prodotto dagli interventi previsti in termini di trasferimento verso valle delle onde di piena.

Nell'ambito di tale attività, il corso d'acqua è stato suddiviso in sei Tronchi omogenei, ogni tronco è stato delimitato mediante valutazione dei seguenti parametri significativi:

- ✓ la tipologia di formazione e propagazione delle piene (in sostanza si è ritenuto opportuno differenziare comportamenti di piena di tipo torrentizio da quelli più marcatamente di tipo fluviale);
- ✓ le caratteristiche morfologiche dell'alveo ordinario (si è ritenuto corretto dover differenziare tratti di corso d'acqua con alveo a fondo mobile tendenzialmente pluricursale, dai tratti con alveo monocursale inciso);
- ✓ lo stato di regimazione del corso d'acqua, con particolare riguardo alle caratteristiche di continuità, discontinuità o assenza di linee di difesa.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 12 di 46

3.3 Obiettivi dello studio idraulico

Il presente studio idraulico è stato svolto a supporto dell'attività progettuale riguardante la sottostazione elettrica in progetto in comune di Borgone.

In particolare, sono state svolte simulazioni ante e post operam che hanno permesso di ricavare con dettaglio le mappe di allagamento, le massime altezze d'acqua e velocità, nonché le modalità di propagazione della piena nella zona in esame per eventi associati a diversi tempi di ritorno, rispetto alla configurazione di progetto ritenuta ottimale.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT01	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	13 di 46

4 INQUADRAMENTO NORMATIVO DI SETTORE

I piani di settore di riferimento dell'area di intervento sono i seguenti:

- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, 1998);
- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI, 2001);
- "Progetto di Variante al PAI" (2006), che contiene interventi a carattere strutturale e non strutturale per l'asta della Dora Baltea compresa tra Aymavilles e la confluenza in Po, integrando quelli contenuti nel PSFF (1998), nel PAI (2001) e nel Piano Stralcio di Integrazione al PAI;
- Piano di Gestione Rischio Alluvione (2015).

4.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Nell'Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" del Titolo II delle Norme di attuazione del PAI vengono definiti i criteri per la delimitazione delle fasce fluviali:

- ✓ **Fascia di deflusso della piena (Fascia A).** Si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:
 - fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);
 - limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);
- ✓ **Fascia di esondazione (Fascia B).** Si assume come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.
 - La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:
 - le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
 - le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.
- ✓ **Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C).** Si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.

In Figura 7 si riporta uno stralcio planimetrico delle aree a diversa probabilità di esondazione nell'area in esame, definite nell'ambito del PAI, aggiornate al 2014. Si precisa che la perimetrazione già recepisce gli interventi programmati con la predisposizione della fascia B di progetto.

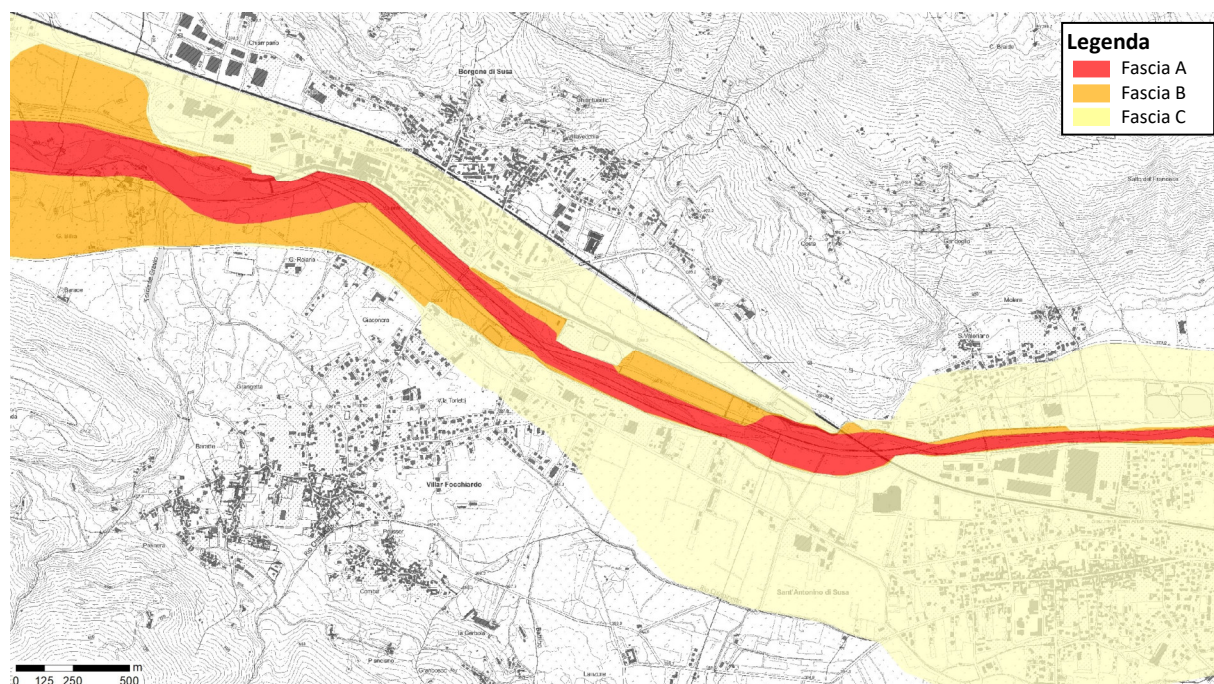


Figura 7 – Aree di esondazione e aree di pericolosità del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (2014).

4.2 Piano di Gestione Rischio Alluvioni

Il 22 dicembre 2000 è stata adottata la Direttiva 2000/60/CE per la tutela delle acque, recepita in Italia attraverso il d.lgs. n.152 del 3 aprile 2006. L'articolo n. 64 prevede la ripartizione del territorio nazionale in 8 distretti idrografici, ciascuno dei quali dotato di piano di gestione, la cui competenza spetta alla corrispondente Autorità di distretto idrografico.

Le norme comunitarie prevedono l'obbligo di predisporre per ogni distretto, a partire dal quadro della pericolosità e del rischio di alluvioni definito con l'attività di mappatura, uno o più Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (art. 7 D.Lgs. 49/2010 e art. 7 Dir. 2007/60/CE), contenenti le misure necessarie per raggiungere l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali nei confronti, della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali. In particolare, il PGRA dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

Il territorio oggetto di intervento ricade nell'area di competenza dal **Distretto Idrografico Padano**.

La rilevante estensione del bacino del fiume Po e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti:

- ✓ Reticolo principale (RP);
- ✓ Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- ✓ Reticolo secondario di pianura (RSP);

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 15 di 46

- ✓ Aree costiere marine (ACM);
- ✓ Aree costiere lacuali (ACL).

LE MAPPE DELLA PERICOLOSITA'

Le mappe delle aree allagabili rappresentano l'estensione massima degli allagamenti conseguenti al verificarsi degli scenari di evento riconducibili ad eventi di elevata, media e scarsa probabilità di accadimento.

Le perimetrazioni riguardano tutti e tre gli scenari di piena previsti dalla Direttiva ed individuano le aree interessate da fenomeni di lento e progressivo allagamento. Sono state delimitate utilizzando la regolarizzazione statica dei livelli storicamente registrati alle principali stazioni di misura e il DTM.

Gli ambiti e i soggetti attuatori sono:

AMBITO TERRITORIALE	SOGGETTO ATTUATORE
Reticolo idrografico principale (RP)	Autorità di bacino del fiume Po
Reticolo secondario collinare e montano (RSCM)	Regioni
Reticolo secondario di pianura (RSP)	Regioni con il supporto di URBIM e dei Consorzi di bonifica
Aree costiere lacuali (ACL)	Regioni con il supporto di ARPA e dei Consorzi di regolazione dei laghi
Aree costiere marine (ACM)	Regioni

Gli scenari di inondazione invece sono:

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)				
Scenario	TR (anni)		RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 (frequente)	P3 elevata	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 (poco frequente)	P2 media	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Le condizioni di pericolosità nell'area di interesse sono riportate negli elaborati grafici annessi, la figura seguente rappresenta un estratto della carta della pericolosità da alluvione dedotta dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

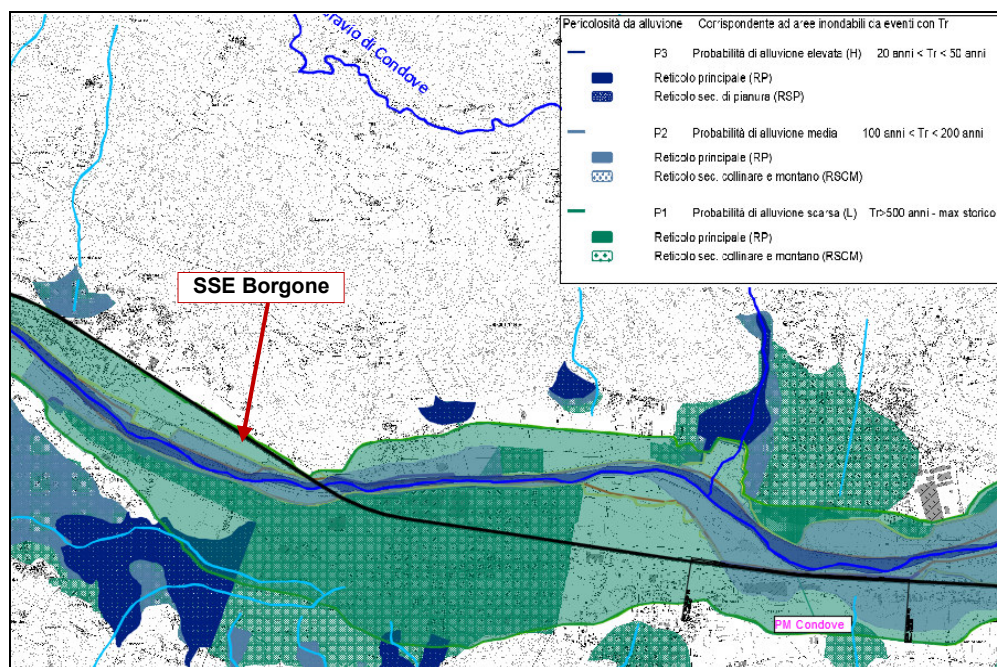


Figura 8 – Stralcio delle aree di esondazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto idrografico Padano

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 17 di 46

5 INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Le portate di picco per differenti tempi di ritorno, assunte per le elaborazioni condotte nell'ambito del presente studio, sono state ricavate dalla documentazione dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po; del fiume Dora Riparia nel tratto da Masera alla foce" (AdbPo, 2003). L'analisi della Relazione metodologica (Prodotto 3.2.2/1) nonché dei dati resi disponibili dall'Autorità stessa ha permesso l'individuazione dell'idrogramma impiegato nella modellazione del Tratto V (S. Antonino – Avigliana) come condizione al contorno appropriata per l'implementazione del presente modello, essendo la sezione di riferimento per la valutazione dell'idrogramma stesso prossima alla sezione di chiusura del modello oggetto del presente studio (AdbPo: sezione 83-1P, modello InfoWorks ICM: sezione 80. Distanza: 1.5 km circa).

L'idrogramma per l'evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 300 anni è stato ricavato per interpolazione dai dati a disposizione, ovvero gli idrogrammi per TR 100, 200 e 500 anni.

In Figura 9 si riportano gli idrogrammi utilizzati come condizione a contorno di monte del modello.

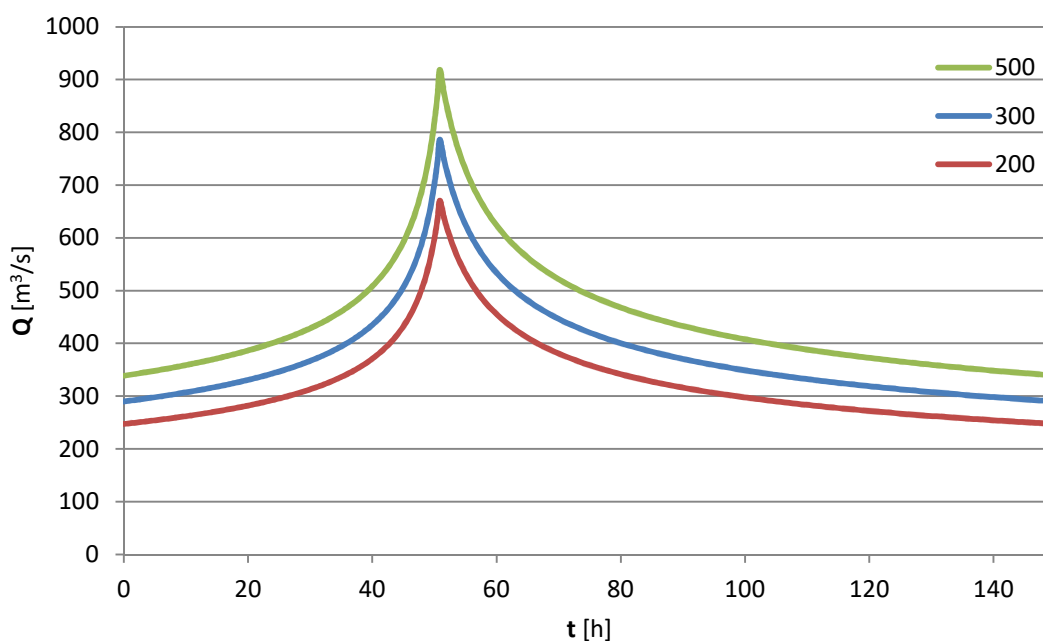


Figura 9 – Idrogramma per l'evento TR 200 anni.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 18 di 46

6 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

6.1 Il modello di calcolo

L'analisi idraulica è stata svolta implementando il modello matematico InfoWorks ICM sviluppato dall'azienda inglese Innowyze (ex HR Wallingford software) (Figura 10). Una descrizione del modello è disponibile in Appendice A.

InfoWorks ICM è un recente e completo applicativo di simulazione idraulica, nato per consentire la modellazione numerica integrata di reti di drenaggio costituite da alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane. All'interno di un'unica interfaccia utente, si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, ambiti in cui il moto avviene con andamento bidimensionale, reti di drenaggio chiuse e un numero elevato di tipologie di manufatti presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena, ecc.).

Le aste fluviali possono essere liberamente rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) o con uno schema misto (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

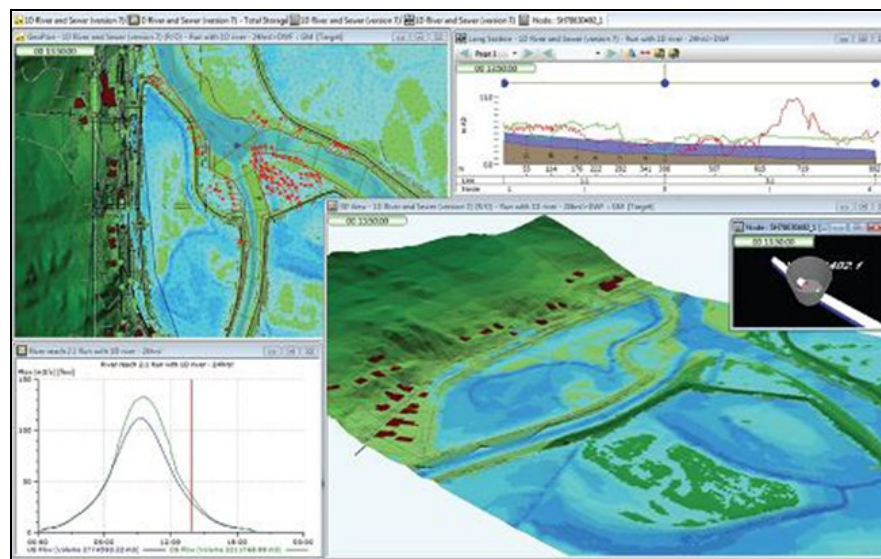


Figura 10 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM

La scelta di un dominio mono-bidimensionale permette una maggiore facilità di confronto con il modello monodimensionale svolto in occasione dello studio dell'Autorità di Bacino per il Dora Riparia. Allo stesso tempo, un modello mono-bidimensionale consente una analisi degli allagamenti nelle zone perfluviali più approfondita per tutti gli eventi caratterizzati di esondazioni.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 19 di 46

6.1.1 Geometria di calcolo

Per rappresentare l'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo bidimensionale e verificare l'andamento altimetrico delle sezioni del dominio monodimensionale è stato reperito il rilievo LiDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente (2008-2010), caratterizzato da risoluzione pari a 1 m (Figura 11).

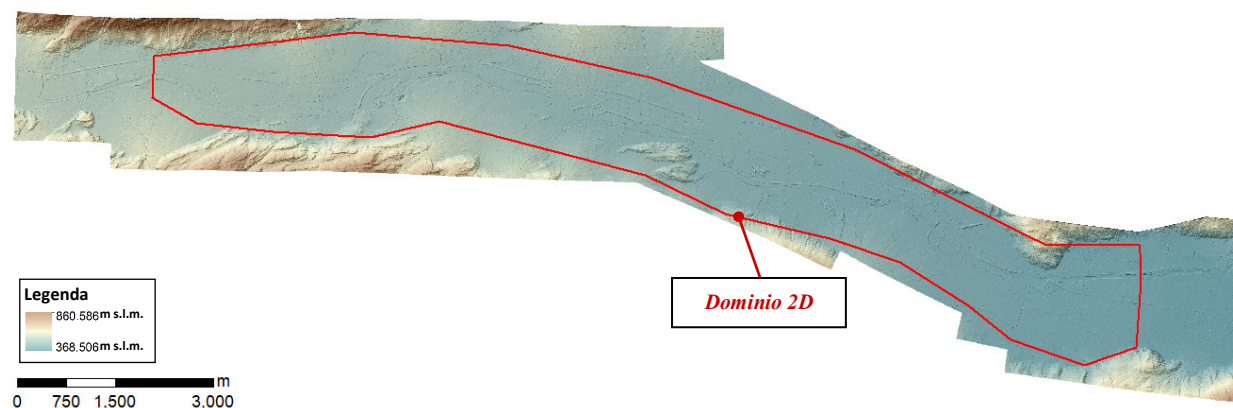


Figura 11 – Modello del terreno.

La **geometria di calcolo monodimensionale**, corrispondente all'alveo del fiume Dora Riparia, è stata costruita mediante l'utilizzo delle sezioni trasversali del corso d'acqua rilevate dall'AdbPo in occasione dello studio monodimensionale a cui si è fatto precedentemente riferimento (Paragrafo 3.2). In particolare, sono state impiegate le sezioni comprese tra la sezione 105 e la sezione 80.

Il confronto delle sezioni PAI con le corrispettive sezioni ricavate da DTM ha permesso di riscontrare una sovrastima delle quote di fondo alveo in quest'ultime implicabile alla presenza di portata in alveo al momento del rilievo. I risultati di tale analisi batimetrica sono tali da giustificare la scelta di impiego delle sezioni PAI nell'implementazione del modello, in modo da garantire una più affidabile rappresentazione del corso d'acqua.

A titolo esemplificativo, si riporta in Figura 12 il confronto tra il dato ricavato dalle schede PAI (in grigio) e dalla sezione LiDAR corrispondente (in verde) per la sezione 82.

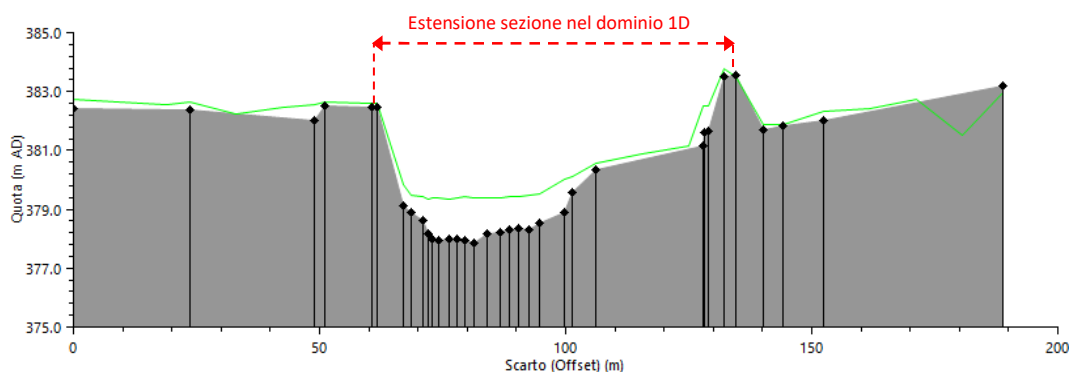


Figura 12 – Confronto sezione 82 come da schede PAI (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde). In rosso è indicata l'estensione della sezione nel modello InfoWorks

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	20 di 46

Il dominio 1D del modello InfoWorks implementato è limitato alla zona di alveo, motivo per cui le sezioni PAI sono state impiegate nel tratto di sola pertinenza fluviale (indicato in rosso in Figura 12). Tali sezioni sono state integrate con sezioni interpolate ad intervalli di 150 m circa per affinare la rappresentazione del corso d'acqua.

Il collegamento tra la zona di modellazione monodimensionale e la zona di modellazione bidimensionale avviene mediante la definizione delle linee di sponda con relativa altimetria, le quali permettono lo scambio di portata tra l'alveo e la zona di espansione golenale o, più in generale, di allagamento. L'andamento altimetrico di tali sezioni è stato verificato per assicurare coerenza con il dato LiDAR, nonché con le corrispondenti quote da rilievo topografico PAI.

La **geometria di calcolo bidimensionale** è definita da una *mesh* ad elementi triangolari le cui caratteristiche plano-altimetriche sono determinate sulla base del modello digitale del terreno e degli elementi antropici presenti (rilevati, edifici).

In particolare, con riferimento al caso in esame, la *mesh* è stata ottenuta mediante una funzionalità del programma che, sulla base di parametri impostati dall'utente e delle variazioni morfologiche-altimetriche del terreno, permette di ottimizzare la *mesh* stessa al fine di massimizzare l'accuratezza di calcolo, minimizzando nel contempo la durata delle simulazioni. Tale funzionalità permette di generare elementi di calcolo più grandi dove le aree si presentano più "piatte" ed elementi più piccoli quando si hanno variazioni di pendenza. Nel caso in esame, sono tali elementi sono caratterizzati da area variabile compresa tra i 25 m² e i 10,000 m² (Figura 13).

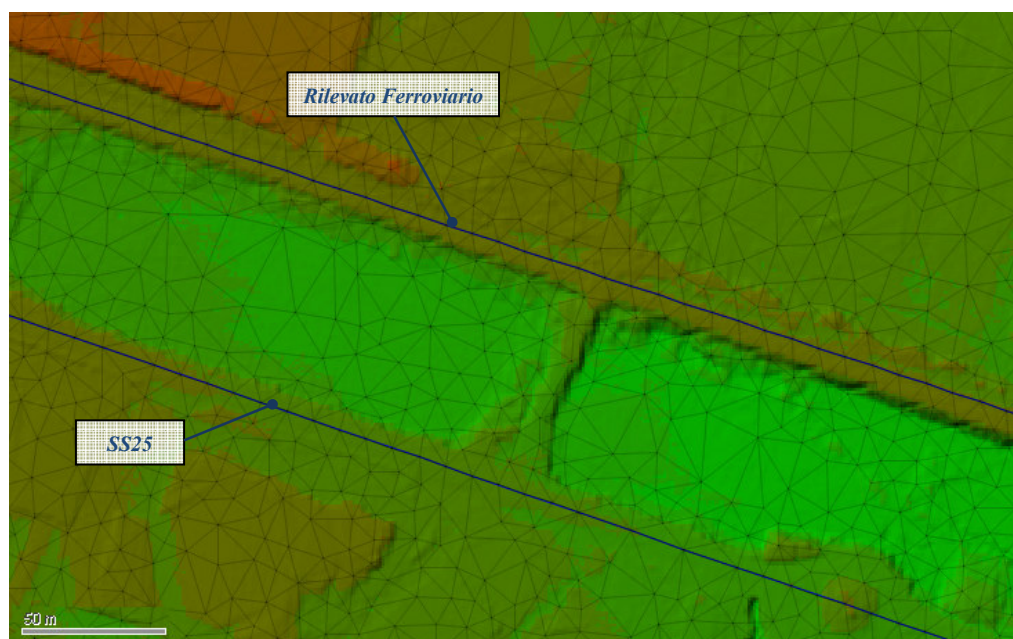


Figura 13 – Particolare della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	21 di 46

La procedura di creazione della *mesh* di calcolo del dominio bidimensionale ha tenuto conto di definire mediante opportuni elementi, quali *breakline*, elementi lineari quotati, ecc., la presenza di rilevati e di elementi morfologici significativi per la propagazione della piena nelle aree allagate.

In particolare, sono stati inseriti nel modello attraverso elementi denominati *base line structure* (BLS) i seguenti elementi antropici:

- il rilevato ferroviario;
- i principali rilevati stradali (SS25, SP24);
- i rilevati arginali in sinistra e destra idraulica tra le sezioni 85-1P e 81;
- i principali rilevati e argini presenti nel dominio bidimensionale rilevanti per la propagazione della piena.

Nella seguente F si riporta l'ubicazione planimetrica delle *base line structure* implementate nel dominio di calcolo bidimensionale.

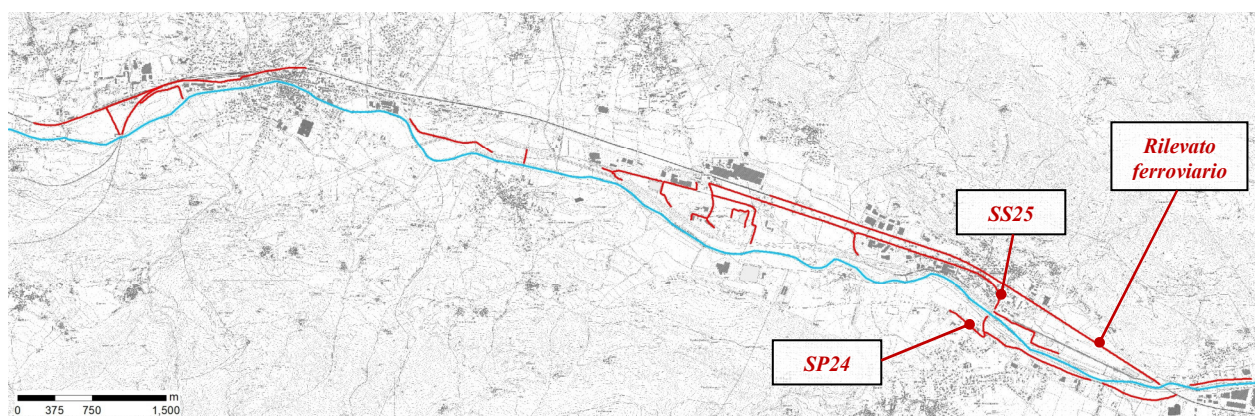


Figura 14 – Elementi quotati inseriti nel dominio di calcolo bidimensionale.

Ai fini di una corretta valutazione delle dinamiche di diffusione della portata esondata nel dominio di calcolo bidimensionale, è stata dettagliata anche la rappresentazione di canali del reticolo idrografico minore; in particolare è stata posta particolare attenzione al canale di derivazione ad uso idroelettrico presente in sinistra idraulica del fiume Dora Riparia in prossimità dell'area di intervento (Figura 15). Sono stati quindi utilizzati elementi di calcolo appositi, quali zone di magliatura, che hanno permesso di rappresentare con maggior grado di dettaglio l'andamento plano-altimetrico del canale, mediante celle di calcolo di area variabile compresa tra i 0.5 m² e i 9 m². Attraverso tali zone di magliatura sono state inoltre apportate correzioni delle quote del DTM in tratti localizzati ove fossero attestato quote di fondo del canale superiori a quanto riportato nei dati topografici delle sezioni di rilievo dell'AdB. Si fa presente che, ai fini del calcolo, non sono state considerate eventuali opere di regolazione lungo tale canale.

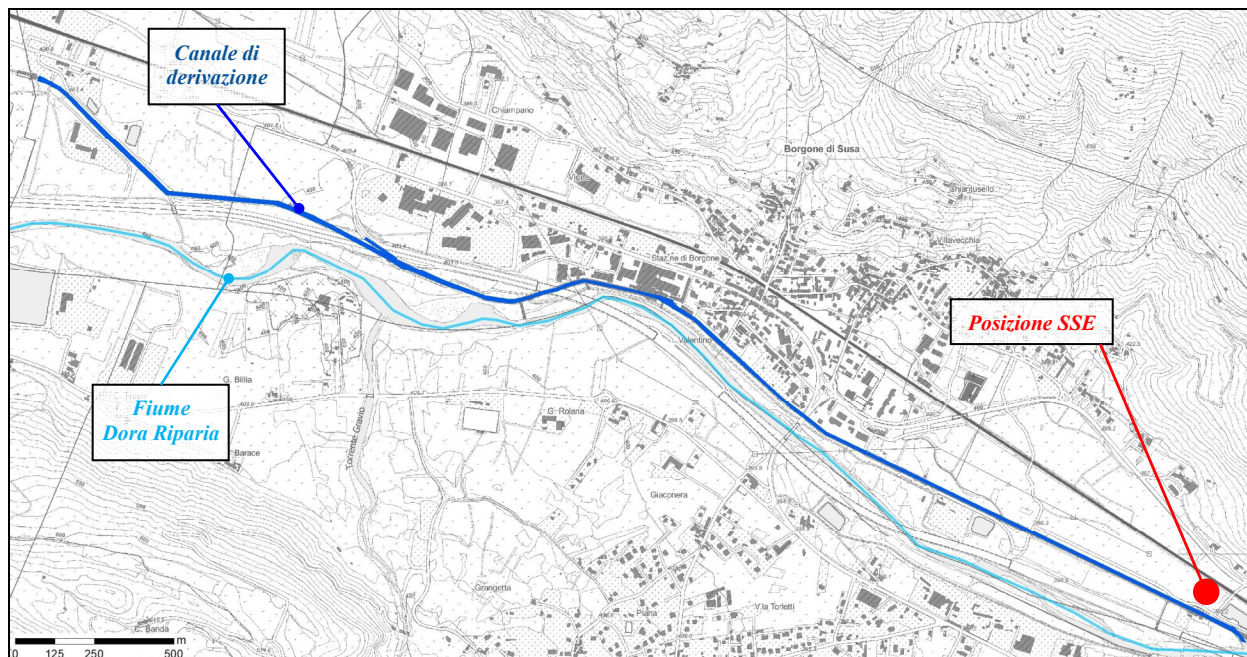


Figura 15 – Zona di magliatura in blu che dettaglia il canale di derivazione in sinistra idraulica.

6.1.2 Manufatti

Nel modello idraulico sono stati considerati e modellati i principali manufatti presenti nel dominio di calcolo, quali ponti, tombini, sottopassi, ecc.

All'interno del modello monodimensionale sono stati inseriti, mediante l'utilizzo di elementi 1D, gli attraversamenti presenti nel tratto di studio del fiume Dora Riparia. La geometria degli stessi è stata ricavata dalle sezioni topografiche PAI.

Nello specifico, sono stati inseriti, da monte verso valle, gli attraversamenti di seguito riportati secondo la dicitura PAI:

- Ponte 101-1P;
- Ponte 100-1P e 100-2P;
- Ponte 99-1P;
- Ponte 97-1P;
- Ponte 96-2P;
- Ponte 96-1P;
- Ponte 94-1P;
- Ponte 93-2P;
- Ponte 93-1P;
- Ponte 92-1P;
- Ponte 89-1P;
- Ponte 85-1P;

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT01	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	23 di 46

- Ponte 84-1P;
- Ponte 83-1P;
- Ponte 82-2P;
- Ponte 82-1P;
- Ponte 81-2P;
- Ponte 81-1P.

Per alcuni attraversamenti, data la contiguità di alcuni di essi, l'angolo di approccio degli stessi rispetto al corso d'acqua e le limitazioni intrinseche della modellazione monodimensionale dei ponti nel modello InfoWorks, sono state effettuate alcune scelte modellistiche per permetterne l'inserimento nella geometria di calcolo, al fine di simulare nel modo più corretto il comportamento idraulico. Nello specifico, data la prossimità dei ponti 100-1P e 100-2P, tali attraversamenti sono stati inseriti come un singolo elemento geometrico, caratterizzato dalle quote di intradosso e aree di apertura equivalente minori dei ponti; il ponte 93-2P, invece, è stato inserito nella geometria di calcolo mediante sezione e aperture equivalenti valutate su un piano ortogonale all'asse fluviale. Gli attraversamenti 81-2P, 82-2P ed 84-1P del viadotto autostradale A32, sono stati modellati rispetto alle pile degli stessi, avendo avuto cura di verificare preliminarmente che la quota di intradosso non fosse interessata dai massimi livelli instauratisi in alveo per l'evento di riferimento.

In Figura 16 si riporta a titolo esemplificativo l'elemento monodimensionale, inserito nel modello, che rappresenta la geometria del ponte 99-1P.

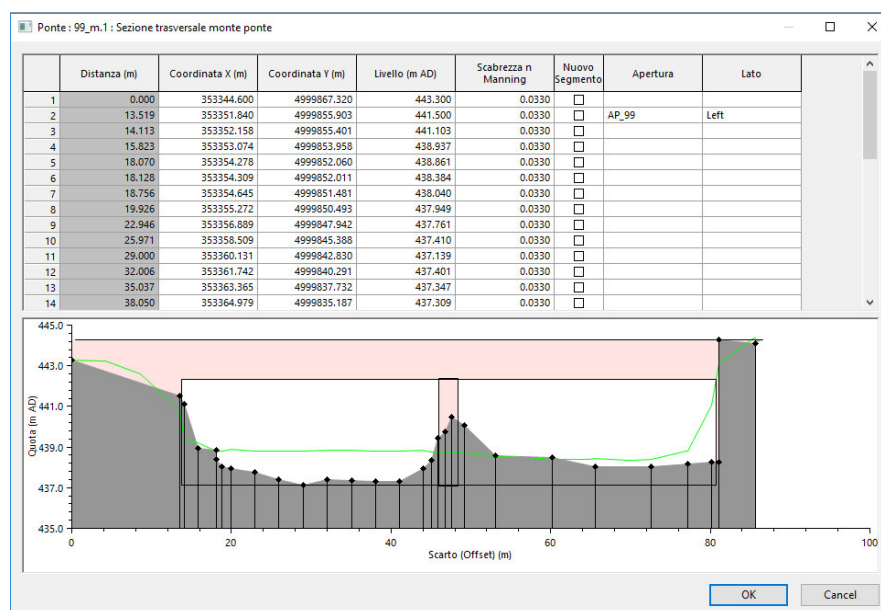


Figura 16 – Schermata di visualizzazione in InfoWorks del ponte 99-1P.

Sono stati, inoltre, modellati nel dominio di calcolo bidimensionale gli attraversamenti minori (tombini) presenti lungo il rilevato autostradale (A32); dimensioni e collocazione di tali elementi sono state dedotte

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	24 di 46

da immagini satellitari e rilievo LiDAR a disposizione. L'ubicazione degli attraversamenti sopracitati è consultabile in Figura 17.

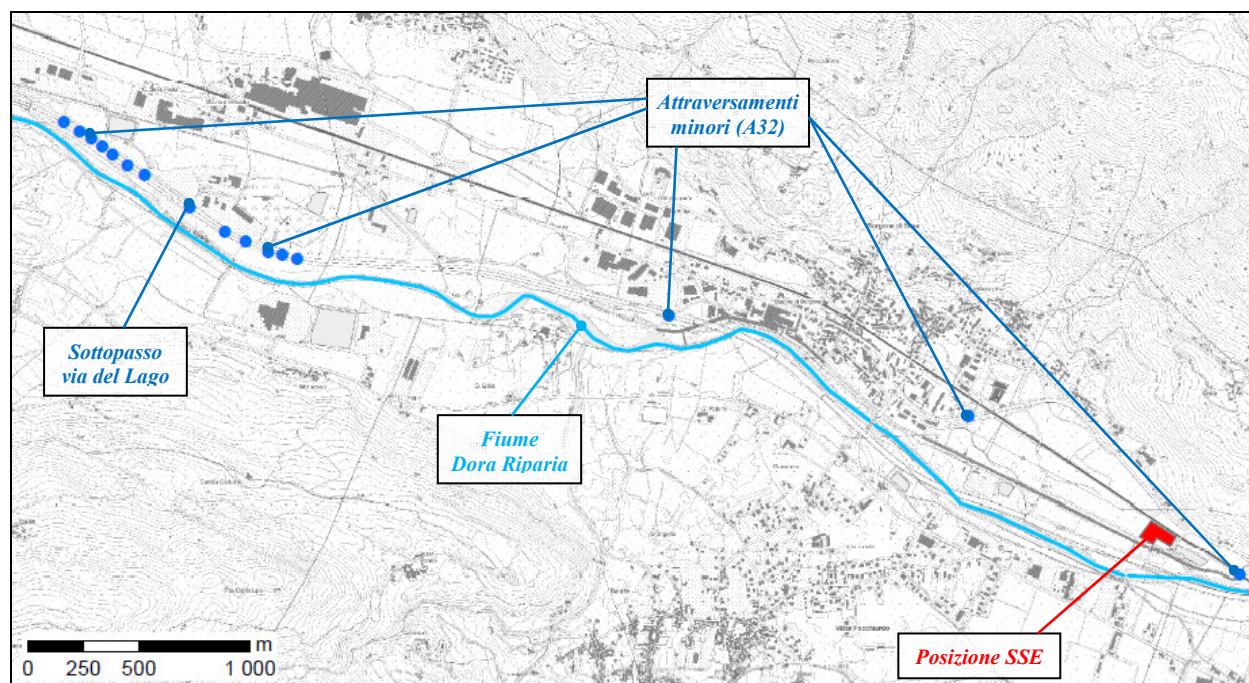


Figura 17 – Ubicazione degli attraversamenti minori modellati, evidenziati in blu.

6.2 Scabrezze

Le caratteristiche di scabrezza del dominio 1D e 2D sono state definite distinguendo valori del coefficiente di Manning (n) adeguati rispetto ai diversi usi del suolo, in accordo con i valori di scabrezza assunti nello studio mono-bidimensionale svolto dall'Autorità di Bacino.

In particolare, le zone di scabrezza individuate sono:

- dominio 1D: alveo irregolare caratterizzato da moderata presenza di vegetazione (Tabella 2):
 - Sezioni comprese tra 105 e 99-1P: $n = 0.043 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$;
 - Sezioni comprese tra 99-1P e 96-1P: $n = 0.040 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$;
 - Sezioni comprese tra 96-1P e 83-1P: $n = 0.043 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$;
 - Sezioni comprese tra 83-1P – 80: $n = 0.037 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

Tabella 2 – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d'acqua.

Descrizione	Manning n [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]
alvei con fondo compatto, senza irregolarità	0.022÷0.028
alvei regolari con vegetazione erbacea	0.028÷0.033
alvei con ciottoli e irregolarità modeste	0.033÷0.040
alvei fortemente irregolari	0.040÷0.066

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NTOI	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 25 di 46

- dominio 2D: zona caratterizzata da predominanza di uso del suolo di tipo seminativo e insediamenti residenziali isolati, $n = 0.045 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Tabella 3).

Tabella 3 – Valori dei coefficienti di scabrezza per diverse coperture del suolo.

Copertura del suolo	Manning n [$\text{m}^{-1/3}\text{s}$]
Aree boscate	0.06
Tessuto residenziale sparso o isolato	0.07
Insediamenti industriali, artigianali, commerciali e tessuto residenziale continuo	0.10
Prati, parchi giardini e seminativi	0.04
Reti stradali	0.02

6.3 Scenari simulati

Lo studio idraulico del Fiume Dora Riparia ha riguardato lo stato di fatto (ante operam) e lo scenario di progetto (post operam), in cui la perimetrazione del piazzale del SSE in progetto è stato modellato come un poligono poroso non permeabile (Figura 18).

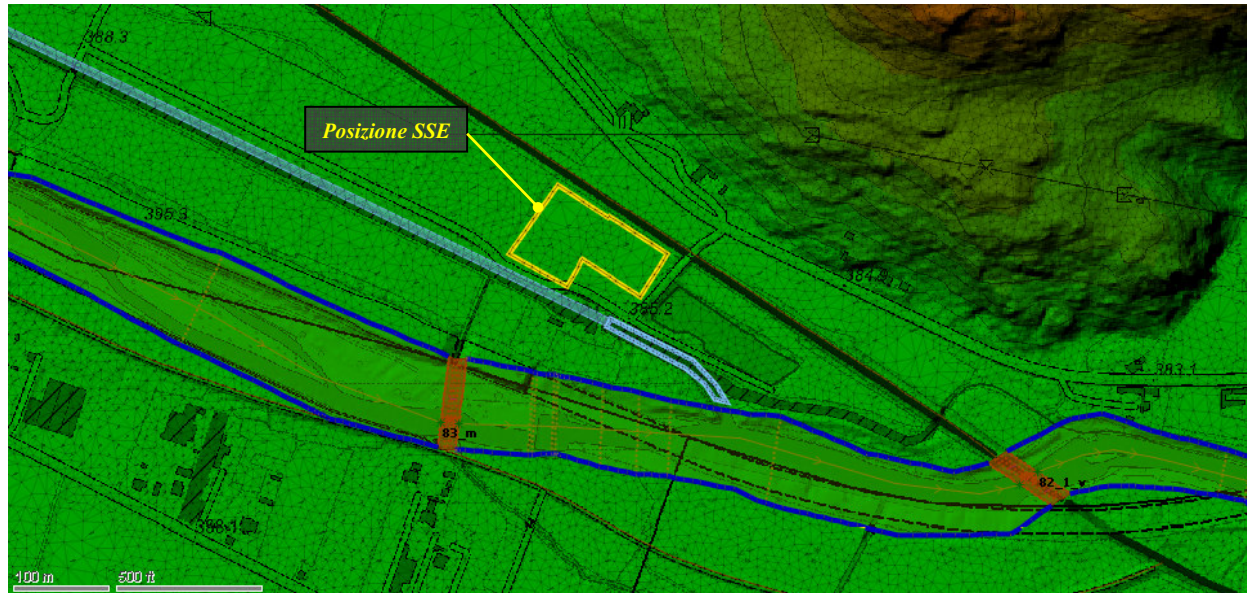


Figura 18 – Poligono impermeabile che descrive la SSE in progetto nella zona 2D

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 26 di 46

7 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i principali risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche, in termini di massimi livelli idrici, per lo scenario ante operam e per lo scenario post operam analizzato.

7.1 Ante operam

I risultati dello scenario ante operam hanno permesso di riscontrare la presenza di allagamenti di entità variabile lungo il tratto di studio per tutti i tempi di ritorno analizzati.

In particolare, per eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni (Figura 19 e Figura 20 rispettivamente) gli allagamenti nell'area di interesse risultano dovuti principalmente ad insufficienze localizzate del canale di derivazione nel tratto subito a monte della sua restituzione nella Dora Riparia.

Nell'ipotesi di piena cinquecentenaria (Figura 21) gli allagamenti risultano peggiori perché determinati anche dalla propagazione della portata esondata nel tratto più a monte. La portata esondata si propaga in direzione nord-ovest – sud-est, causando estesi allagamenti in tutto il tratto in sinistra a valle dell'attraversamento della SS25, tra il canale di derivazione e la ferrovia.

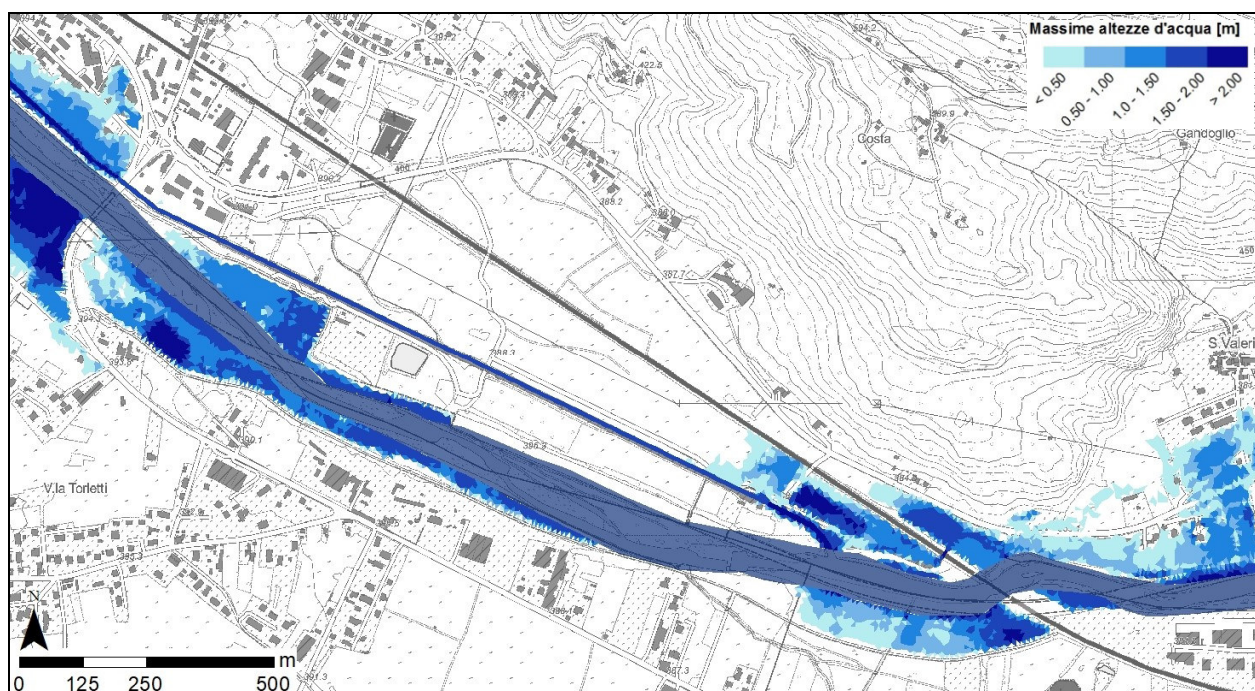


Figura 19 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR200

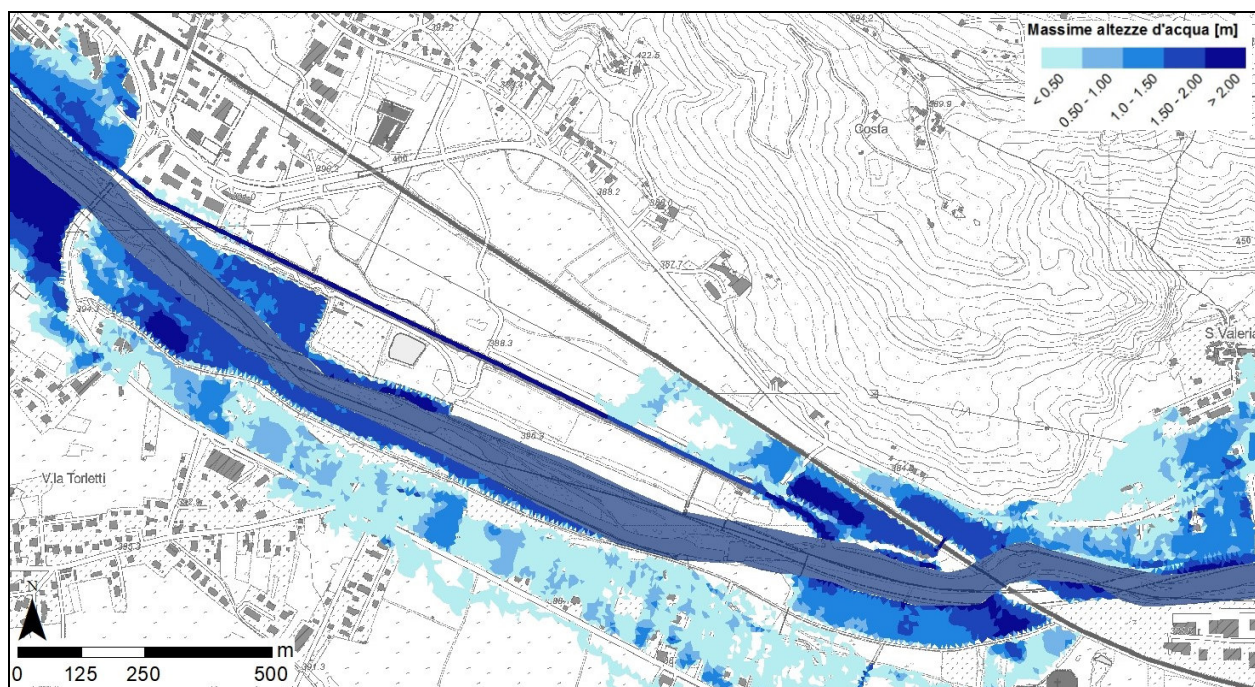


Figura 20 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR300

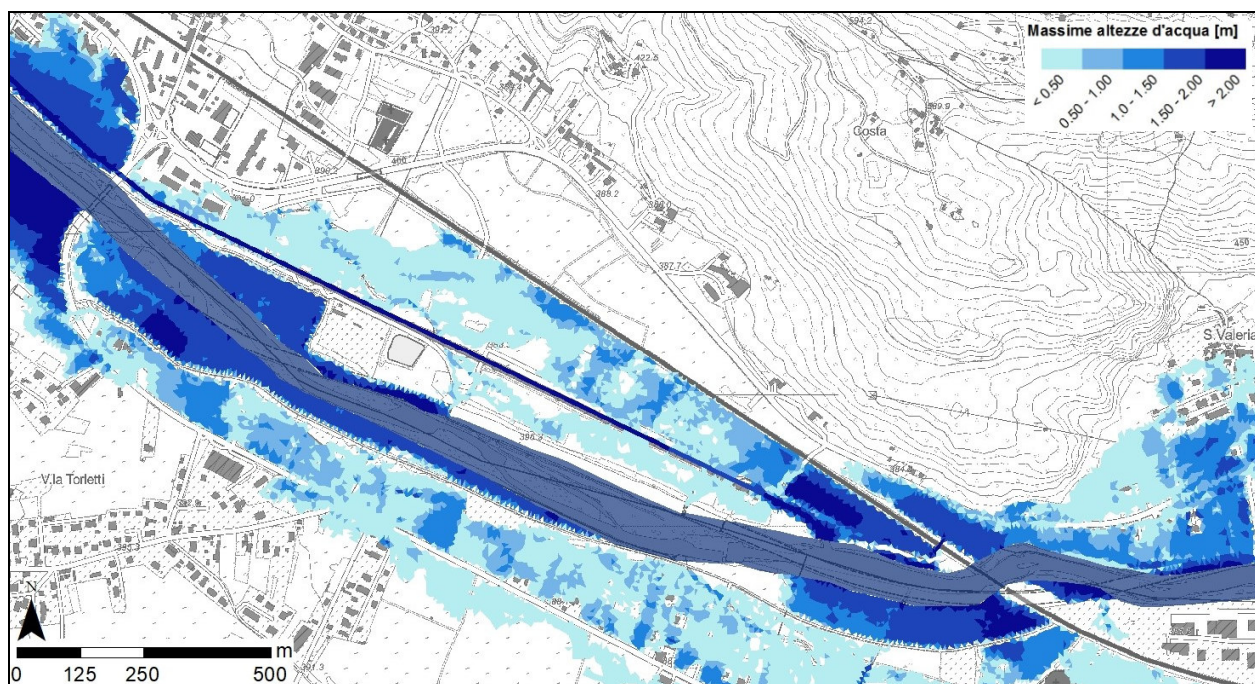


Figura 21 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR500

Si sottolinea che, nell'area di esondazione oggetto di interesse, ovvero entro il perimetro della SSE in progetto, si instaurano tiranti massimi pari a 0.78 m per TR 200, 0.89 m per TR 300 e 1.06 m per TR 500. In particolare, in Tabella 4 si riporta a titolo esemplificativo una selezione di risultati in termini di massime altezze d'acqua e massima quota del pelo libero per alcuni punti di interesse. L'ubicazione di tali punti è consultabile in Figura 22.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	28 di 46

Tabella 4 – Analisi dei risultati: stato di fatto.

Punto di controllo (vedi Figura 22)	TR 200		TR 300		TR 500	
	Massimo tirante [m]	Massima quota [m s.m.m.]	Massimo tirante [m]	Massima quota [m s.m.m.]	Massimo tirante [m]	Massima quota [m s.m.m.]
A	-	-	0.23	385.69	0.45	385.91
B	0.13	385.74	0.24	385.85	0.35	385.96
C	0.41	385.55	0.53	385.66	0.70	385.83
D	0.34	385.54	0.45	385.65	0.60	385.81
E	0.39	385.55	0.50	385.66	0.67	385.83

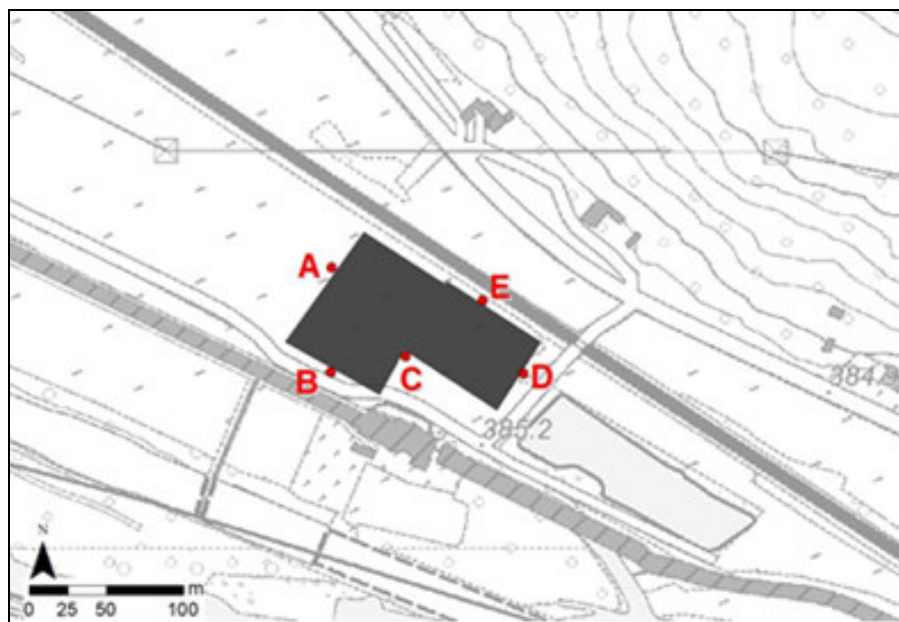


Figura 22 – Ubicazione dei punti di controllo.

7.2 Post operam

I risultati dello scenario post operam hanno permesso di constatare l'entità e l'estensione degli allagamenti nell'area oggetto di studio nell'area dove è prevista la SSE in progetto.

In particolare, per eventi duecentennali la SSE risulta lambita esclusivamente a sud – sud-ovest dalla portata esondata per insufficienza del canale di derivazione (Figura 23). Per tempi di ritorno superiori (TR 300 in Figura 25 e TR 500 in Figura 27), invece, le esondazioni sono tali da determinare allagamenti lungo tutto il perimetro della SSE stessa, secondo una dinamica di propagazione analoga a quella rilevata per lo stato di fatto. Anche per lo scenario post operam, le esondazioni del canale di derivazione a sud della SSE risultano aggravate dalla propagazione della portata esondata a monte.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 29 di 46

Un dettaglio grafico relativo alla dinamica di allagamento è disponibile in Figura 24 per TR 200 anni, Figura 26 per TR 300 anni e Figura 28 per TR 500 anni.

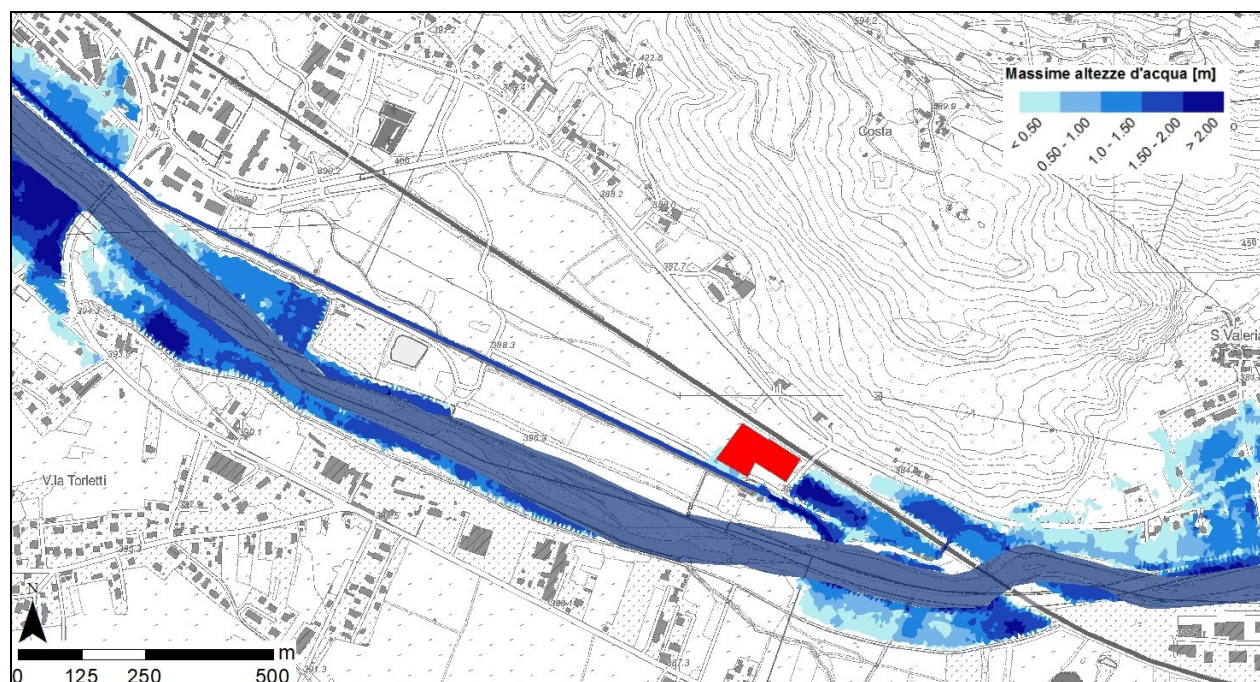


Figura 23 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200

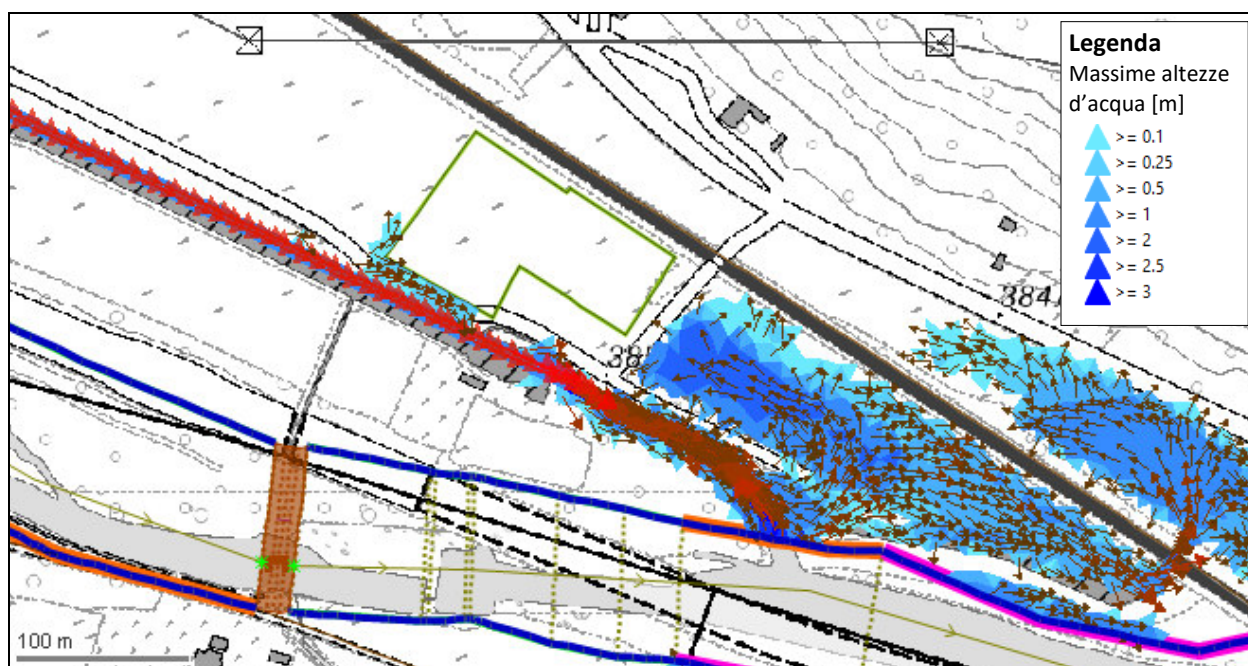


Figura 24 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR200 – dettaglio

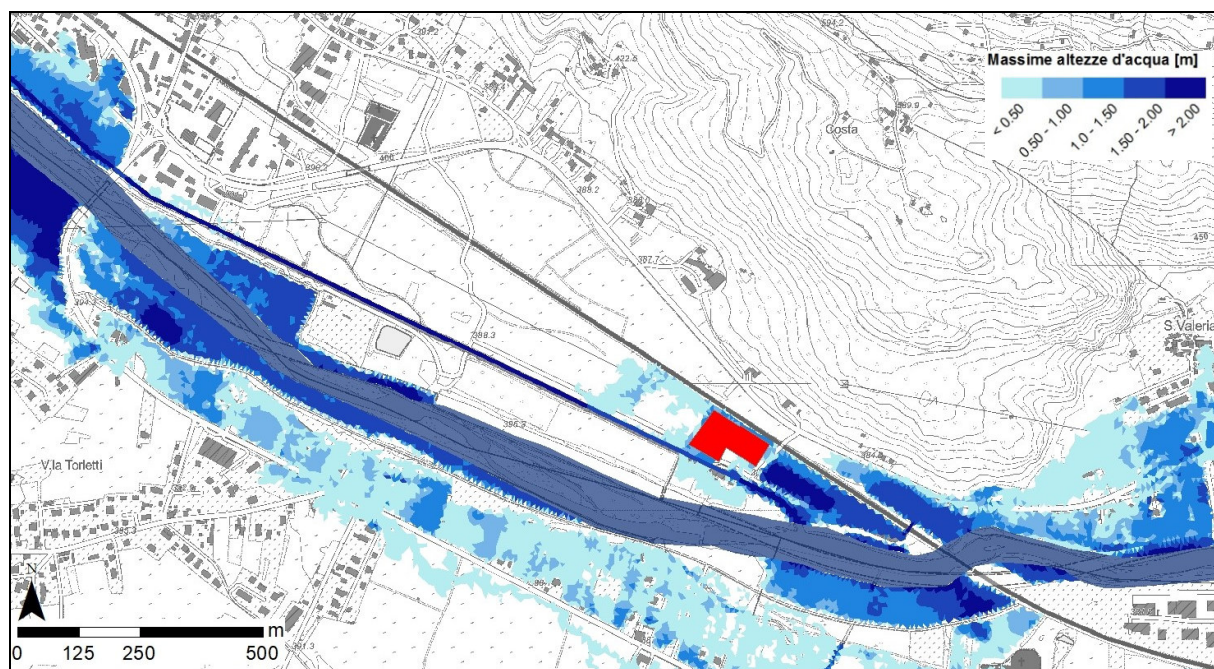


Figura 25 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR300

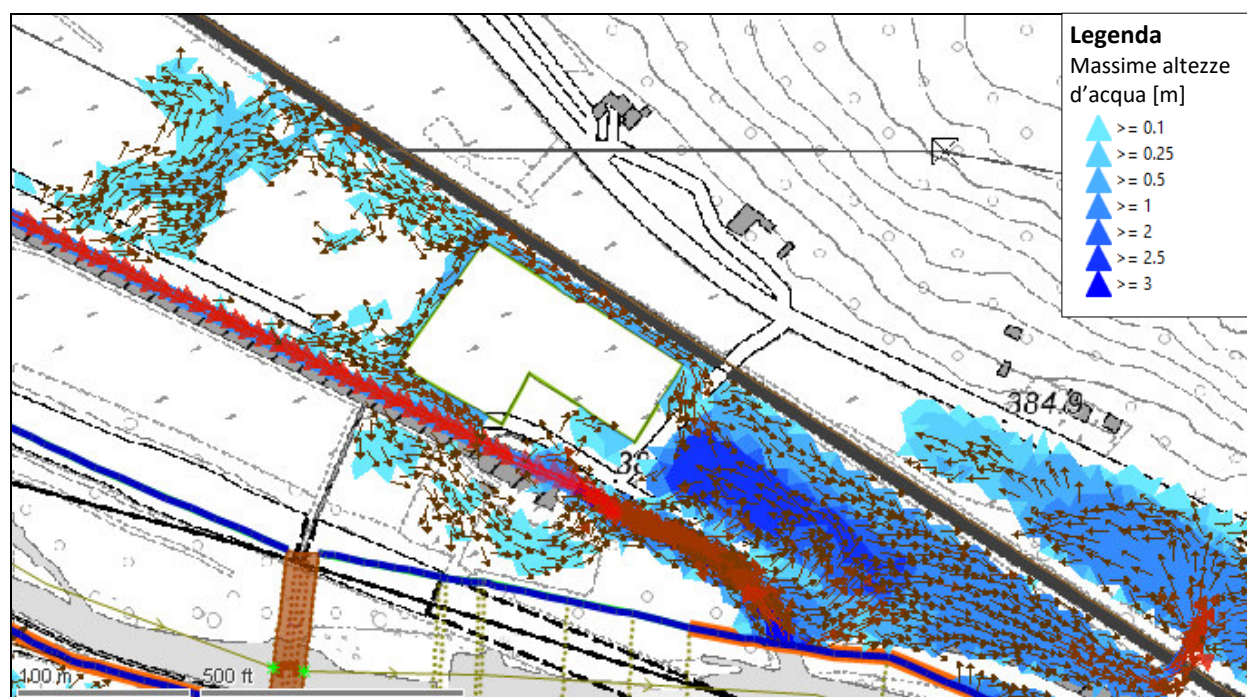


Figura 26 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR300 – dettaglio

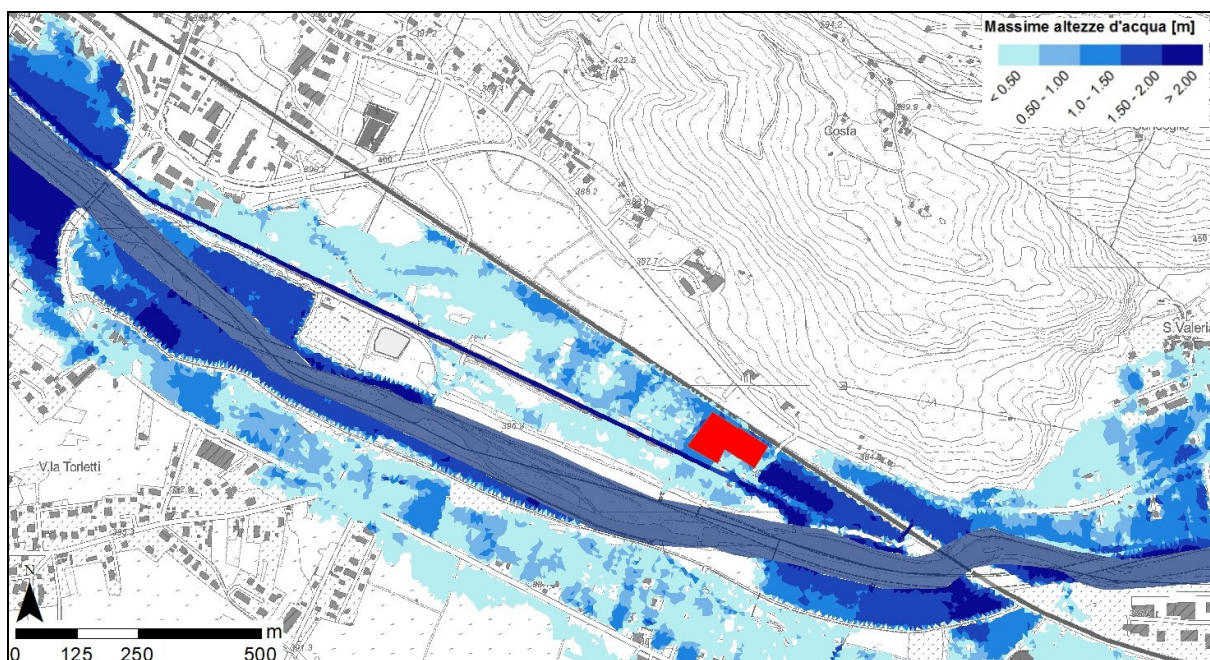


Figura 27 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR500

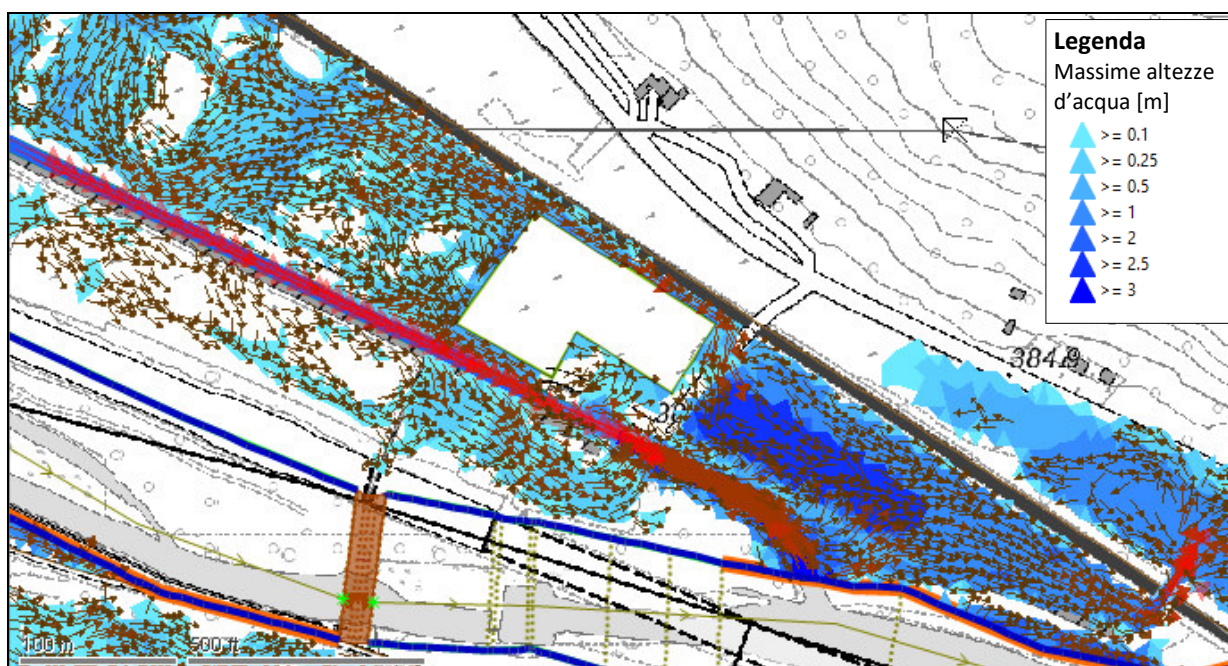


Figura 28 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam per l'evento TR500 – dettaglio

Si sottolinea che nell'area di esondazione oggetto di interesse si instaurano massimi tiranti pari a 0.46 m per evento TR 200, 0.85 per TR 300 e 1.21 m per TR 500. La Tabella 5 riporta a titolo esemplificativo i risultati in termini di massime altezze d'acqua e massima quota del pelo libero in alcuni punti di interesse. L'ubicazione di tali punti è consultabile in Figura 22.

Tabella 5 – Analisi dei risultati: stato di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO NT01 05 D 26 RI ID 0002 001 1 32 di 46

Punto di controllo (vedi Figura 22)	TR 200		TR 300		TR 500	
	Massimo tirante [m]	Massima quota [m s.m.m.]	Massimo tirante [m]	Massima quota [m s.m.m.]	Massimo tirante [m]	Massima quota [m s.m.m.]
A	-	-	0.62	386.08	0.99	386.45
B	0.32	385.92	0.46	386.07	0.74	386.35
C	-	-	-	-	0.38	385.52
D	-	-	0.46	385.21	0.60	385.21
E	-	-	0.66	385.81	0.96	386.12

Le differenze che si riscontrano negli scenari ante e post operam, dovute principalmente agli effetti di “ingombro” dell’opera, sono localizzate nell’area prossima alla SSE e non si ripercuotono in zone lontane. La Tabella 6 e le successive

Tabella 6 – Confronto dei risultati: differenze di livelli nello scenario ante operam e post operam (differenze positive indicano un incremento di livello nel post operam).

Punto di controllo (vedi Figura 22)	TR 200	TR 300	TR 500
A	0	0.39	0.54
B	0.19	0.22	0.39
C	-0.41	-0.53	-0.32
D	-0.34	0.01	0.00
E	-0.39	0.16	0.29



Figura 29 – Confronto risultati delle simulazioni per l'evento TR200: differenza massime altezze d'acqua post operam – ante operam.



Figura 30 – Confronto risultati delle simulazioni per l'evento TR300: differenza massime altezze d'acqua post operam – ante operam.

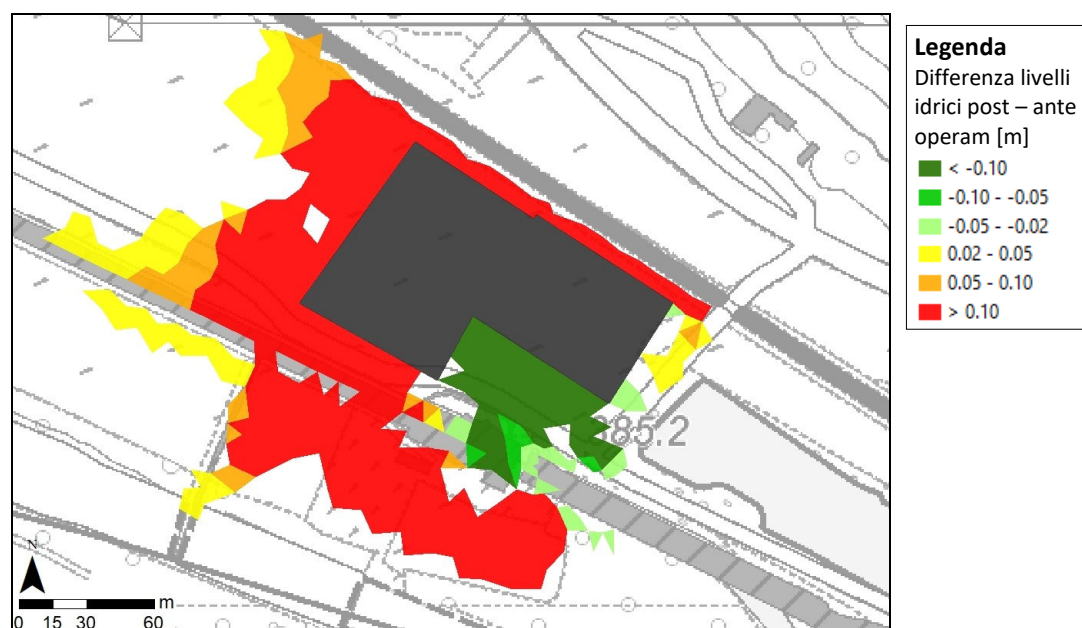


Figura 31 – Confronto risultati delle simulazioni per l'evento TR500: differenza massime altezze d'acqua post operam – ante operam.

7.3 Confronto con i risultati PAI

I risultati ottenuti mediante implementazione del modello mono-bidimensionale in InfoWorks risultano in generale accordo con i risultati dello studio di fattibilità PAI.

Per quanto concerne i risultati del dominio monodimensionale, il profilo idrico risultante dalla simulazione ante operam per l'evento con tempo di ritorno 200 anni presenta alcune differenze localizzate imputabili a: differenze del modello di calcolo, estensione delle sezioni stesse, alla dinamica di fuoriuscita/rientro della portata in alveo verso e dal dominio 2D, presenza di salti di fondo: in particolare, come si osserva in Figura 32, il modello InfoWorks restituisce un risultato di maggior dettaglio in corrispondenza dei salti di fondo, seguendo l'andamento del talweg.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA					
	REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 35 di 46

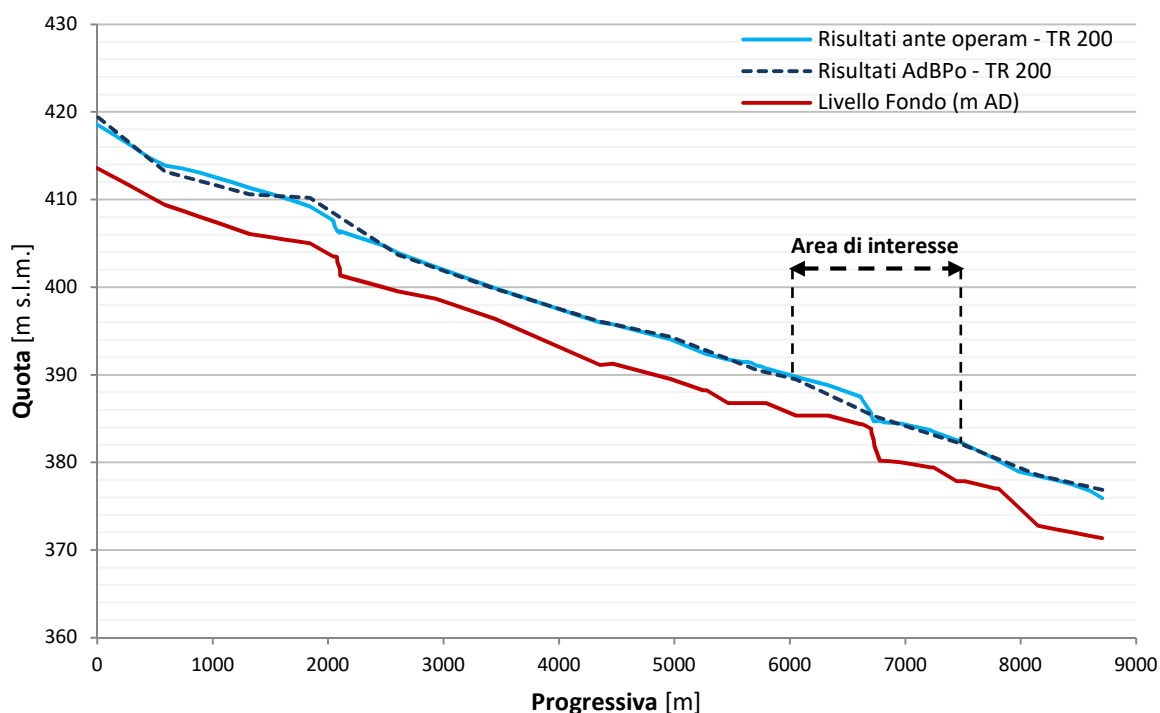


Figura 32 – Confronto profilo Dora Riparia tra le sezioni 92 e 80: risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam e livelli PAI (2014) per l'evento TR200

Per quanto concerne l'estensione delle aree allagate, si riscontrano alcune differenze, come si osserva in Figura 33 ed in Figura 34 per gli eventi TR200 e TR500 rispettivamente.

L'insufficienza arginale, evidenziata dal PAI e dal presente studio, determina allagamenti con locali differenze di estensione e conformazione dovute alle diverse modalità di implementazione della geometria di calcolo: in particolare, in InfoWorks, la modellazione dei tombini e del sottopasso di via del Lago in corrispondenza della A32 determina gli allagamenti in sinistra che invece non sono compresi nelle perimetrazioni PAI.

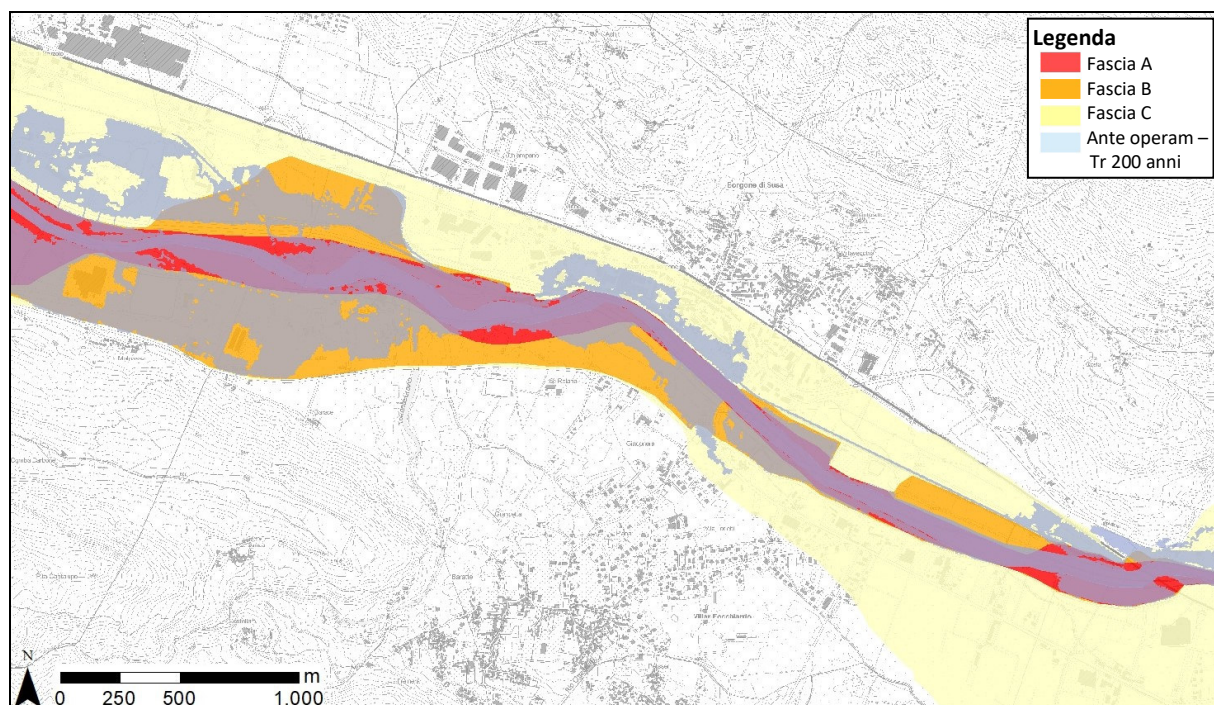


Figura 33 – Confronto risultati 2D Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam per l'evento TR200 e fasce PAI (2014)

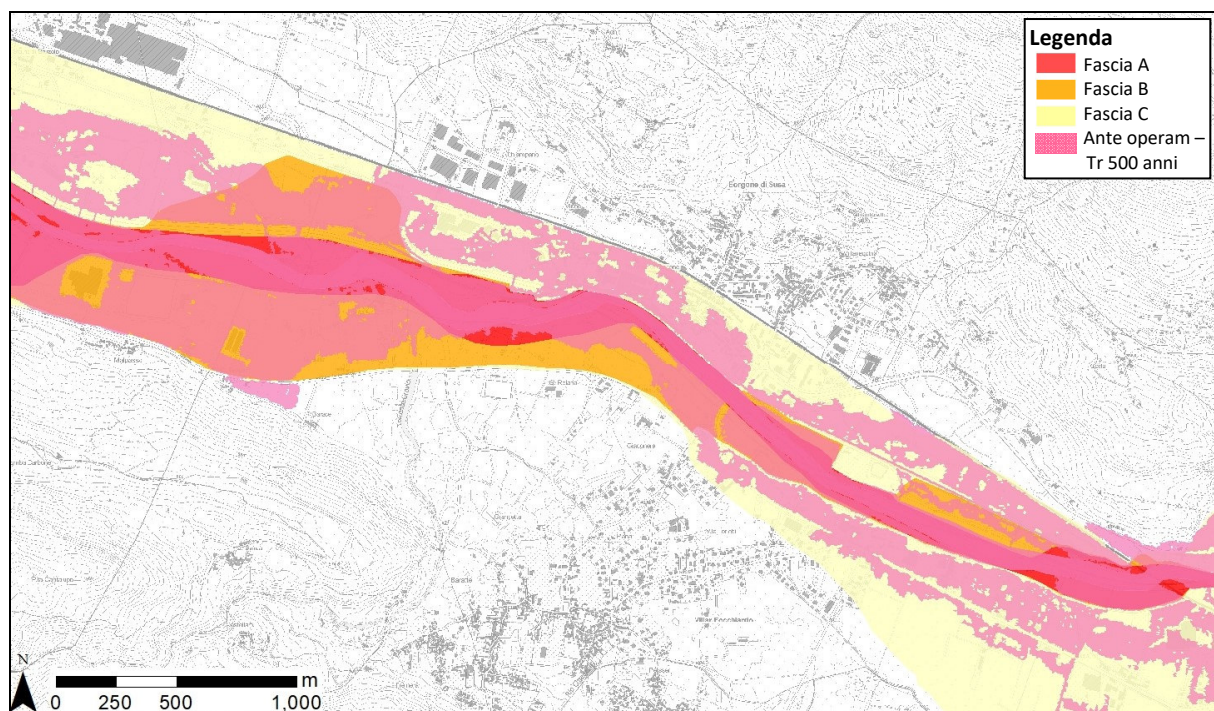


Figura 34 – Confronto risultati 2D Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario ante operam per l'evento TR500 e fasce PAI (2014)

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 37 di 46

8 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Nel presente capitolo viene analizzata la compatibilità idraulica del Progetto Definitivo della Sottostazione Elettrica in località Borgone.

8.1.1 Analisi risultati

Dall'analisi della normativa vigente in materia di aree di esondazione si evidenzia che, nella configurazione attuale, l'area interessata dalla realizzazione della Sottostazione Elettrica in località Borgone ricade nella zona con probabilità di alluvione rara (TR 500 anni).

L'analisi idraulica effettuata nell'ambito del presente studio idraulico conferma in buona parte i risultati ottenuti nell'ambito dell'indagine del PAI, con allagamenti che lambiscono l'area di progetto per TR200 e che interessano parzialmente l'area per TR500.

Questo conferma la necessità di realizzare l'opera mettendo in sicurezza gli accessi e le aree circostanti.

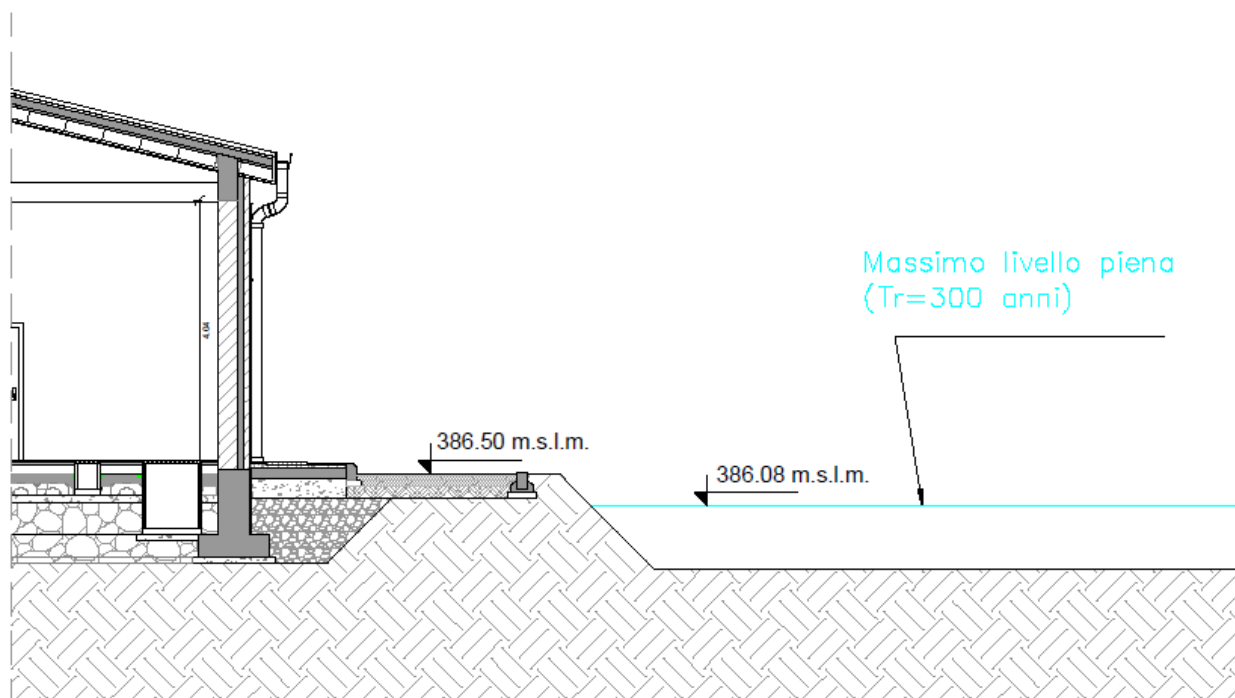


Figura 35 – Sezione del piazzale con quota di massima piena

8.1.2 Analisi di compatibilità

Il titolo V dell'elaborato n. 7 del PAI del bacino del fiume Po, contenente "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione Rischi di Alluvioni (PGRA)" disciplina le attività consentite

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 38 di 46

nelle aree di allagamento definendo i criteri base per l'analisi di compatibilità idraulica degli interventi in progetto.

In particolare, il comma 2 dell'art. 58 riporta:

Art. 58
*Aggiornamento agli indirizzi alla pianificazione urbanistica, ai sensi dell'art. 65,
 comma 6 del D. lgs n. 152/2006*

a) Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP):

- nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3), alle limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme del precedente Titolo II del presente Piano;
- nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2), alle limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del precedente Titolo II del presente Piano;
- nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1), alle disposizioni di cui al precedente art 31.

L'intervento in questione ricade in una zona con probabilità di alluvioni rare (TR=500 anni), come da confronto con mappe PAI antecedenti all'aggiornamento del 2014, che può essere assimilata alla fascia C, per la quale vale quanto segue:

Art. 31. Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C)

1. Nella Fascia C il Piano persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria da parte degli Enti competenti ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225 e quindi da parte delle Regioni o delle Province, di Programmi di previsione e prevenzione, tenuto conto delle ipotesi di rischio derivanti dalle indicazioni del presente Piano.
 [...]
4. Compete agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti per i territori ricadenti in fascia C.
5. Nei territori della Fascia C, delimitati con segno grafico indicato come "limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C" nelle tavole grafiche, per i quali non siano in vigore misure di salvaguardia ai sensi dell'art. 17, comma 6, della L. 183/1989, i Comuni competenti, in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici, entro il termine fissato dal suddetto art. 17, comma 6, ed anche sulla base degli indirizzi emanati dalle Regioni ai sensi del medesimo art. 17, comma 6, sono tenuti a valutare le condizioni di rischio e, al fine di minimizzare le stesse ad applicare anche parzialmente, fino alla avvenuta realizzazione delle opere, gli articoli delle presenti Norme relative alla Fascia B, nel rispetto di quanto previsto dall'art. 1, comma 1, let. b), del D.L. n. 279/2000 convertito, con modificazioni, in L. 365/2000 .

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 39 di 46

Art. 30. Fascia di esondazione (Fascia B)

1. Nella Fascia B il Piano persegue l'obiettivo di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica ai fini principali dell'invaso e della laminazione delle piene, unitamente alla conservazione e al miglioramento delle caratteristiche naturali e ambientali.
2. Nella Fascia B sono vietati:
 - a) gli interventi che comportino una riduzione apprezzabile o una parzializzazione della capacità di invaso, salvo che questi interventi prevedano un pari aumento delle capacità di invaso in area idraulicamente equivalente;
 - b) la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e di recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, nonché l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, fatto salvo quanto previsto al precedente art. 29, comma 3, let. I);
 - c) in presenza di argini, interventi e strutture che tendano a orientare la corrente verso il rilevato e scavi o abbassamenti del piano di campagna che possano compromettere la stabilità delle fondazioni dell'argine.
[...]
4. Gli interventi consentiti debbono assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area, l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti.

I criteri di compatibilità definiti all'art. 38 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico prescrivono che gli interventi "non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo lungo le fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo". Tale indicazione rappresenta l'elemento principale per la valutazione di compatibilità.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	40 di 46

Art. 38. Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico

1. Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modificano i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui la comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.
2. L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.
3. Le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino.

Ai fini della redazione del Progetto relativo alla SSE di Borgone, alla luce dei risultati delle simulazioni condotte nonché dell'analisi di rischio svolta per la classe di pericolosità rara, si può affermare che:

- l'opera risulta essere di "interesse pubblico", "non altrimenti localizzabile", "puntuale" e "non pregiudica la possibilità di sistemazione idraulica definitiva dell'area in futuro";
- nella configurazione attuale, l'intervento non costituisce ostacolo al deflusso delle piene, non modificando in maniera significativa né le condizioni di rischio nell'area in cui insiste, né delle aree limitrofe (monte-valle).

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 41 di 46

9 CONCLUSIONI

Lo studio idraulico condotto ha permesso di verificare l'estensione e l'entità delle aree di allagamento a seguito di possibili esondazioni del fiume Dora Riparia in supporto allo sviluppo del progetto riguardante la SSE di Borgone.

Le analisi sono state condotte per mezzo di un modello idraulico mono-bidimensionale (InfoWorks ICM) che è stato appositamente implementato utilizzando i dati topografici ottenuti dai rilievi LiDAR realizzati dal Ministero dell'Ambiente e dalle sezioni topografiche realizzate dall'Autorità di Bacino, avendo l'accortezza di inserire nella geometria di simulazione monodimensionale le opere di attraversamento presenti lungo il tratto di studio ed i principali attraversamenti minori del rilevato autostradale (tombotti) presenti nel dominio di calcolo bidimensionale, nonché assicurando la corretta rappresentazione plano-altimetrica dei principali rilevati stradali presenti nel dominio di calcolo. Gli idrogrammi sono stati ricavati dalla documentazione degli studi effettuati per la realizzazione dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" (AdbPo, 2003).

I risultati delle simulazioni condotte hanno evidenziato la presenza di criticità nella configurazione **ante operam** per l'evento caratterizzato da TR500 anni, confermando i risultati dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" (AdbPo, 2003), mentre eventi con frequenza maggiore lambiscono l'area di progetto per insufficienza del reticolo secondario.

Lo studio dello scenario **post operam** ha verificato gli effetti dell'opera in progetto rispetto agli allagamenti: la SSE determina differenze localizzate dei tiranti idrici solamente nell'area oggetto di intervento, senza influire sull'entità degli allagamenti valutati a monte e a valle della stessa, non costituendo ostacolo al deflusso delle piene e risultando, pertanto, **conforme alle prescrizioni** del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

Il progetto prevede una quota di calpestio del piazzale della SSE pari a 386.50 m.s.l.m. (vedi figura 35); tale quota imposta garantisce la sicurezza idraulica della SSE in oggetto e la perfetta compatibilità idraulica dell'intero intervento con le normative in vigore.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 42 di 46

APPENDICE A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM

Punti di forza dell'applicativo software

I punti di forza principali dell'applicativo derivano dalla sua ampissima gamma di applicazione che ne consente l'utilizzo di qualsiasi situazione reale senza bisogno di ricorrere ad artifici o semplificazioni del problema. L'interfaccia utente, semplice e completo, la velocità di calcolo e la robustezza dell'approccio numerico completano il prodotto rendendolo facilmente fruibile ai tecnici che operano nel settore dell'idraulica.

Modelli idrologici disponibili

Pur trattandosi di un modello idraulico, InfoWorks ICM dispone di una serie modelli di trasformazione afflusso-deflussi per connettere una sezione di deflusso del reticolo di drenaggio, a un bacino idrografico che produce la portata di alimentazione in risposta ad un evento meteorico. E' quindi possibile sollecitare il modello geometrico con diverse condizioni al contorno tra cui anche degli opportuni ietogrammi di pioggia incidenti in diversi sottobacini. A scelta l'utente potrà scegliere tra questi modelli idrologici:

- Formula Razionale
- Modello CN (SCS)
- Modello Green-Ampt
- Modello Horton
- Modello New UK
- Modello dell'Infiltrazione costante
- Modello di Horner

Si possono anche inserire diversi modelli di corrivazione e di computazione delle perdite iniziali.

Approccio numerico alla componente 1D

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione del momento e della massa).

Le equazioni sono le seguenti:

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT01	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	43 di 46

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:

- A area bagnata del condotto;
- Q portata;
- x distanza lungo l'asse del condotto;
- t tempo;
- g costante gravitazionale;
- H carico idraulico totale dato da z+h;
- z quota dello scorrimento;
- h livello idrico;
- S_f cadente piezometrica.

In particolare, la prima è l'equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali, la seconda è l'equazione del momento della quantità di moto; quest'ultima può essere scritta in più forme, in funzione della scelta delle variabili dipendenti. La cadente piezometrica viene computata con varie possibili metodologie (a scelta dell'utente): in InfoWorks sono infatti disponibili le equazioni di Colebrook-White, Manning e Strickler.

Per poter essere integrate queste equazioni devono essere opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks CS è quello dei 4 punti di Priessmann mentre il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

Le equazioni di cui sopra sono valide fino a quando il condotto non entra in pressione, per permettere a InfoWorks di simulare anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) il motore di calcolo adotta la tecnica dello slot per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. Così facendo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto da gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandate presenti nel

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT0I	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 44 di 46

modello, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello slot).

L'applicabilità di questo metodo di soluzione è stato testato in centinaia di studi e applicazioni anche con riscontri di misure idrometriche ottenuti su dei bacini sperimentali.

Ci sono alcune limitazioni sull'utilizzo di questo approccio sono:

- i risultati sono semplificati per elementi molto pendenti e per le quali comunque InfoWorks produce dei risultati comunque vicini alla realtà;
- il risalto idraulico (ovvero quella discontinuità che si nota nei profili di rigurgito dove un tubo molto pendente incontra un tubo a bassa pendenza per cui l'acqua forma un vero e proprio sovrizzo improvviso) non viene rappresentato in modo preciso ma il passaggio da corrente veloce a lenta viene computato su una certa distanza (qualche metro a seconda della geometria della situazione reale).

Si noti che la metodologia di calcolo a moto vario è in grado di tener conto anche dei volumi in gioco e quindi di tener conto delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello.

Approccio numerico alla componente 2D

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione dell'acqua superficiale, relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2 + gh^2/2) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2 + gh^2/2) \\ = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D} \end{aligned} \quad (3)$$

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA NT01	LOTTO 05	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. 1	FOGLIO 45 di 46

dove:

- h è l'altezza dell'acqua;
- u e v sono rispettivamente le velocità nelle direzioni x e y ;
- $S_{0,x}$ e $S_{0,y}$ sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y ;
- $S_{f,x}$ e $S_{f,y}$ sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni x e y ;
- q_{1D} è la portata per unità di area;
- u_{1D} e v_{1D} sono rispettivamente le componenti di velocità della portata q_{1D} nelle direzioni x e y .

Questa formulazione conservativa dell'equazione dell'acqua superficiale è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La tecnica di frazionamento del flusso assicura la proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia per considerare che una cella è bagnata, e la velocità è impostata a zero se la profondità è sotto il valore di soglia. Questo evita la creazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate/asciutte. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1 mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente. In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibile e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

Produzione della magliatura 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire la magliature dei domini 2D da simulare. Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri, ecc.). Il processo di magliatura tiene conto di questi vincoli e, se lo si desidera, è in grado di produrre una magliatura dipendente dalla conformazione morfologica del terreno. Laddove il terreno risulta più pendente viene infittita la maglia per assicurarsi che i triangoli non abbiano i vertici con differenze di quota superiori ad un termine fissato dall'utente.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA REALIZZAZIONE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE NELLE LOCALITA' BORGONE E AVIGLIANA					
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NT0I	05	D 26 RI	ID 0002 001	1	46 di 46

Collegamento 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello modo e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempi:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D;
- *sfiori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa);
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando si rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

Tempi di calcolo e dimensione del modello

Il software consente di eseguire calcoli e ottenere risultati in tempi rapidi. Mentre la componente 1D sui moderni processori consente dei tempi di simulazione irrisori (pochi secondi per modellare una rete di 1,000 nodi per una ventata di 4 ore di durata) la componente bidimensionale può necessitare di tempi d'attesa più lunghi in funzione del numero di triangoli e dalle condizioni di moto del dominio. Su dei processori Core i7 ci si può attendere che una simulazione di 10,000 triangoli di un evento reale di 60 minuti possa necessitare qualche minuto per essere computata. Il motore di calcolo 2D è stato testato su domini di calcolo con oltre 5 milioni di triangoli ma per queste ampiezze di dominio si consiglia di dotarsi di specifica GPU (hardware non sempre presente in classici Desktop e molto raramente in Laptop) che accelerano i tempi di calcolo di 30-50 volte rispetto ai normali processori consentendo quindi tempi computazionali molto ridotti (ordine di decine di minuti) per domini 2D di centinaia di migliaia di triangoli.