

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

STUDIO IDRAULICO FIUME DORA RIPARIA

Relazione Idraulica - Modello bidimensionale

SCALA:

-

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

N T O I 0 4 D 2 6 R I I D 0 0 2 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
A	Emissione Esecutiva	E. Frank	Dicembre 2018	S. Scafa	Dicembre 2018	F. Perrone	Dicembre 2018	Autore	Data

File: NT0I04D26RIID0002003A

Elab.

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
Dot. Ing. Francesco Sacchi
Ingegnere della Provincia di Roma
317200001A

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	ELENCO ELABORATI ANNESSI	6
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	13
1.1.	PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF, 1998);	13
1.2.	"PROGETTO DI VARIANTE AL PAI" (2006)	14
4.1.1	<i>Interventi di mitigazione previsti</i>	16
1.3.	PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI	17
5	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	20
6	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO	21
6.1	IL MODELLO DI CALCOLO	21
6.1.1	<i>Geometria di calcolo</i>	22
6.1.2	<i>Manufatti</i>	24
6.2	SCABREZZE	26
6.3	SCENARI SIMULATI	27
6.3.1	<i>Ante operam.</i>	27
6.3.2	<i>Post operam</i>	27
7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	30
7.1	ANTE OPERAM	30
7.2	POST OPERAM	32
7.2.1	<i>Scenario post operam – Interventi completi AdB</i>	32
7.2.2	<i>Scenario post operam – Argine in progetto</i>	33
7.3	CONFRONTO CON I RISULTATI PAI	34
7.4	RISCHIO IDRAULICO	36
8	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	38
8.1.1	<i>Analisi dello stato di fatto</i>	38
8.1.2	<i>Descrizione dell'intervento di mitigazione</i>	38
8.1.3	<i>Analisi di compatibilità</i>	40
9	CONCLUSIONI	43
	APPENDICE A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM	44

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Planimetria PM di Condove.....	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 dell’argine in progetto.	10
Figura 7 – Aree di esondazione e aree di pericolosità del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) (2014). In verde il rilevato arginale in progetto.	14
Figura 8 – Stralcio degli interventi previsti lungo la fascia B di progetto previsti dal "Progetto di Variante al PAI" (2006)	15
Figura 9 – Stralcio planimetrico intervento di adeguamento previsto dal PAI adiacente al PM Condove .	17
Figura 10 – Stralcio delle aree di esondazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto idrografico Padano	19
Figura 11 – Idrogramma per l’evento TR 200 anni – PAI, Tratto V.....	20
Figura 12 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM.....	21
Figura 13 – Modello del terreno nello stato di fatto.	22
Figura 14 – Confronto sezione 79 come da schede PAI (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde). In rosso è indicata l’estensione della sezione nel modello InfoWorks	23
Figura 15 – Particolare della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM.In blu le BLS presenti ante operam.....	24
Figura 16 – Schermata di visualizzazione in Infoworks del ponte 75-1P.....	24
Figura 17 – Ubicazione attraversamenti principali del fiume Dora Riparia.	25
Figura 18 – Attraversamenti principali del fiume Dora Riparia: inserimento nel modello InfoWorks.	25
Figura 19 – Ubicazione degli attraversamenti minori modellati, evidenziati in azzurro.....	26
Figura 20 – Opere di mitigazione pianificate nell’area di interesse dallo studio dell’AdB Po.....	28
Figura 21 – Opera arginale in progetto	29
Figura 22 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR200	30
Figura 23 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR200 – dettaglio:sormonto della linea ferroviaria.....	31
Figura 24 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR200 – dettaglio: cavalcaferroviaria	31
Figura 25 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR200 – dettaglio: canale irriguo Baelera di Rivoli.....	32
Figura 26 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Interventi completi AdB per l’evento TR200.....	32
Figura 27 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Interventi completi AdB per l’evento	

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

TR200 – dettaglio: argine (DR-IS-06).....	33
Figura 28 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Argine in progetto per l’evento TR200	34
Figura 29 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Interventi completi AdB per l’evento TR200 – dettaglio: argine in progetto	34
Figura 30 – Profilo idraulico fiume Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario post operam – Argine in progetto per l’evento TR200 e risultati PAI (nessun intervento in alveo).....	35
Figura 31 – Confronto risultati 2D Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario post operam – Argine in progetto per l’evento TR200 e fasce PAI (2014).....	36
Figura 32 – Rischio per lo scenario ante operam.....	37
Figura 33 – Rischio per lo Scenario post operam – Argine in progetto	37
Figura 34 – Sezione argine di difesa.....	39
Figura 35 – Sezione tipo opera in affiancamento alla linea ferroviaria	39

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elaborati annessi.	6
Tabella 2 – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d’acqua.	26
Tabella 3 – Valori dei coefficienti di scabrezza per diverse coperture del suolo.....	27

1 PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio idraulico eseguito mediante modellazione numerica mono-bidimensionale del fiume Dora Riparia, nell'area interessata dal progetto del rilevato arginale per la protezione del centro abitato di Chiusa di San Michele.

Tale intervento si inserisce nel progetto di ammodernamento della linea Torino-Modane, nel tratto Bussoleno Avigliana, nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento di costruzione di due Posti Movimento ferroviari lungo la Linea F.S.

Nel tratto di Linea Storica che interessa il comune di Condove è prevista la realizzazione di un binario di precedenza in uscita dalla fermata di Condove. La configurazione del binario è tale da garantire un modulo di lunghezza 750m tale da ospitare un intero convoglio in stazionamento. Il binario di precedenza in progetto si affianca alla linea storica con tratti in rilevato. Il rilevato si ammorsa all'esistente e in alcuni tratti il dislivello tra piano ferro della linea storica e quello di progetto è tale da dover prevedere l'inserimento di un'opera di sostegno tra i binari per una lunghezza pari a 718m.

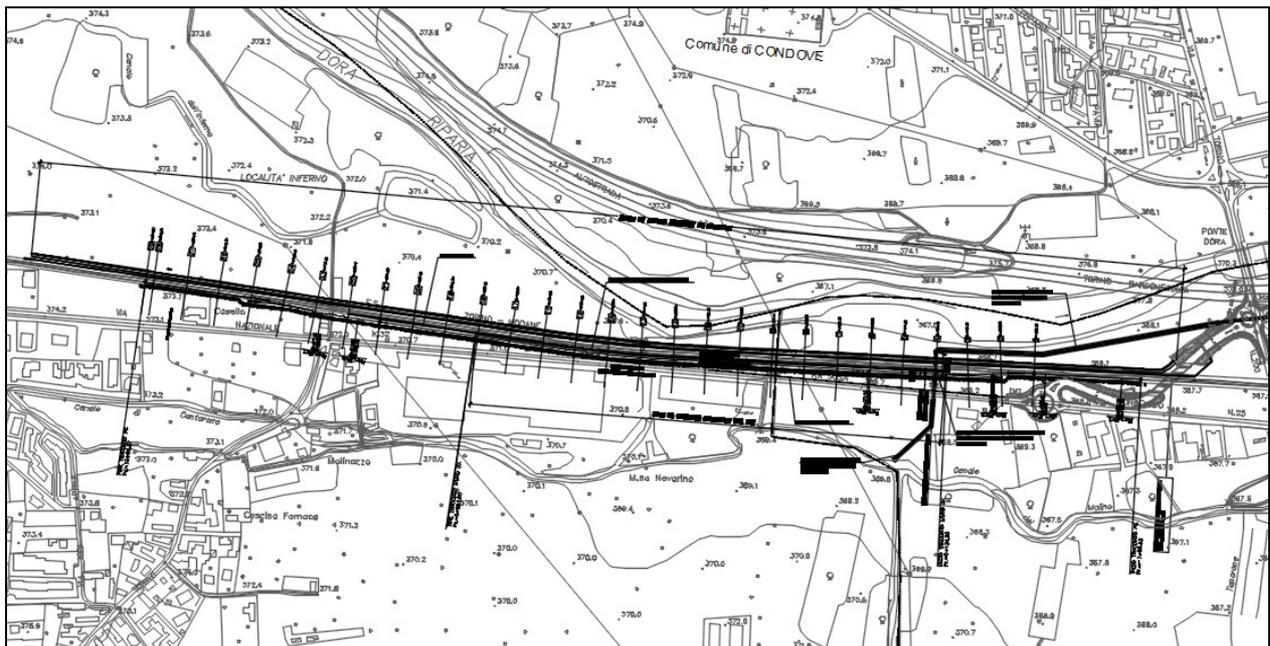


Figura 1 – Planimetria PM di Condove

L'area interessata dalla realizzazione del PM ricade nella zona con probabilità di alluvione media ($T_r=200$ anni) per l'intero tratto di intervento.

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 è stata riscontrata la necessità di ridurre l'attuale campo di esondazione della piena bicentenaria attraverso un sistema difensivo (nel tratto in sponda destra della Dora Riparia in prossimità dell'area industriale di Vaie e dell'abitato di Chiusa di San Michele) che abbia la funzione di proteggere dall'allagamento le aree edificate retrostanti nonché le infrastrutture presenti.

Al fine di rendere l'intervento del PM di Condove idraulicamente compatibile con le normative attualmente in vigore è stato indispensabile sviluppare il progetto definitivo del sistema difensivo in particolare, lungo lo sviluppo dell'intervento, è stato inserito un nuovo argine in sponda destra del Fiume Dora, a protezione della linea ferroviaria e dell'abitato di Chiusa di S. Michele, di circa 1,756 km.

Obiettivo del presente studio è:

- l'individuazione della configurazione di progetto ottimale dell'argine;
- l'analisi di compatibilità idraulica del posto di movimento di Condove.

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.

1.1 Elenco elaborati annessi

Tabella 1 – Elaborati annessi.

STUDIO IDRAULICO FIUME DORA RIPARIA																						
Relazione Idraulica Fiume Dora Riparia - Compatibilità idraulica	N	T	0	I	0	4	D	2	6	R	I	I	D	0	0	0	2	0	0	2	A	-
Planimetria dei livelli idrici ante operam Tr=200 anni	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	1	A	1:5000
Planimetria dei livelli idrici post operam Tr=200 anni - Argine in progetto	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	2	A	1:5000
Planimetria dei livelli idrici post operam Tr=200 anni - Interventi completi AdB	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	3	A	1:5000
Planimetria della distribuzione delle velocità ante operam Tr=200 anni	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	4	A	1:5000
Planimetria della distribuzione delle velocità post operam Tr=200 anni - Argine in progetto	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	5	A	1:5000
Planimetria della distribuzione delle velocità post operam Tr=200 anni - Interventi completi AdB	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	6	A	1:5000
Planimetria del rischio ante operam Tr=200 anni	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	7	A	1:5000
Planimetria del rischio post operam Tr=200 anni - Argine in progetto	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	8	A	1:5000
Planimetria del rischio post operam Tr=200 anni - Interventi completi AdB	N	T	0	I	0	4	D	2	6	P	5	I	D	0	0	0	2	0	0	9	A	1:5000
Profilo idraulico ante/post operam per Tr 200 anni - Tav. 1/2	N	T	0	I	0	4	D	2	6	F	7	I	D	0	0	0	2	0	0	1	A	varie
Profilo idraulico ante/post operam per Tr 200 anni - Tav. 2/2	N	T	0	I	0	4	D	2	6	F	7	I	D	0	0	0	2	0	0	2	A	varie

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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.

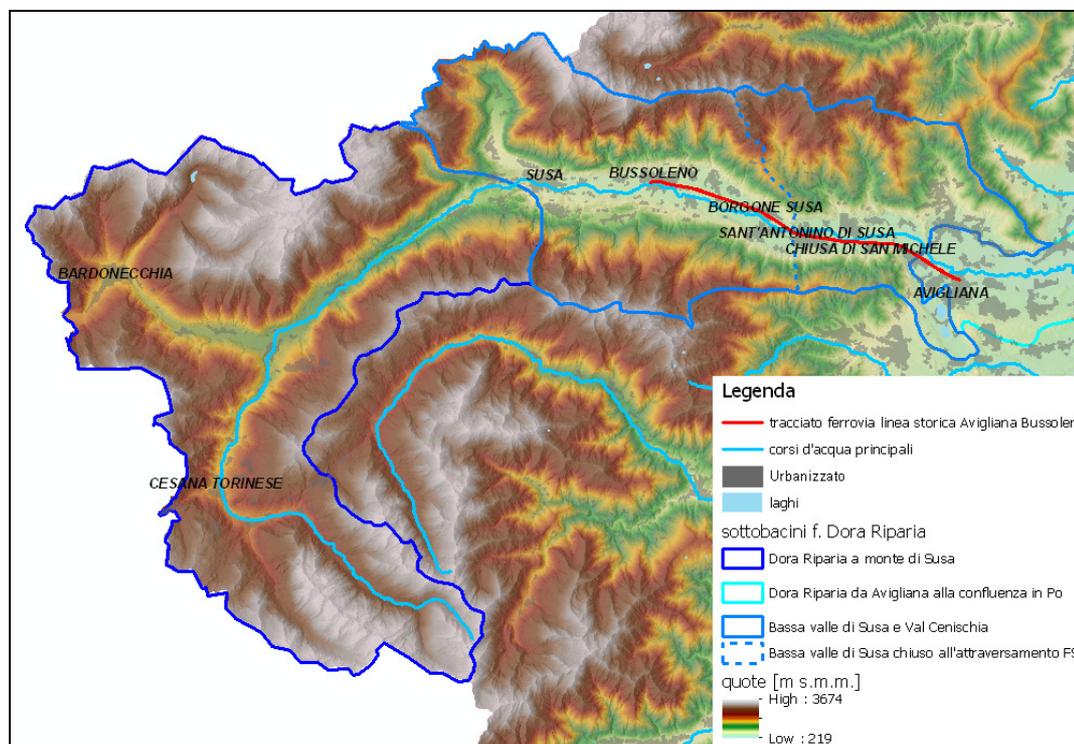


Figura 4 – Inquadramento del bacino della Dora Riparia.

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 15.5 km² e si sviluppa in un tratto del fiume Dora Riparia di circa 9 km, con estensione compresa tra una sezione poco più a valle del ponte della strada provinciale SP201 (circa 300 m) (Sant'Antonino di Susa, TO) fino all'attraversamento in corrispondenza di via Villardora (Sant'Ambrogio di Torino, TO).

Il tratto di argine in progetto, di estensione di circa 1756 m, oggetto del presente studio è rappresentato in verde.

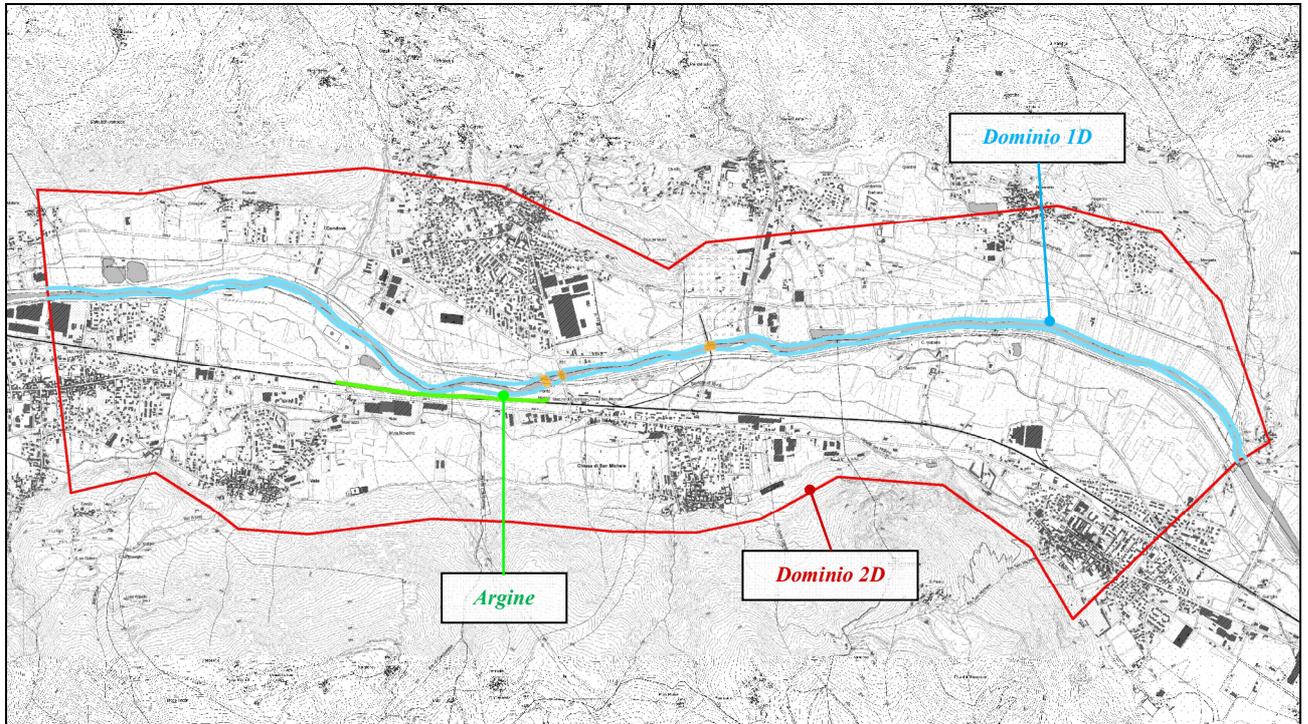


Figura 5 – Inquadramento dell'area di studio.

In Figura 6 è possibile osservare un dettaglio dell'ubicazione planimetrica di tale rilevato arginale.

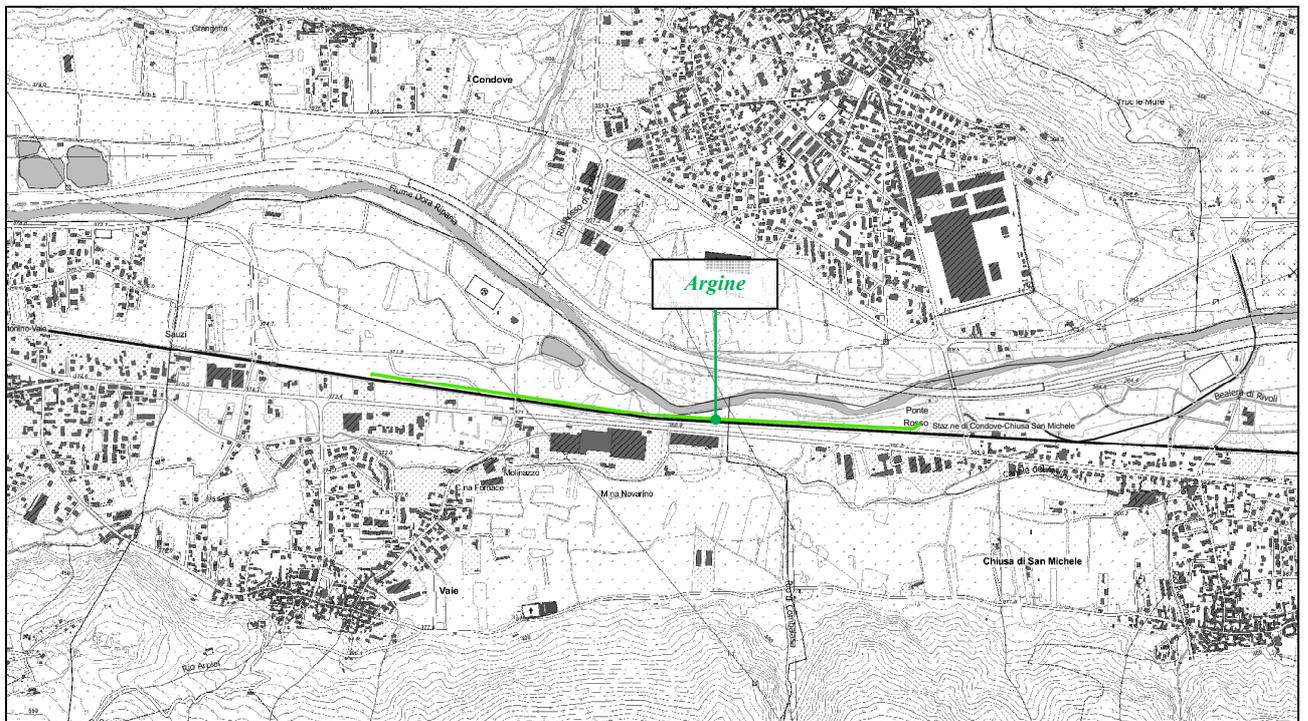


Figura 6 – Stralcio planimetrico dell'argine in progetto.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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 V, esteso da S. Antonino ad Avigliana. In particolare, essendo le sezioni di inizio tratto pressochè coincidenti (AdbPo: sezione 83-1P, modello InfoWorks ICM: sezione 81), nella modellazione svolta per il presente studio l'idrogramma in ingresso al Tratto V per l'evento TR200 anni è stato assunto come condizione al contorno.

Tale studio, in particolare il documento "Relazione metodologica e di analisi dell'attività" (Attività 3.2.2, Elaborato 3.2.2/1/1R-DR), concernente lo stato di fatto, è stato assunto come termine di confronto quanto a dati di input e risultati per l'implementazione del presente studio mono-bidimensionale in ambiente InfoWorks ICM.

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);

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

- ✓ 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.

Il progetto del PM di Condove si localizza all'interno del Tronco IV, compreso tra Borgone ed Avigliana, in cui è stata prevista la realizzazione di un rilevato arginale (intervento DR-IS-06) a cui è assegnato il 2° livello di priorità, ossia priorità media, corrispondente alle opere che dovranno essere realizzate a breve termine ma che rivestono un'importanza più modesta in termini di "efficienza" dal punto di vista del conseguimento degli obiettivi di progetto. All'interno dell'area in esame, gli insediamenti antropici sono da considerarsi incompatibili con un eventuale allagamento per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni, è emersa quindi la necessità di prevedere la realizzazione di un sistema difensivo in grado di contenere la piena bicentenaria.

3.3 Obiettivi dello studio idraulico

Il presente studio idraulico è stato svolto in supporto dell'attività progettuale riguardante il rilevato arginale in progetto per la protezione del centro abitato di Chiusa di San Michele. Sono state svolte simulazioni ante e post operam al fine di individuare la configurazione di progetto ottimale, valutata in termini di estensione del rilevato stesso e quota di sommità arginale tale da impedirne il sormonto.

Tale studio si inserisce nel più ampio progetto di ammodernamento della linea Torino Modane, nel tratto Bussoleno - Avigliana, ed è volto, inoltre, alla verifica dell'aumento di sicurezza idraulica nell'area interessata dalla realizzazione del Posto Movimento (PM) di Condove come conseguenza della realizzazione del rilevato arginale pianificato a seguito dello studio effettuato dall'Autorità di Bacino di cui al paragrafo precedente.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

4 INQUADRAMENTO NORMATIVO

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).

1.1. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, 1998);

Sulla base del PAI, l'alveo fluviale e la parte di territorio limitrofo, costituente nel complesso la regione fluviale, sono oggetto della seguente articolazione in fasce:

- Fascia di deflusso della piena (**Fascia A**), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia di esondazione (**Fascia B**), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.
- Area di inondazione per piena catastrofica (**Fascia C**), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

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);

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

- ✓ **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, 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, tra i quali l'argine riportato in figura, di cui al paragrafo successivo, che, tuttavia non risulta ancora realizzato. Si riporta in verde il tracciato del rilevato arginale secondo la configurazione prevista dall'AdbPo, di estensione pari a circa 1420 m.

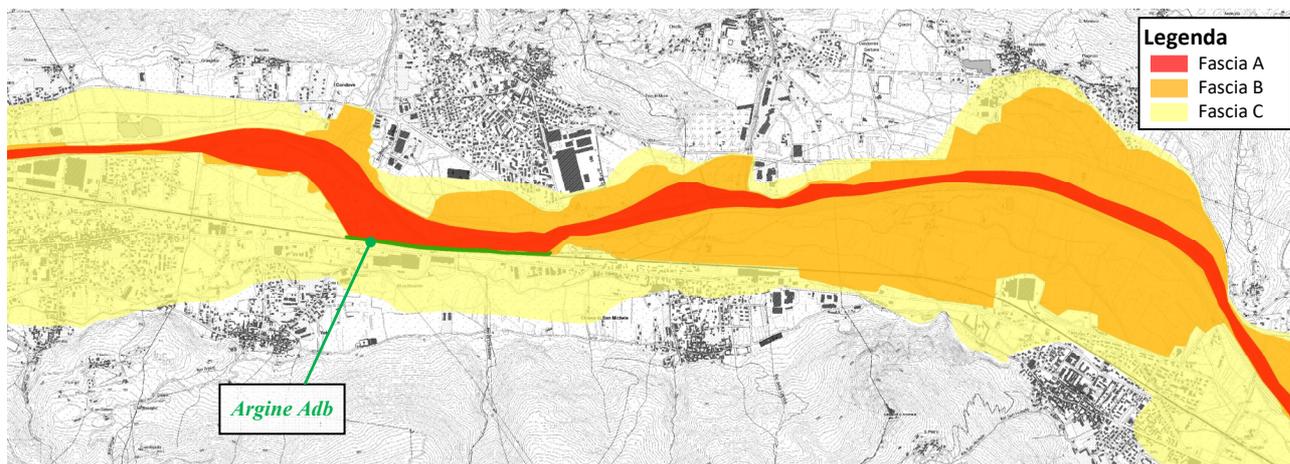


Figura 7 – Aree di esondazione e aree di pericolosità del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (2014). In verde il rilevato arginale in progetto.

1.2. “Progetto di Variante al PAI” (2006)

Lo “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po” del 2006, partendo dall'assetto idraulico della Dora Riparia definito dalle analisi e dagli studi del tempo, è arrivato a definire l'assetto di progetto individuando le possibili configurazioni, 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.

Lo scopo del "Progetto di Variante al PAI" è quello di pervenire ad una puntuale individuazione degli interventi necessari per il raggiungimento degli obiettivi previsti dal PAI del fiume Dora Riparia, ovvero:

- riduzione del rischio idraulico a livelli compatibili con l'uso del suolo attuale;
- recupero della naturalità della regione fluviale finalizzata al conseguimento di migliori condizioni ecologiche;
- mantenimento o ripristino della fascia di mobilità funzionale del corso d'acqua compatibilmente con l'uso del suolo attuale (presenza di insediamenti e infrastrutture).

Fondamentalmente, in tutti i casi in cui si è 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 prevede, 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.

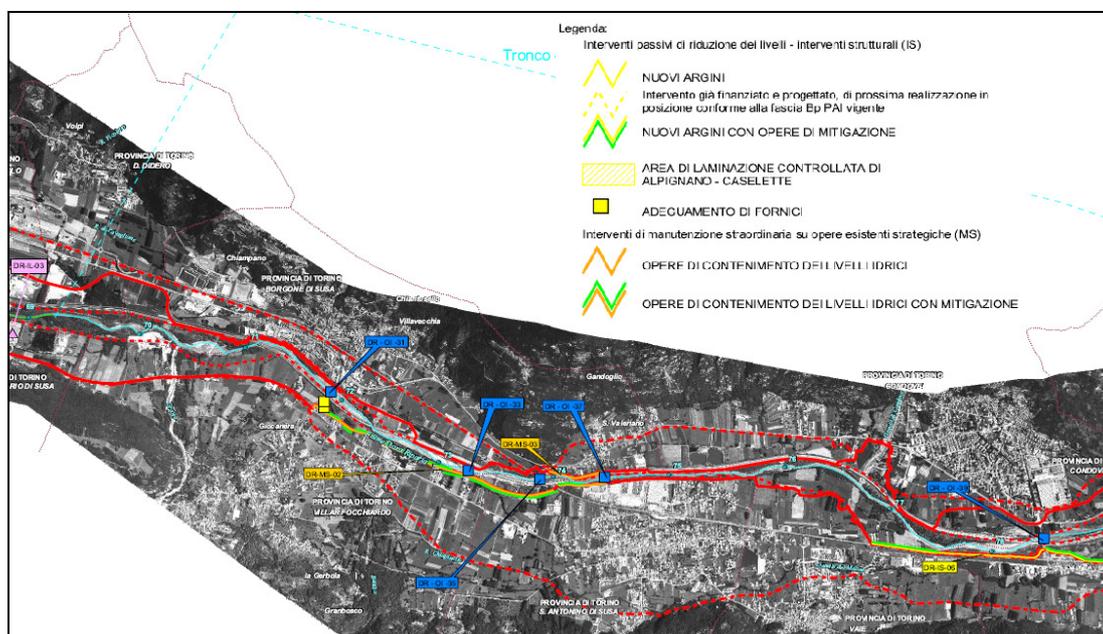


Figura 8 – Stralcio degli interventi previsti lungo la fascia B di progetto previsti dal "Progetto di Variante al PAI" (2006)

Nell'ambito dello studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po (P.A.I. 2006), gli interventi previsti sono stati classificati secondo le seguenti categorie:

- 1 - interventi attivi di riduzione dei livelli – opere interferenti (OI);
- 2 - interventi passivi di contenimento dei livelli – interventi strutturali (IS);

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A	FOGLIO 16 di 48

3 - interventi attivi con effetto significativo sulla riduzione dei livelli e delle portate a valle – Area di laminazione (AL);

4 - interventi di manutenzione straordinaria su opere esistenti strategiche (MS);

5 - interventi a carattere locale (IL);

6 - interventi strategici di riassetto ecologico (rinaturazione e miglioramento ecologico).

Inoltre è stato definito il grado di priorità dell'intervento secondo i seguenti parametri:

- ✓ Tempo di ritorno dell'evento "critico" / richiesta di protezione dell'area interessata;
- ✓ Pericolosità legata alla dinamica del fenomeno di esondazione;
- ✓ Pericolosità legata alla morfologia delle aree allagate;
- ✓ Pericolosità legata alla presenza di opere idrauliche.

Sulla base dei criteri sopra riportati sono stati individuati tre livelli di priorità da assegnare al complesso degli interventi di adeguamento previsti:

1° livello: priorità alta, corrispondente agli interventi che si ritiene debbano essere inseriti nel primo lotto di opere da realizzarsi e la cui esecuzione risulta fondamentale per il conseguimento di una significativa riduzione del rischio idraulico presente oggi sull'area in esame;

2° livello: priorità media, corrispondente alle opere che dovranno comunque essere realizzate a breve termine ma che, rispetto alle precedenti, rivestono un'importanza più modesta in termini di "efficienza" dal punto di vista del conseguimento degli obiettivi di progetto;

3° livello: opere di completamento, corrispondente agli interventi che, ad oggi, appaiono meno urgenti e la cui esecuzione potrà quindi essere programmata dopo la realizzazione delle opere di 1° e 2° livello di priorità.

4.1.1 Interventi di mitigazione previsti

In merito all'intervento di realizzazione del PM di Condove, nello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" è stata riscontrata la necessità di ridurre l'attuale campo di esondazione della piena bicentenaria attraverso il tracciamento della fascia B di progetto.

Nello studio l'asta del fiume Dora Riparia è stata suddivisa complessivamente in sei successivi tronchi omogenei, l'intervento di interesse si localizza all'interno del tronco omogeneo n. 4: da Borgone ad Avigliana. Secondo quanto previsto dalla suddivisione in aree omogenee effettuata dal P.A.I. (2006), gli interventi in progetto ricadono nel tronco omogeneo n° 4 localizzato tra Borgone di Susa e Avigliana per una lunghezza complessiva di 14,230 chilometri.

Il tronco omogeneo rientra all'interno dell'ambito vallivo collinare caratterizzato dalla presenza di grosse conoidi laterali, limitata erosione e divagazione laterale dell'asta fluviale. Le criticità in atto, rilevate nell'ambito dello Studio di fattibilità degli interventi di adeguamento del P.A.I. (2006), riguardano principalmente la presenza di opere interferenti in alveo e l'insufficienza o la mancanza in taluni tratti di opere di regimazione che permettano il contenimento dei livelli in occasione dell'evento di riferimento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

Tra gli interventi previsti nel tronco omogeneo n°4 dal Progetto di Variante, ed in particolare nei tratti interessati dagli interventi in progetto sono:

- realizzazione di una nuova linea arginale, in sponda destra, nei comuni di Vaie e Chiusa San Michele, a ridosso della linea ferroviaria Torino-Bardonecchia a protezione delle aree retrostanti l'infrastruttura;
- interventi di manutenzione straordinaria su opere esistenti strategiche;
- interventi a carattere locale.

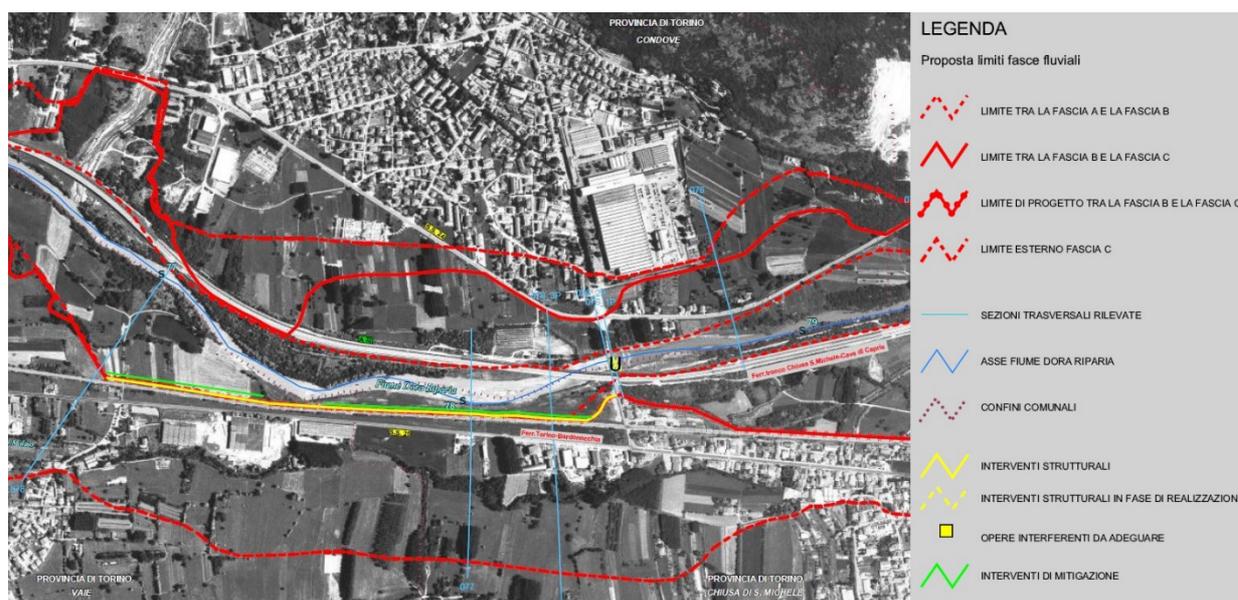


Figura 9 – Stralcio planimetrico intervento di adeguamento previsto dal PAI adiacente al PM Condove

Di particolare rilevanza per gli interventi in progetto in questo lavoro sono gli interventi di realizzazione del sistema difensivo nel tratto in sponda destra della Dora Riparia in prossimità dell'area industriale di Vaie e dell'abitato di Chiusa di San Michele (Intervento DR-IS-06).

All'intervento DR-IS-06, è assegnato il 2° livello di priorità, ossia priorità media, corrispondente alle opere che dovranno comunque essere realizzate a breve termine ma che rivestono un'importanza più modesta in termini di "efficienza" dal punto di vista del conseguimento degli obiettivi di progetto. Infatti, all'interno dell'area in esame gli insediamenti antropici sono da considerarsi incompatibili con un eventuale allagamento per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni, è emersa quindi la necessità di prevedere la realizzazione di un sistema difensivo in grado di contenere la piena bicentenaria.

"Vista l'esigua distanza esistente tra le stesse abitazioni e le infrastrutture viarie e ferroviarie pur non considerando strategica la difesa di queste si è optato in questo caso specifico per una posizione più interna della nuova linea arginale in affiancamento al rilevato ferroviario curvando nell'ultimo tratto in modo da raccordarsi con la rampa del ponte."

1.3. 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

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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);
- ✓ 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).

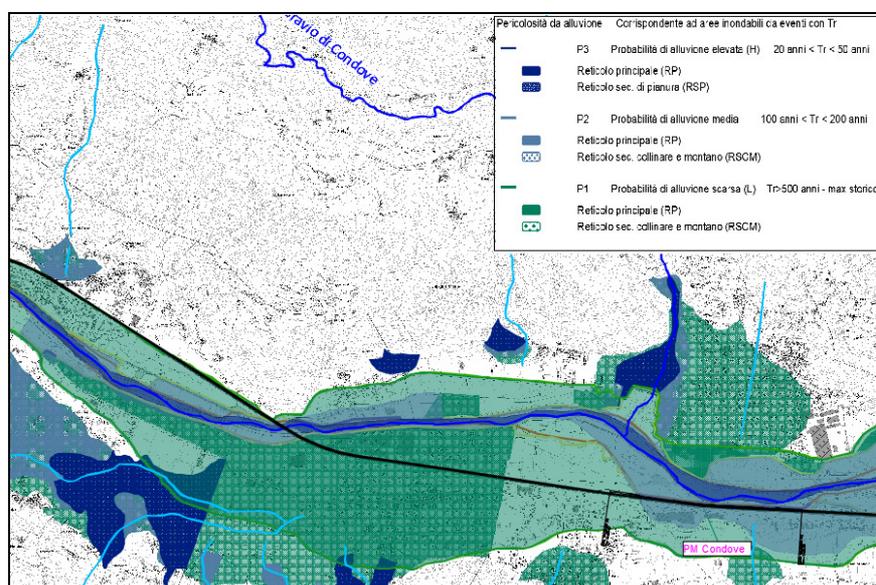


Figura 10 – Stralcio delle aree di esondazione del Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto idrografico Padano

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 le sezioni iniziali in stretta vicinanza nei due modelli (AdbPo: sezione 83-1P, modello InfoWorks ICM: sezione 81. Distanza: 1km circa).

In Figura 11 si riporta l'idrogramma utilizzato nel modello.

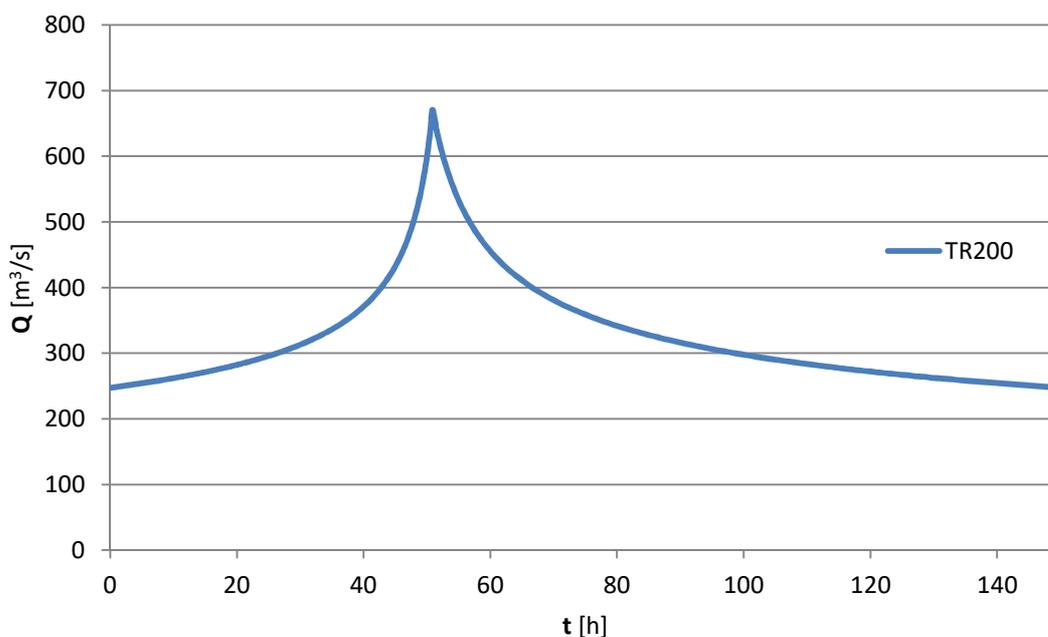


Figura 11 – Idrogramma per l'evento TR 200 anni – PAI, Tratto V.

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 Innoyze (ex HR Wallingford software) (Figura 12). 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).

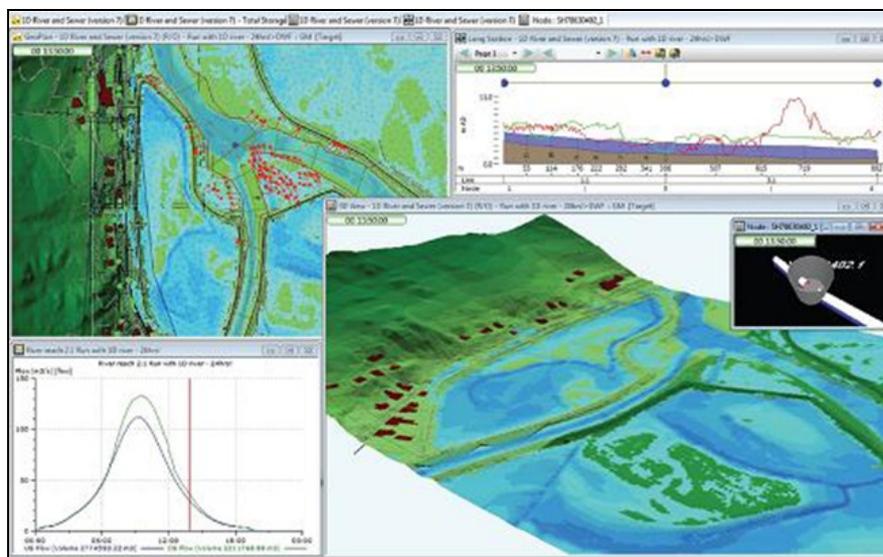


Figura 12 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM

La scelta di un dominio mono-bidimensionale ha permesso una maggiore corrispondenza con il modello monodimensionale svolto in occasione dello studio dell'Autorità di Bacino (Paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) per il Dora Riparia. Per facilitare l'analisi e il confronto dei risultati, infatti, il dominio monodimensionale del presente modello è stato costruito nel rispetto delle assunzioni di cui allo studio sopracitato, come descritto nei paragrafi a seguire.

Allo stesso tempo un modello mono-bidimensionale consente una analisi degli allagamenti nelle zone perfluviali più approfondita per tutti gli eventi caratterizzati di esondazioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

6.1.1 Geometria di calcolo

Per rappresentare l'andamento piano almetrico del dominio di calcolo bidimensionale e verificare l'andamento almetrico 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 13).

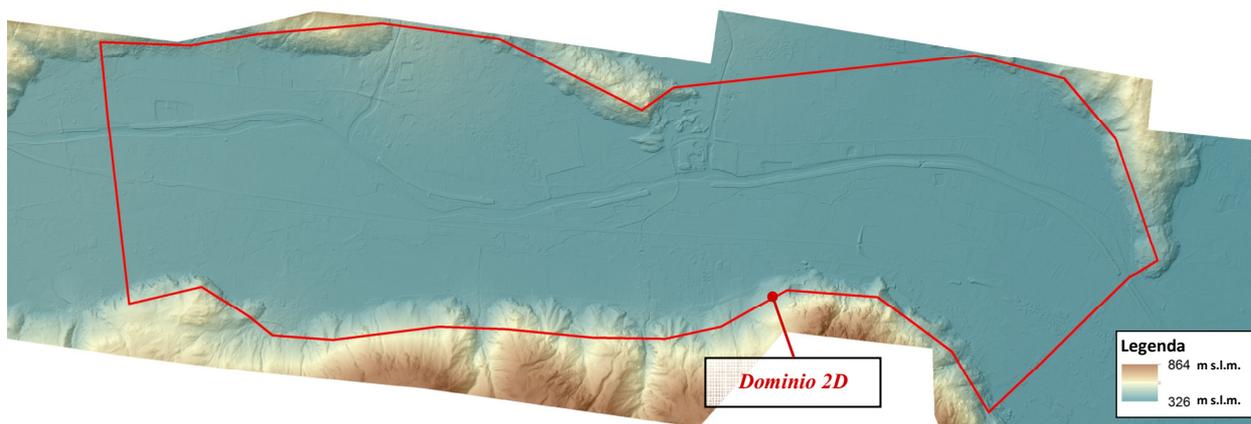
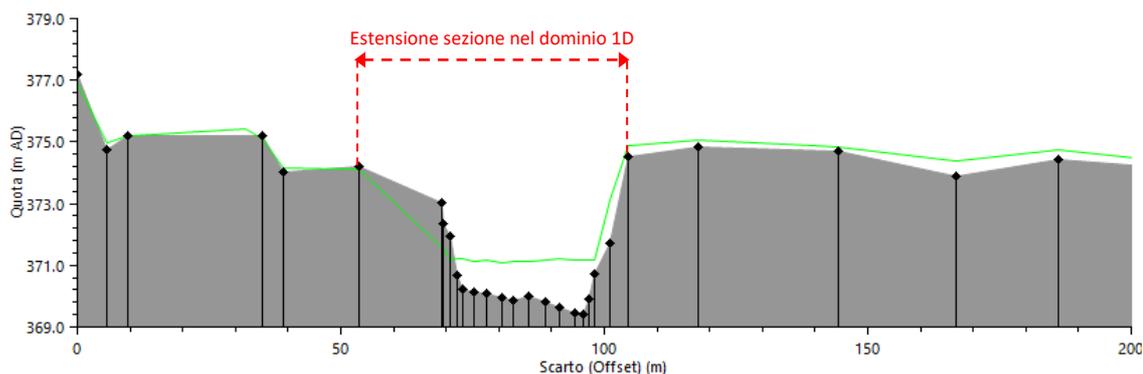


Figura 13 – Modello del terreno nello stato di fatto.

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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). In particolare, sono state impiegate le sezioni comprese tra la sezione 71 e la sezione 81.

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 14 il confronto tra il dato ricavato dalle schede PAI (in grigio) e dalla sezione LiDAR corrispondente (in verde) per la sezione 79.



	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

Figura 14 – Confronto sezione 79 come da schede PAI (in grigio) e da rilievo LiDAR (in verde). In rosso è indicata l'estensione della sezione nel modello InfoWorks

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 14). 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 10000 m² (Figura 15).

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;
- il rilevato stradale - cavalcaferrovia;
- i rilevati arginali (solo post operam).

Le BLS relative al rilevato stradale - cavalcaferrovia sono state implementate a partire da polilinee 3D a loro volta ricavate da rilievi Italferr. Tale procedura ha permesso di garantire massima accuratezza nella rappresentazione altimetrica di tale elemento nella geometria di lavoro.

Per modellare i rilevati arginali previsti dal piano di mitigazione realizzato dell'Autorità di Bacino a seguito dello studio del Dora Riparia di cui al Paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, le rispettive BLS inserite negli scenari di progetto sono state modellate come muri ad altezza infinita, assumendo che tali opere siano successivamente progettate con caratteristiche conformi al contenimento dell'onda di piena.

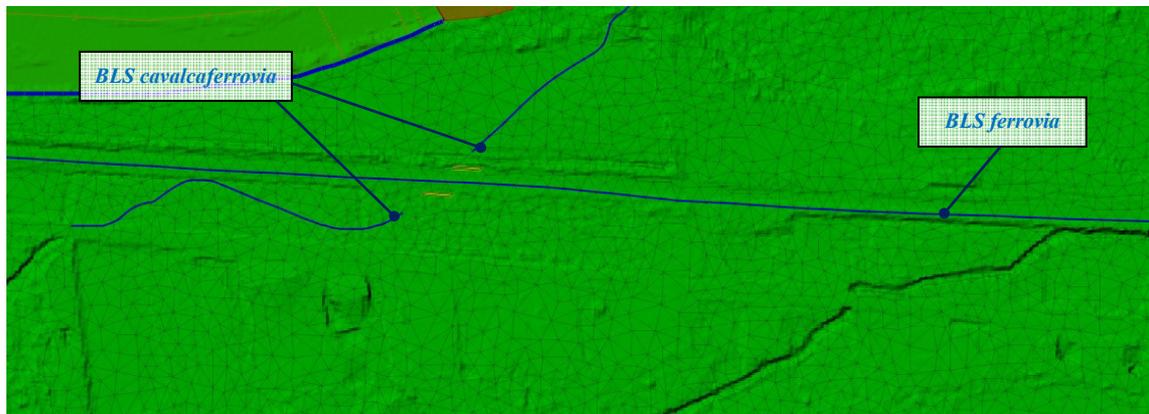


Figura 15 – Particolare della mesh di calcolo con sovrapposizione del DTM. In blu le BLS presenti ante operam

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, quattro attraversamenti presenti nel tratto di studio del fiume Dora Riparia. La geometria degli stessi è stata ricavata dalle sezioni topografiche PAI.

Nel dettaglio, sono stati inseriti, da valle verso monte, gli attraversamenti sul fiume Dora Riparia di seguito riportati secondo la dicitura PAI:

- Ponte 75-1P;
- Ponte 76-1P;
- Ponte 76-2P (SP200);
- Ponte 76-3P (autostrada A32).

In Figura 16 si riporta a titolo esemplificativo l'elemento monodimensionale, inserito nel modello, che rappresenta la geometria del ponte 75-1P.

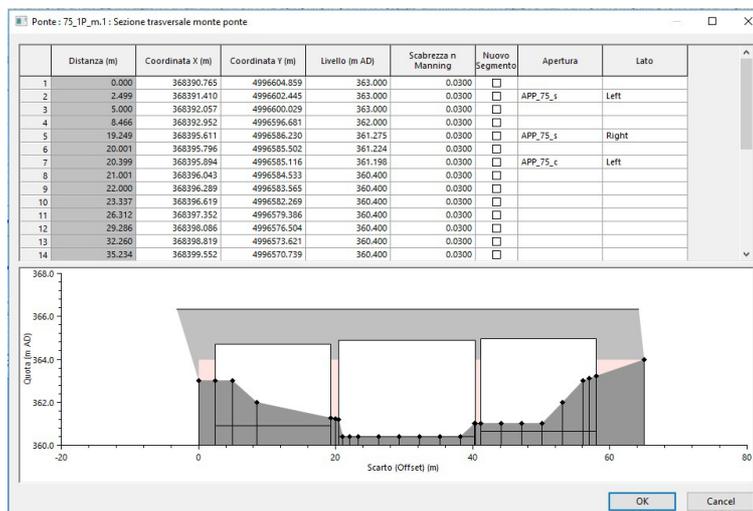


Figura 16 – Schermata di visualizzazione in Infoworks del ponte 75-1P.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

In Figura 18 è indicata la posizione dei ponti presenti lungo i due corsi d'acqua che sono stati implementati nel modello.



Figura 17 – Ubicazione attraversamenti principali del fiume Dora Riparia.

Data la prossimità dei ponti 76-1P, 76-2P e 76-3P 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, assicurandosi di mantenerne invariato il comportamento idraulico. In particolare, il ponte 76-3P è stato inserito nella geometria di calcolo mediante sezione e aperture equivalenti valutate su un piano ortogonale all'asse fluviale. I ponti 76-1P e 76-2P sono stati, invece, inseriti come un singolo elemento geometrico, caratterizzato dalle quote di intradosso e aree di apertura equivalente minore dei ponti. I ponti così modellati sono rappresentati in Figura 18.

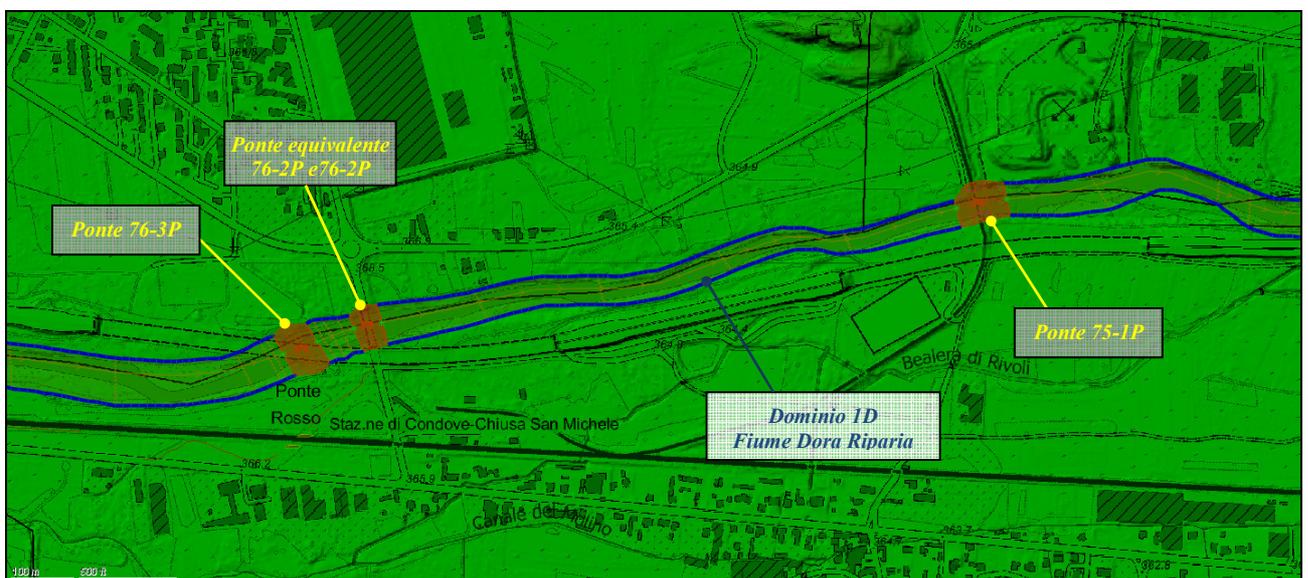


Figura 18 – Attraversamenti principali del fiume Dora Riparia: inserimento nel modello InfoWorks.

Sono stati, inoltre, modellati gli attraversamenti minori (tombini) presenti lungo il rilevato autostradale (A32), nonché l'attraversamento minore presente lungo la linea ferroviaria in corrispondenza del canale irriguo Baelera di Rivoli. Dimensioni e collocazione di tali elementi sono state dedotte da immagini satellitari e rilievo LiDAR a disposizione.

L'ubicazione degli attraversamenti sopracitati è consultabile in Figura 19.

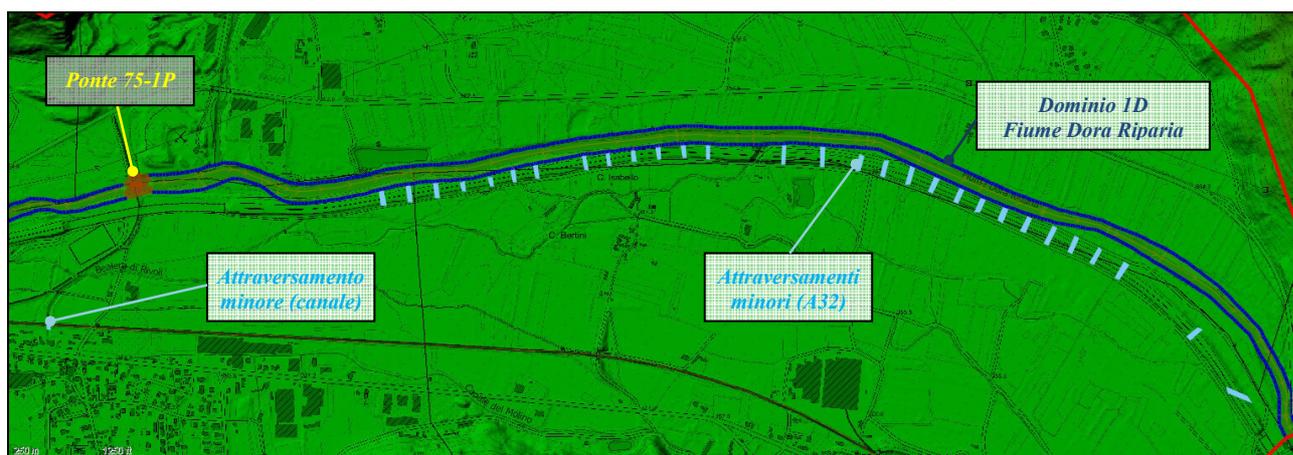


Figura 19 – Ubicazione degli attraversamenti minori modellati, evidenziati in azzurro.

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 particolare, le zone di scabrezza individuate sono:

- dominio 1D: alveo regolare caratterizzato da moderata presenza di vegetazione, $n = 0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Tabella 2);

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

- 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).

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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

Copertura del suolo	Manning n [m ^{-1/3} s]
Aree boscate	0.06
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

Le assunzioni sopra descritte sono state verificate mediante analisi di sensitività e i relativi risultati sono stati confrontati con mappe di allagamento e profilo idraulico secondo lo studio dell’Autorità di Bacino, come descritto in seguito (Paragrafo 7.3). Anticipando tali risultati, è stata verificata la corrispondenza degli stessi con i risultati dell’AdbPo e si è dunque confermata la scelta dei valori di scabrezza indicati precedentemente. Tali valori, verosimili data la conformazione del corso d’acqua, si discostano leggermente dai valori impiegati dall’Autorità di Bacino in virtù della differente modellazione che consente di differenziare ed ottimizzare la distinzione tra dominio mono e bi-dimensionale.

6.3 Scenari simulati

Lo studio idraulico del Fiume Dora Riparia ha riguardato lo stato di fatto (ante operam) e due scenari di progetto (post operam), al fine di definire la configurazione ottimale dell’argine oggetto del presente studio.

6.3.1 Ante operam.

La geometria ante operam è stata realizzata in conformità con quanto descritto nei paragrafi precedenti. Tale scenario rappresenta le attuali condizioni morfologiche dell’area di studio.

In particolare, gli elementi inseriti per permettere una modellazione geometrica accurata hanno incluso elementi quotati quali *base linear structure* come di seguito:

- BLS rilevato ferroviario esistente (quote LiDAR);
- BLS cavalcaferrovia (quote rilievo Italferr).

6.3.2 Post operam

Al fine di definire la configurazione ottimale dell’argine oggetto del presente studio, nonché di valutare l’effetto complessivo delle opere di mitigazione previste dall’Autorità di Bacino nell’area di studio, le simulazioni di progetto hanno interessato due configurazioni:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

- ✓ Scenario post operam – Interventi completi AdB: comprensivo di tutte le opere di mitigazione previste dall'AdbPo;
- ✓ Scenario post operam – Argine in progetto: post operam dell'argine oggetto del presente studio a meno delle altre opere di mitigazione pianificate.

Lo **Scenario post operam – Interventi completi AdB** ha interessato tutte le opere di mitigazione pianificate nel Tronco IV, compreso tra Borgone ed Avigliana, dello studio dall'AdB Po e ricadenti nel dominio di calcolo mono-bidimensionale. In particolare, sono state interessate le seguenti opere:

- Argine in progetto (DR-IS-06), oggetto del presente studio: tale argine è stato modellato come un muro ad altezza infinita di estensione planimetrica pari a quella prevista dall'AdbPo;
- Argini pianificati (DR-IS-07, DR-IS-08): tali argini, in assenza dei rispettivi progetti, sono stati modellati come muri ad altezza infinita di estensione planimetrica pari a quella prevista dall'AdbPo;
- Ponti 75-1P (intervento DR-OI-40), 76-2P e 76-1P (intervento DR-OI-39): tali elementi monodimensionali, in assenza dei rispettivi progetti non ancora realizzati, sono stati modellati innalzandone la quota di intradosso e realizzando un'unica campata così da assicurarne la “trasparenza idraulica” scopo degli interventi stessi.

La modellazione di tali opere, di cui non sono ancora state intraprese le attività progettuali, è stata realizzata mediante elementi e scelte modellistiche che permettessero il raggiungimento dello scopo per cui tali interventi sono stati pianificati, come descritto nelle rispettive relazioni (Studio AdbPo, Elaborato 3.4.2/2/4R).

In Figura 20 è possibile osservare l'ubicazione planimetrica degli interventi sopracitati.

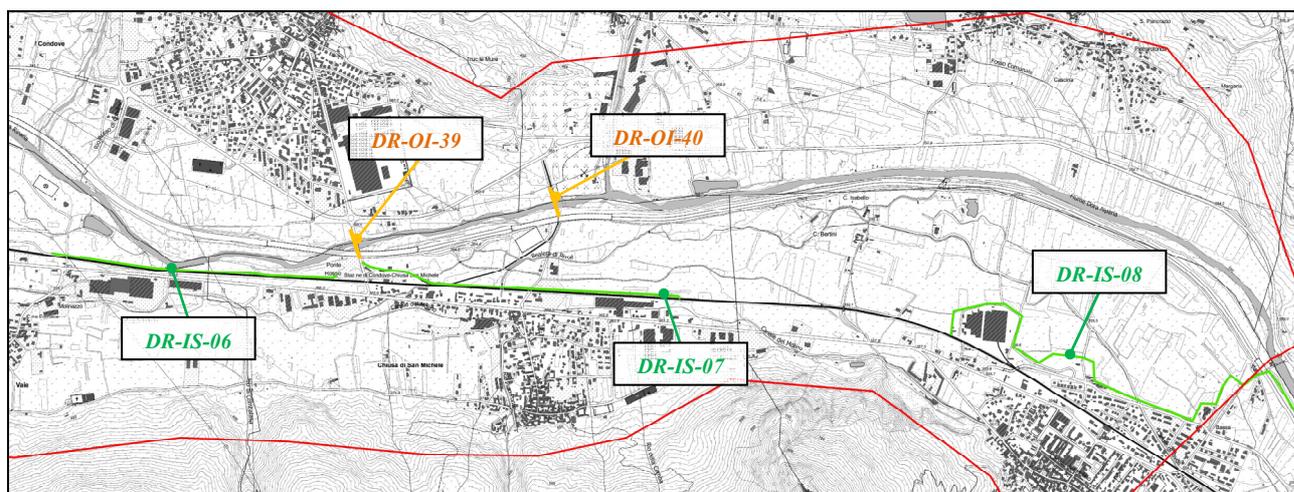


Figura 20 – Opere di mitigazione pianificate nell'area di interesse dallo studio dell'AdB Po

Lo **Scenario post operam – Argine in progetto** ha interessato la sola opera arginale in progetto, oggetto del presente studio. In particolare, a fronte dei risultati complessivi ottenuti nello Scenario post

operam – Interventi completi AdB, si è voluto indagare l'effetto dell'opera nel transitorio prima della realizzazione degli altri interventi previsti e valutarne l'estensione per un tratto di circa 400 m a ovest. La nuova linea arginale è prevista in affiancamento al rilevato ferroviario curvando nell'ultimo tratto in modo da raccordarsi con la rampa del cavalcaferrovia.

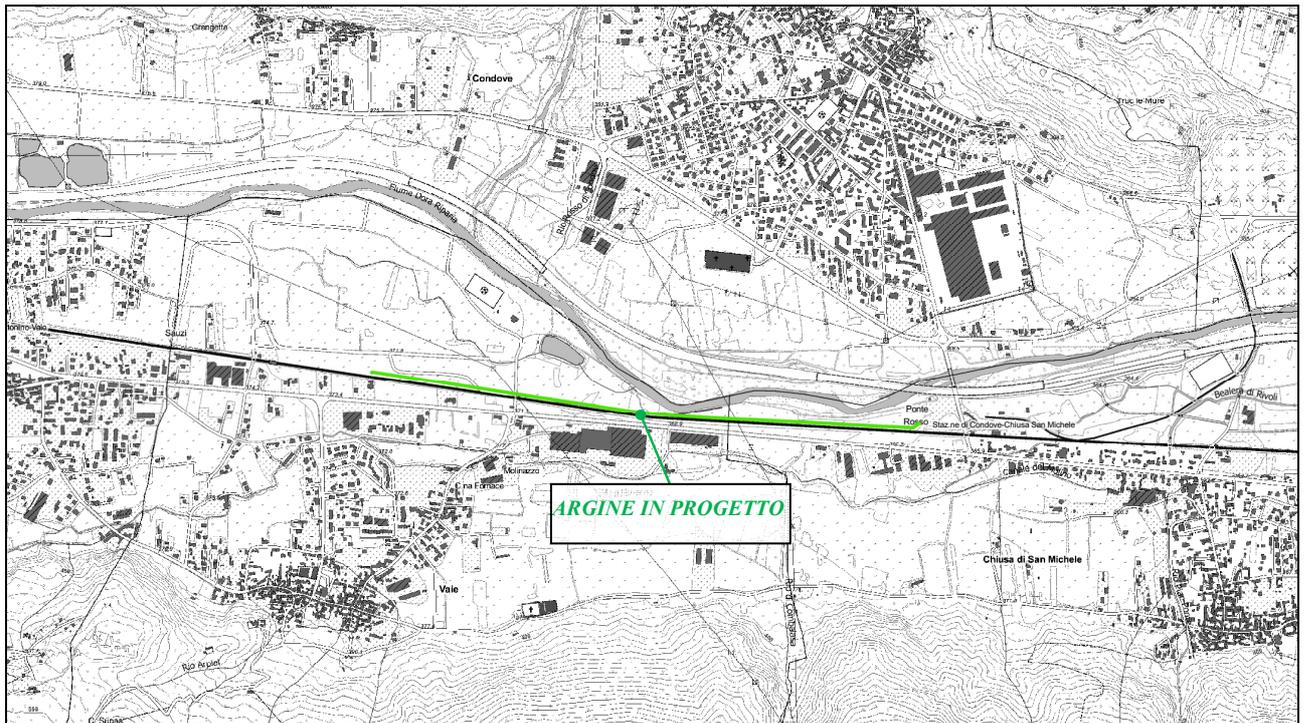


Figura 21 – Opera arginale in progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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 gli scenari di progetto analizzati.

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 è stata riscontrata la necessità di ridurre gli attuali campi di esondazione della piena bicentenaria con differenti sistemi di protezione, per questo motivo il tempo di ritorno di riferimento utilizzato nello studio idraulico per il progetto dell’argine è stato posto pari a 200 anni.

Per i risultati ante operam e post operam si rimanda anche agli elaborati grafici in scala 1:5.000.

7.1 Ante operam

I risultati dello scenario ante operam hanno permesso di riscontrare la presenza di allagamenti di entità variabile lungo tutto il tratto di studio (Figura 22). L’ estensione degli allagamenti risulta maggiore in destra idraulica per effetto di propagazione della piena esondata per insufficienza arginale nel tratto di monte.

Una valutazione fondamentale è relativa al fatto che la propagazione a sud della linea ferroviaria è dovuta al fenomeno di sormonto della stessa localizzato in corrispondenza del tratto interessato dal progetto dell’argine oggetto del presente studio (Figura 23).

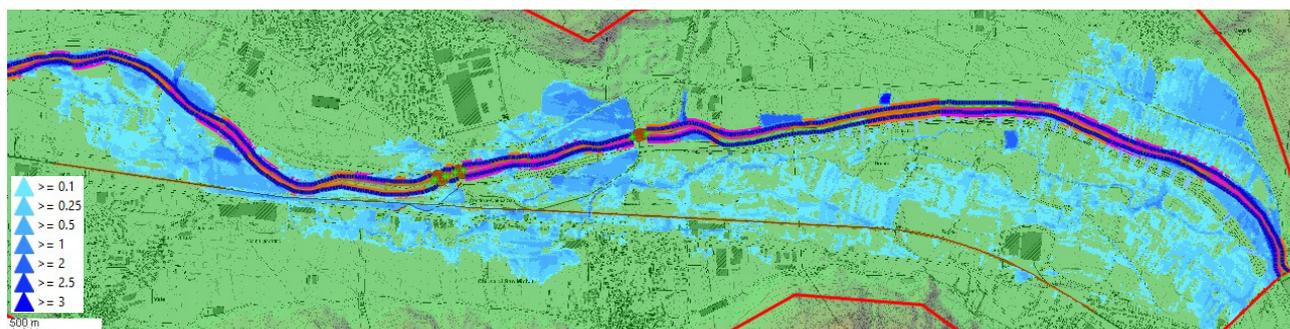


Figura 22 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l’evento TR200

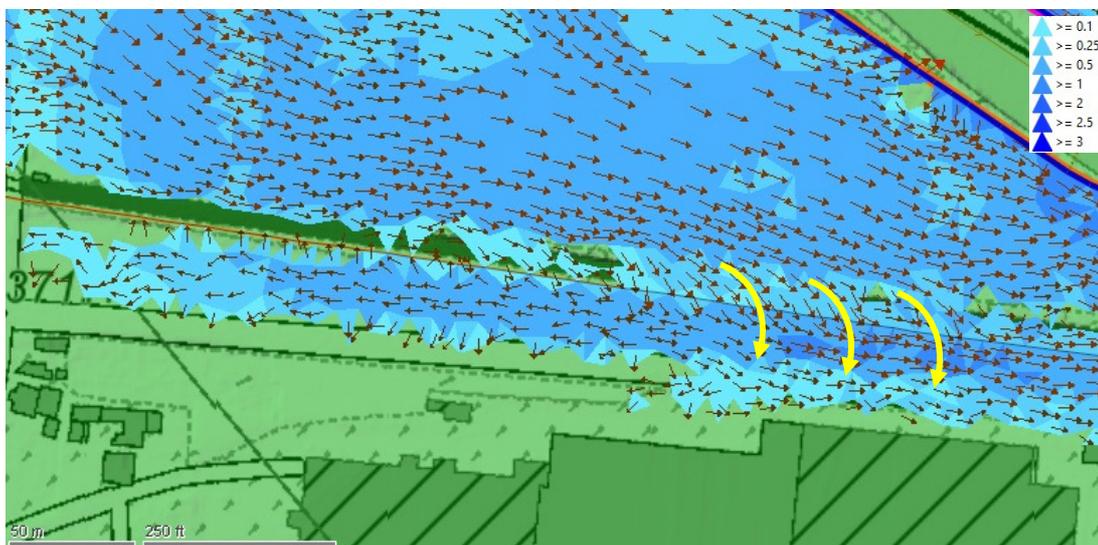


Figura 23 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR200 – dettaglio: sormonto della linea ferroviaria

In corrispondenza del rilevato del cavalcaferrovia, inoltre, pur non verificandosi sormonto dello stesso, l'onda di piena si propaga a valle attraverso le campate in corrispondenza della livelletta ferroviaria (Figura 24).

Si noti, infine, che gli allagamenti presenti a sud del rilevato ferroviario si propagano a nord dello stesso attraverso il canale irriguo Baelera di Rivoli, andando a contribuire agli allagamenti dovuti a insufficienze arginali lungo lo stesso tratto (Figura 25).

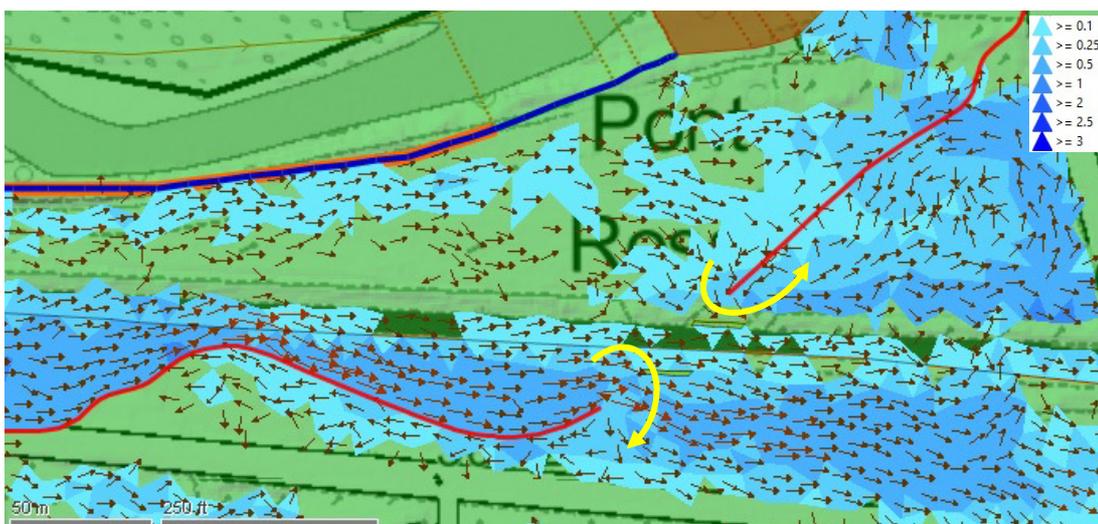


Figura 24 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR200 – dettaglio: cavalcaferroviaria

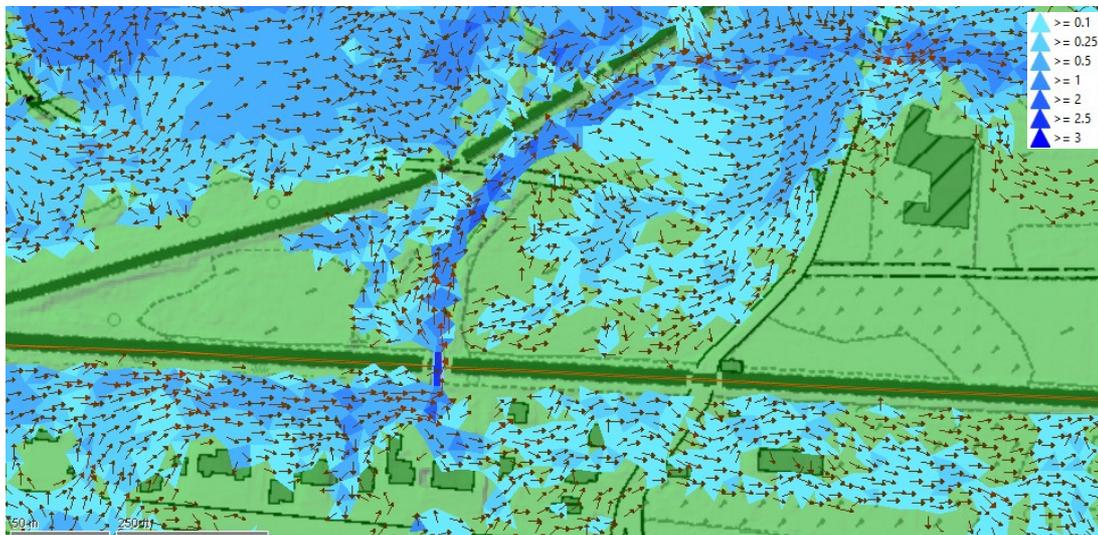


Figura 25 – Risultati della simulazione per lo scenario ante operam per l'evento TR200 – dettaglio: canale irriguo Baelera di Rivoli

7.2 Post operam

7.2.1 Scenario post operam – Interventi completi AdB

La simulazione condotta per lo scenario di progetto post operam comprensivo di tutte le opere pianificate dall'Autorità di Bacino per il tratto oggetto di studio ha permesso di verificare l'efficacia di tali opere di mitigazione. In particolare, si noti l'assenza di allagamenti a sud del tracciato ferroviario, non più sommontato grazie alla presenza dell'argine DR-IS-06 e DR-IS-07 (Figura 27).

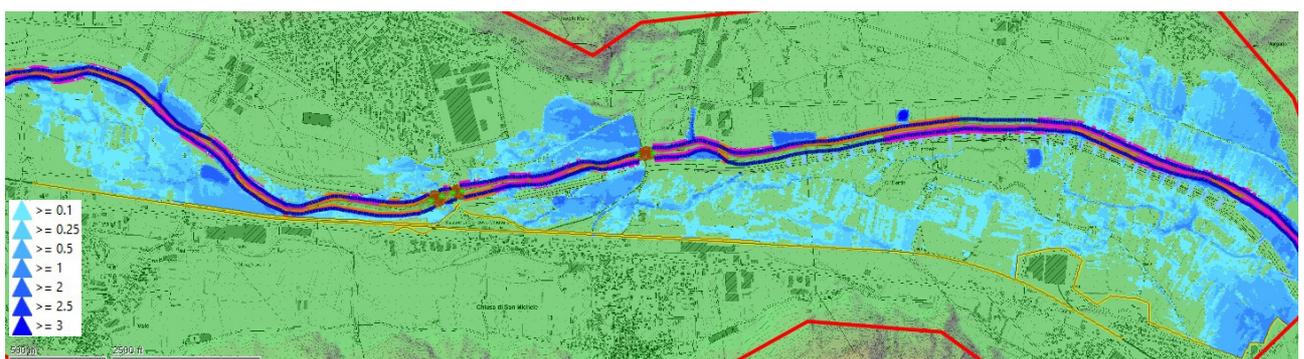


Figura 26 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Interventi completi AdB per l'evento TR200

L'argine DR-IS-06, pur contenendo l'onda di piena e impedendone la propagazione a sud della linea ferroviaria, non risulta di estensione sufficiente a proteggere la linea stessa da possibili allagamenti che potrebbero verificarsi a monte (Figura 27).

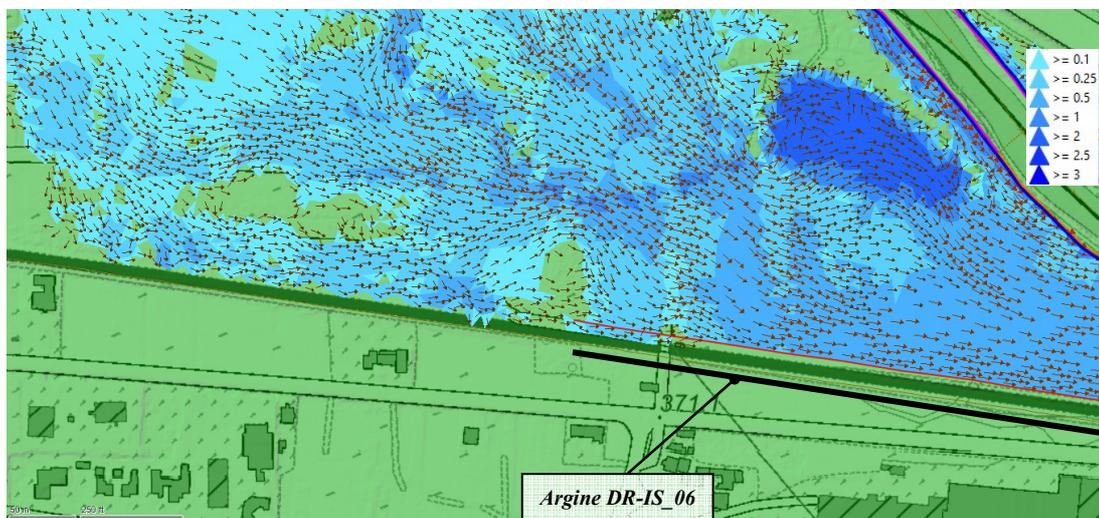


Figura 27 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Interventi completi AdB per l'evento TR200 – dettaglio: argine (DR-IS-06)

Pur non essendo presenti allagamenti a valle dell'opera in progetto e, in particolare, in corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione del PM di Condove, a favore di sicurezza è stata valutata l'estensione di tale argine per un tratto di circa 400 m verso ovest, come descritto nell'ambito dello scenario post operam – Argine in progetto.

7.2.2 Scenario post operam – Argine in progetto

Alla luce dei risultati ottenuti dalla modellazione di tutti gli interventi di mitigazione previsti per l'area di studio, si è ritenuto di estendere l'argine (DR-IS-06) previsto dalla pianificazione dell'AdB fino al limite dell'area allagata rilevata nei risultati descritti al paragrafo precedente. A favore di sicurezza, lo scenario di cui al presente paragrafo indaga gli effetti di un evento di piena caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni assumendo, come da situazione attuale, che le ulteriori opere di mitigazione non siano ancora state realizzate.

L'argine previsto dallo studio dell'AdB aveva una lunghezza di 1,420 km, nel progetto in essere da modelli più accurati e analisi di maggior dettaglio è stato prolungato a 1,760 km.

Come per lo scenario post operam – Interventi completi AdB, si rileva l'assenza di allagamenti a sud dell'opera in progetto e del tracciato ferroviario per tutto il suo sviluppo (Figura 28). Inoltre, il grado di sicurezza della linea ferroviaria risulta aumentato, non essendo la stessa più lambita dagli allagamenti (Figura 30). Si noti, infine, che l'intervento contribuisce alla riduzione dell'estensione delle aree allagate a valle, impedendo la propagazione dell'onda di piena a sud del rilevato ferroviario e, nuovamente, a nord dello stesso attraverso il canale irriguo Baelera di Rivoli. In tale configurazione, pertanto, gli allagamenti rilevati a valle sono dovuti alle sole insufficienze arginali lungo lo stesso tratto.

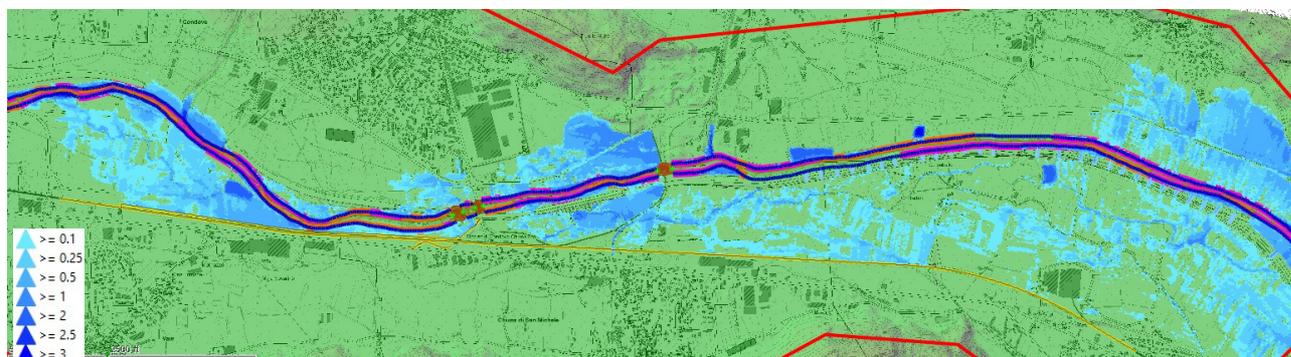


Figura 28 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Argine in progetto per l'evento TR200

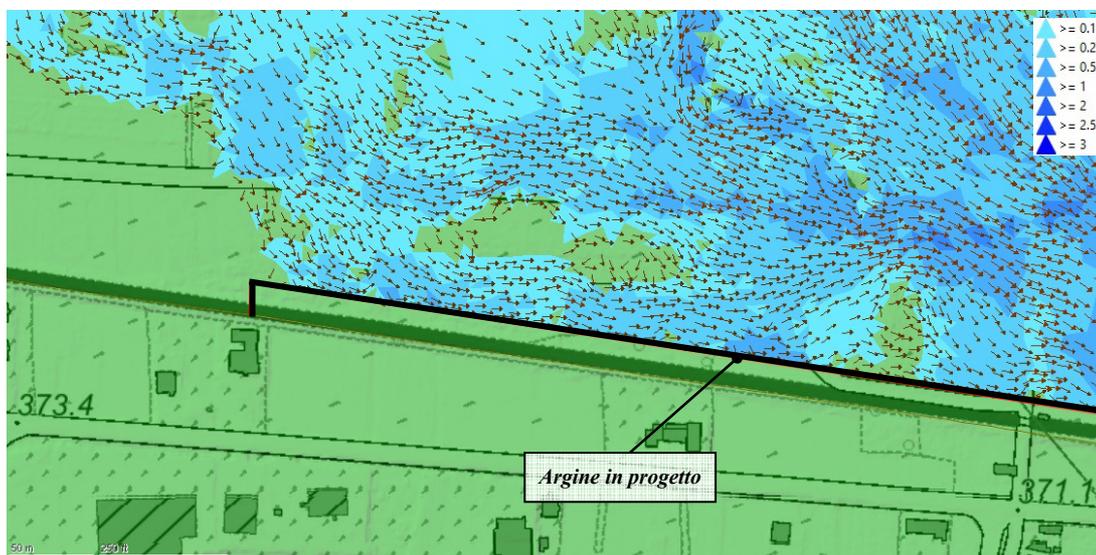


Figura 29 – Risultati della simulazione per lo Scenario post operam – Interventi completi AdB per l'evento TR200 – dettaglio: argine in progetto

Nel profilo idraulico (Elaborato NT0104D26FZID0002001A) sono rappresentati i livelli idrici ante e post operam – argine in progetto, oltre al profilo della sommità arginale, dimensionato così da garantire un franco di sicurezza idraulica di almeno 1.00 m rispetto al livello idrico ottenuto dal modello monodimensionale relativo all'evento con tempo di ritorno di 200 anni.

7.3 Confronto con i risultati PAI

I risultati ottenuti mediante implementazione del modello mono-bidimensionale in InfoWorks risultano in sostanziale accordo con i risultati dello studio di fattibilità PAI. Di seguito si riportano alcuni confronti effettuati tra i risultati del suddetto studio PAI e quelli relativi allo Scenario post operam – Argine in progetto.

In particolare, il profilo idrico risultante dalla simulazione post operam 2, ovvero senza interventi in alveo e pertanto uguale allo scenario ante operam quanto a dominio monodimensionale, presenta minime differenze localizzate (massimo 10 cm) imputabili a differenze del modello di calcolo ed

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

estensione delle sezioni stesse (Figura 30). In analogia, i risultati PAI riportati nel grafico di seguito non tengono in conto di interventi in alveo.

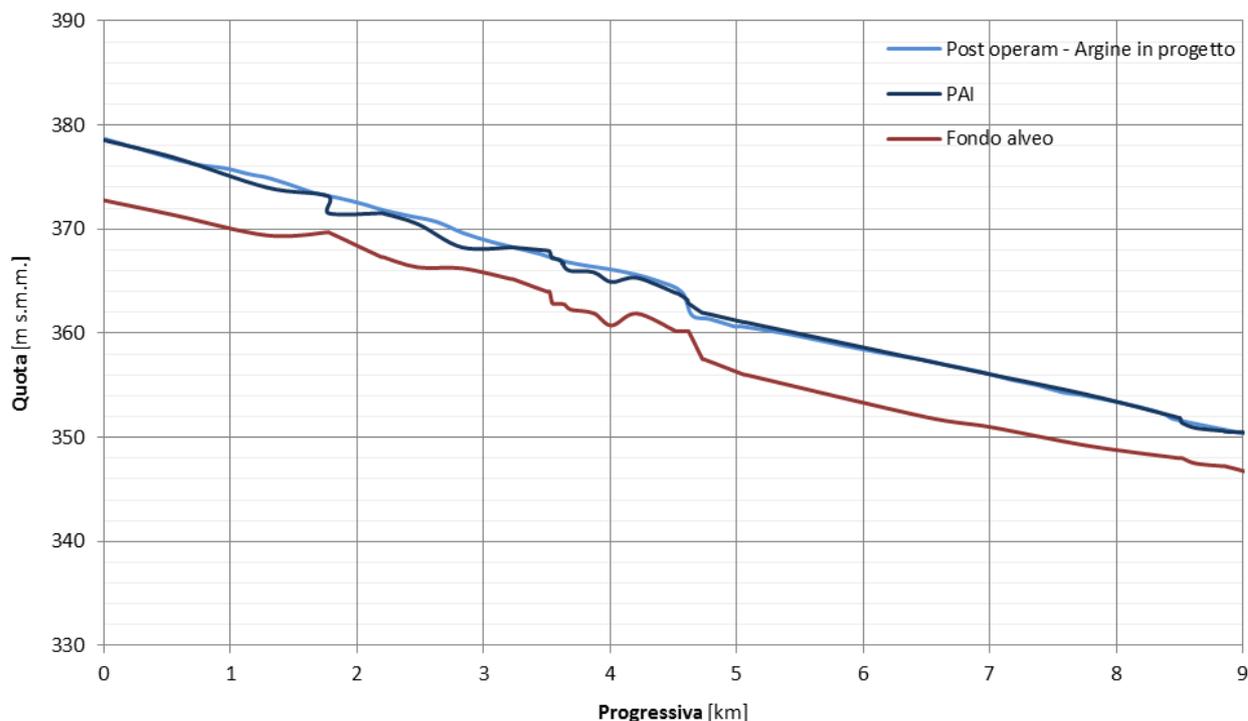


Figura 30 – Profilo idraulico fiume Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario post operam – Argine in progetto per l'evento TR200 e risultati PAI (nessun intervento in alveo)

Per quanto concerne l'estensione delle aree allagate, è possibile identificare alcune differenze imputabili al diverso tipo di modellazione (Figura 31). In particolare, in destra idraulica si verificano esondazioni per insufficienza arginale in entrambi gli studi, che presentano, però, allagamenti di conformazione diversa. Ciò è attribuibile alla differente modellazione dell'area esterna all'alveo, a carattere bidimensionale nel presente studio, che permette un'affidabile valutazione della propagazione dell'onda di piena nonché dei livelli d'acqua. Si noti, infine, l'assenza di allagamenti a sud del rilevato arginale in progetto per effetto dello stesso, opera già recepita nelle ripermetrazioni PAI del 2014.

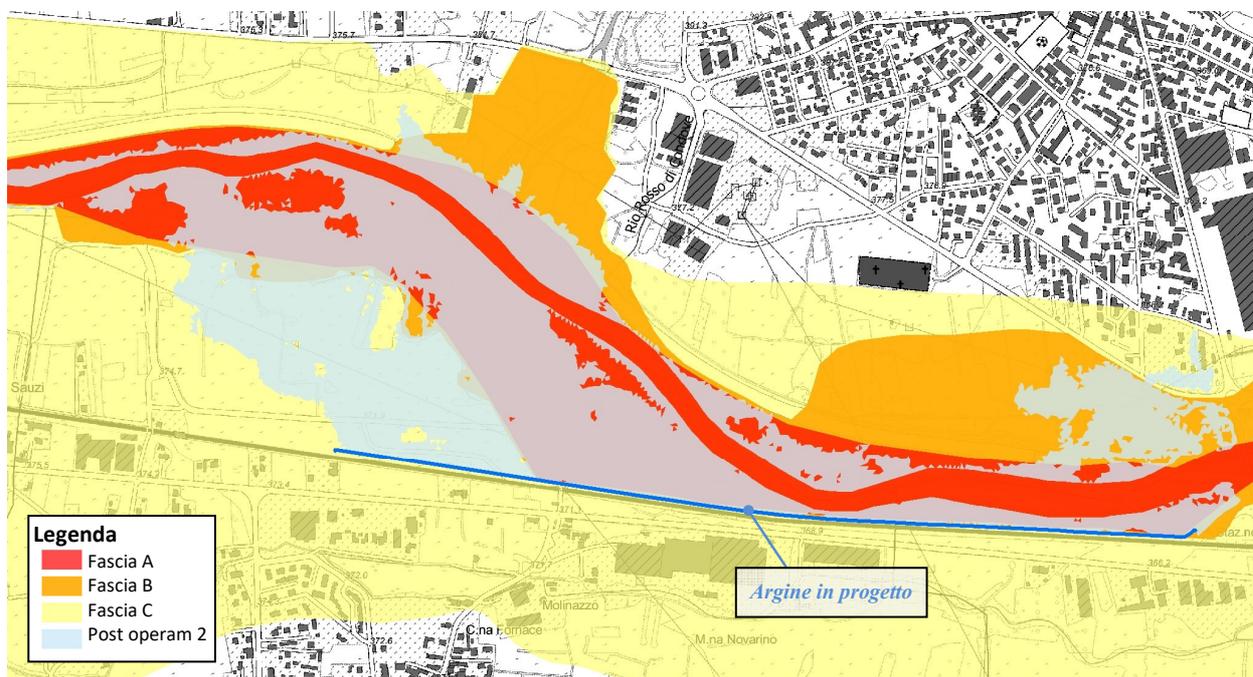


Figura 31 – Confronto risultati 2D Dora Riparia: risultati delle simulazioni per lo Scenario post operam – Argine in progetto per l’evento TR200 e fasce PAI (2014)

7.4 Rischio idraulico

In conformità con la metodologia PAI, è stata effettuata un’analisi di rischio idraulico negli scenari ante e post operam per la sola classe di pericolosità media, corrispondente all’evento di riferimento per il presente studio. Nel dettaglio, le mappe di rischio riportate di seguito sono state ottenute mediante incrocio tra probabilità media di allagamento e classi di danno derivate da “Land cover Piemonte: Classificazione uso del suolo”.

L’analisi dei risultati per gli scenari ante e post operam ha permesso di verificare l’impatto dell’intervento sul territorio circostante. Si evidenzia un netto miglioramento nell’area a sud della linea ferroviaria, non essendo più la stessa soggetta ad allagamenti ed essendo pertanto nullo il rischio corrispondente a una classe di pericolosità media. Il contenimento dell’onda di piena e relativa riduzione della sua propagazione dovuta all’intervento di mitigazione oggetto di studio, in analogia a quanto rilevato nell’analisi dei risultati (Paragrafo 7.2.2), si ripercuote favorevolmente anche nel territorio a valle, dove è possibile osservare una riduzione del rischio associato ad un evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si può, dunque, affermare che l’opera non impatta negativamente il territorio su cui insiste, aumentando la sicurezza idraulica dei comuni di Vaie e Chiusa di San Michele, nonché della linea ferroviaria e annesso PM di Condove.

Di seguito si riportano i risultati dell’analisi condotta ante operam e post operam per lo Scenario post operam – Argine in progetto nell’area su cui insiste l’intervento. I risultati relativi all’intera area di studio,

nonché di tutte le simulazioni svolte, sono disponibili negli Elaborati NT0104D26P5ID0002007A, NT0104D26P5ID0002008A e NT0104D26P5ID0002009A.

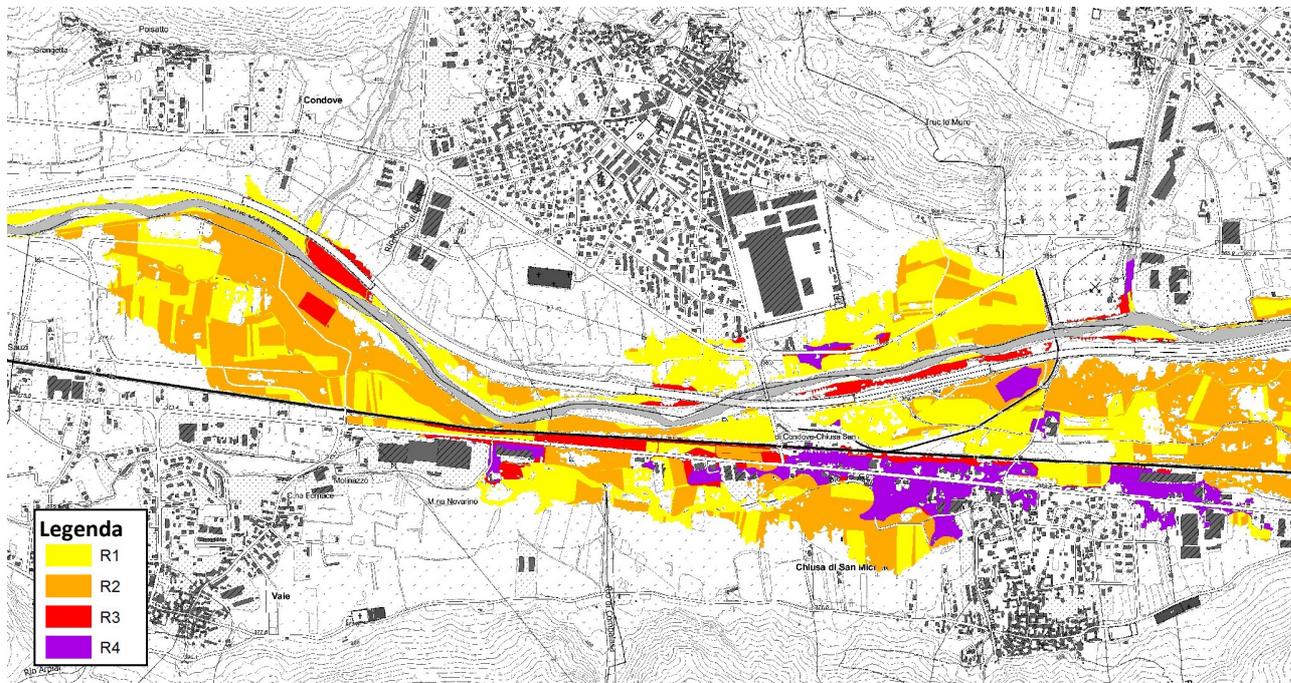


Figura 32 – Rischio per lo scenario ante operam

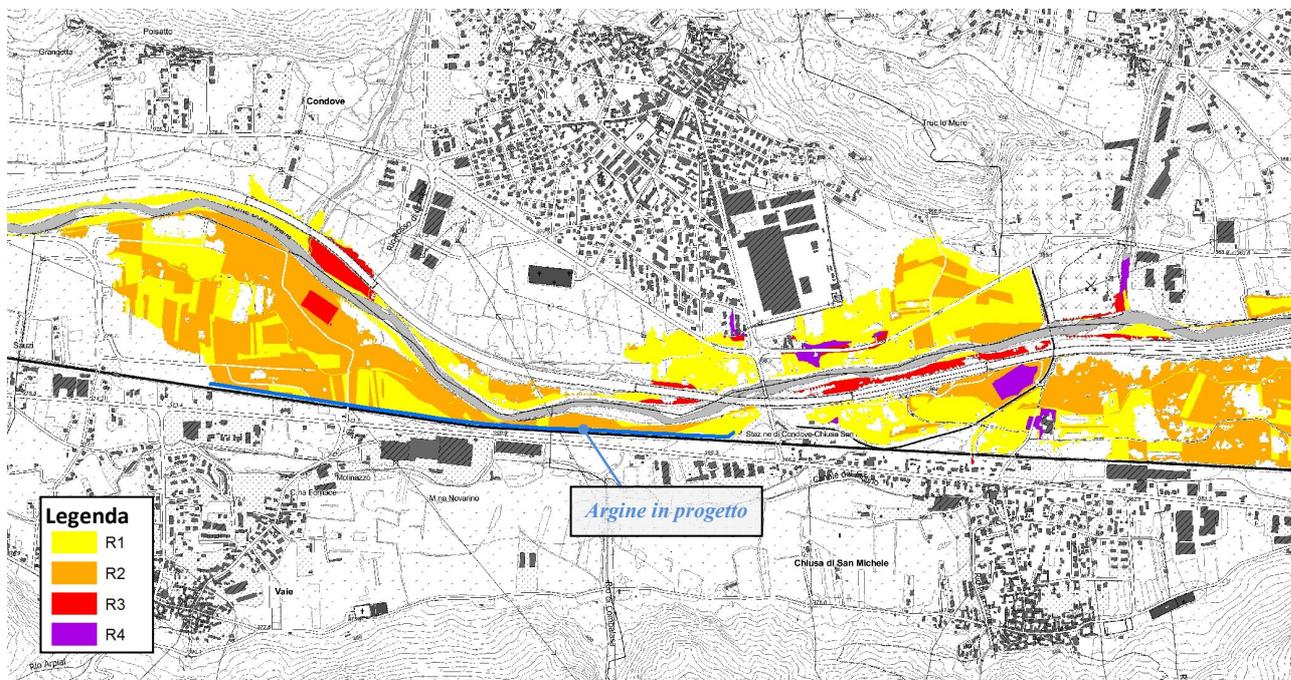


Figura 33 – Rischio per lo Scenario post operam – Argine in progetto

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

8 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Nel presente capitolo viene analizzata la compatibilità idraulica del Progetto Definitivo del Posto Movimento (PM) di Condove.

8.1.1 *Analisi dello stato di fatto*

Dall'analisi della normativa vigente in materia di aree di esondazione si evidenzia che, nella configurazione attuale precedente alla realizzazione delle opere arginali pianificate, l'area interessata dalla realizzazione del PM di Condove ricade nella zona con probabilità di alluvione media (Tr=200 anni) per l'intero tratto di intervento.

L'analisi idraulica effettuata nell'ambito del presente studio idraulico conferma i risultati ottenuti nell'ambito dell'indagine del PAI, con superamento delle strutture esistenti in frodo per i livelli idrici della piena di riferimento e conseguente allagamento di parte dell'area industriale di Vaie e di parte dell'abitato di Chiusa di S. Michele, nonché la sede ferroviaria della linea Torino-Bardonecchia e la S.S. 25.

È stata, dunque, confermata la necessità di inserire una nuova linea difensiva a ridosso della linea ferroviaria al fine di mettere in sicurezza le aree retrostanti.

8.1.2 *Descrizione dell'intervento di mitigazione*

L'intervento di mitigazione, che corrisponde all'argine in progetto, risulta localizzato in destra idraulica della Dora Riparia tra la zona industriale di Vaie e l'abitato di Chiusa San Michele e ha uno sviluppo complessivo previsto di circa 1760 m.

L'opera che si prevede di realizzare è costituita da un rilevato chiuso in sinistra da un muro di sostegno con sovrastante recinzione metallica, e avrà la funzione di proteggere dall'allagamento le aree edificate retrostanti nonché le infrastrutture presenti. Il rilevato in testa ha una larghezza di 4,00 m per garantire lo svolgimento delle operazioni di manutenzione in sicurezza, il muro ha altezza tale da garantire un franco di 1m sul livello di massima piena duecentennale.

Il muro di protezione idraulica in c.a. è gettato in opera e realizzato per conci, fra un concio e l'altro saranno realizzati dei giunti impermeabili tipo "Joint" in modo da garantire la tenuta idraulica.

Di seguito si riporta la sezione tipo prevista per tale intervento.

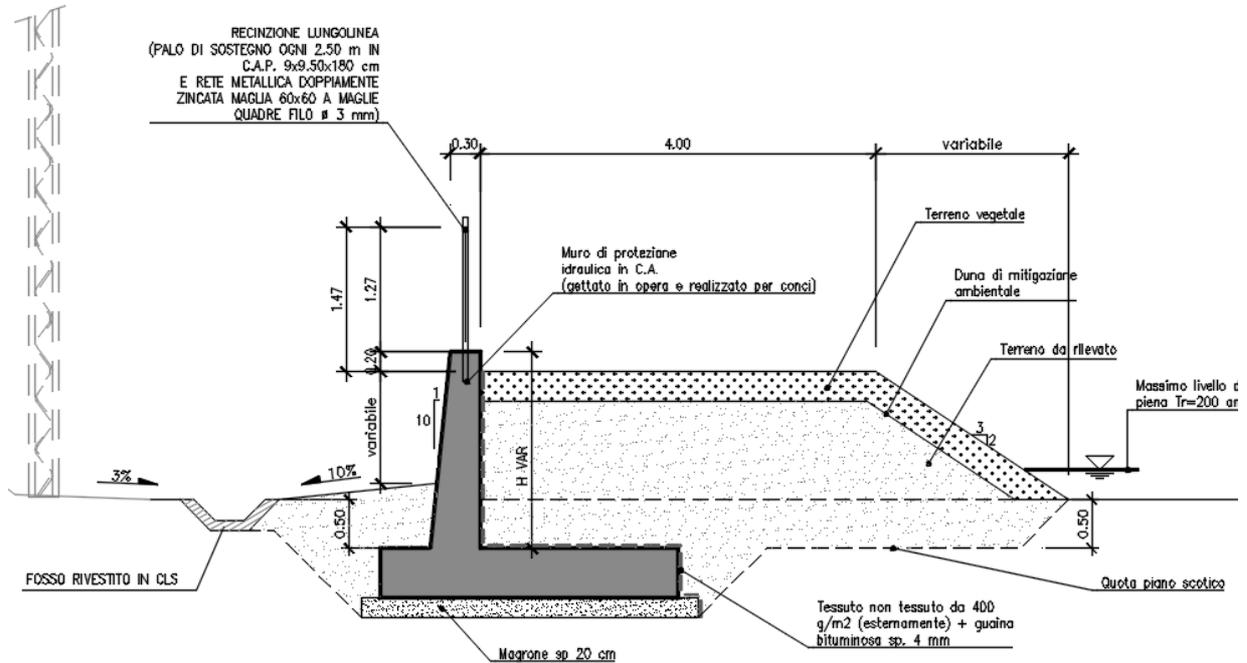


Figura 34 – Sezione argine di difesa

Le principali caratteristiche geometriche sono riassunte di seguito:

- altezza media di circa 2.50 metri sopra al piano campagna;
- pendenza delle scarpate lato fiume e lato campagna pari a 3 (in orizzontale) su 2 (in verticale);
- larghezza in sommità pari a 4.00 metri.

Il paramento lato fiume sarà rivestito in massi di cava di peso compreso fra 1500 e 2000 kg/cad per una maggiore durabilità del rilevato arginale

L'intervento nel complesso prevede la realizzazione in sinistra, rispetto all'attuale sede ferroviaria, del nuovo PM e in destra l'argine.

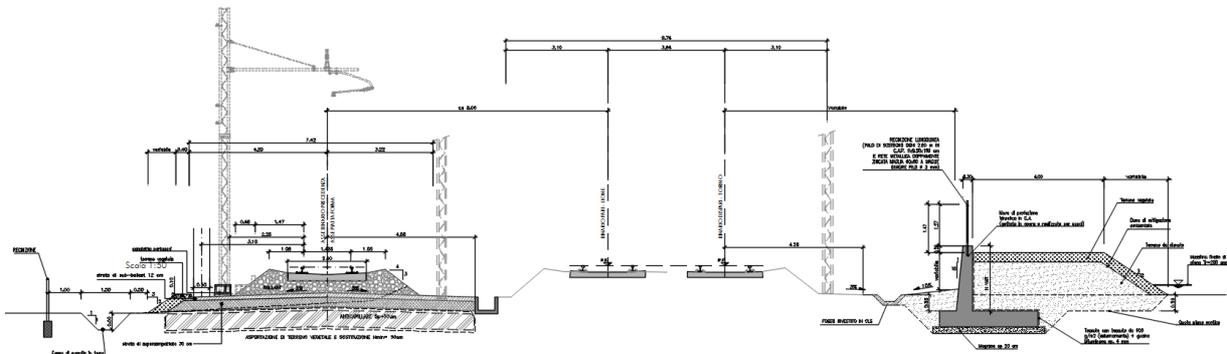


Figura 35 – Sezione tipo opera in affiancamento alla linea ferroviaria

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

8.1.3 Analisi di compatibilità

In base alla tavola di perimetrazione delle aree a rischio esondazione del PGRA del Distretto Padano, l'intervento in progetto ricade all'interno dell'area interessata da alluvioni poco frequenti (P2) del reticolo principale.

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 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'analisi di compatibilità idraulica degli interventi in progetto richiede quindi l'analisi delle Norme di Attuazione del Piano di Bacino Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico del Fiume Po. L'intervento in questione, come da confronto con mappe PAI antecedenti all'aggiornamento del 2014, ricade in fascia B, per la quale vale quanto segue:

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.

[...]

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO				
RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A FOGLIO 41 di 48

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.

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 modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. 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 al 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 al PM di Condove si può affermare che nella configurazione attuale (ossia senza la presenza del rilevato arginale pianificato dal PAI):

- il posto movimento risulta essere di "interesse pubblico" e "non altrimenti localizzabile";
- l'intervento relativo a tale PM non costituisce ostacolo al deflusso delle piene, non modificando né le condizioni di rischio nell'area in cui insiste, né delle aree limitrofe (monte-valle). In particolare, sono stati rilevati allagamenti che interessano parte della zona industriale di Vaie e parte dell'abitato di Chiusa di S. Michele, nonché la sede ferroviaria della linea Torino-Bardonecchia e la S.S. 25;
- il PM non ostacola né vanifica l'effetto degli interventi strutturali previsti dal PAI.

Nella configurazione finale in cui la realizzazione del PM di Condove è successiva alla realizzazione dell'argine di lunghezza 1760 m, alla luce dei risultati delle simulazioni condotte nonché dell'analisi di rischio svolta per la classe di pericolosità media, si garantisce:

- ✓ *la messa in sicurezza dell'area industriale di Vaie e di parte dell'abitato di Chiusa di S. Michele rispetto alla piena con Tr 200 anni;*
- ✓ *la messa in sicurezza della linea ferroviaria Torino-Bardonecchia;*
- ✓ *la messa in sicurezza del PM di Condove. L'intervento risulta compatibile idraulicamente con le normative in vigore non ricadendo in area di esondazione della Dora Riparia.*

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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 il rilevato arginale per la protezione del comune di Chiusa di San Michele.

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 e i principali attraversamenti minori sul rilevato autostradale presenti nel dominio di calcolo bidimensionale, nonché assicurando la corretta rappresentazione plano-altimetrica del rilevato del cavalcaferrovia. 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**, quali estese aree di allagamento nel dominio di calcolo e il **sormonto della linea ferroviaria** per l'evento di riferimento. Ciò conferma i risultati dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po" (AdbPo, 2003), nell'ambito del quale erano state definite appropriate opere di mitigazione. Pertanto, si è proceduto alla valutazione di diversi scenari al fine di verificare la soluzione di progetto pianificata per la messa in sicurezza della linea ferrovia e dei comuni a sud della stessa, Vaie e Chiusa di S. Michele.

Lo studio dello scenario **post operam** concernente la totalità delle opere di mitigazione previste dall'AdbPo per il tratto oggetto di studio ha permesso di verificare l'efficacia della soluzione progettuale a risolvere le criticità precedentemente riscontrate. Si rilevano, però, allagamenti di estensione maggiore rispetto alle perimetrazioni PAI, motivo per cui si è ritenuto opportuno **estendere il rilevato arginale in progetto di circa 400 m a ovest**.

I risultati delle simulazioni relative a tale scenario, Scenario post operam – Argine in progetto, hanno evidenziato l'efficacia dell'opera in progetto per la difesa della linea ferroviaria e dei comuni limitrofi anche nel transitorio prima della realizzazione della totalità degli interventi programmati dall'AdbPo. L'assenza di allagamenti in tale porzione di territorio risulta, di conseguenza, nell'**assenza di rischio** idraulico per eventi corrispondenti alla classe di pericolosità media a sud del rilevato arginale in progetto. L'intervento, inoltre, non influisce negativamente sul rischio valutato nell'area a nord dello stesso.

L'analisi di compatibilità ha permesso di evidenziare che l'intervento relativo alla realizzazione del **PM di Condove** non costituisce ostacolo al deflusso delle piene nelle configurazioni attuale e futura e risulta, pertanto, **conforme alle prescrizioni** del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA BUSSOLENO – AVIGLIANA LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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:

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

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

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 LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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 LOTTO 04 - PM SFALSATO					
	RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NTOI	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A

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 LOTTO 04 - PM SFALSATO					
RELAZIONE IDRAULICA MODELLO BIDIMENSIONALE	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO ID 0002 003	REV. A	FOGLIO 48 di 48

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.