

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE**

**LOTTO COSTRUTTIVO 1 / LOT DE CONSTRUCTION 1
CANTIERE OPERATIVO 02C/CHANTIER DE CONSTRUCTION 02C
RILOCALIZZAZIONE DELL'AUTOPORTO DI SUSÀ
DEPLACEMENT DE L'AUTOPORTO DE SUSE
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION
CUP C11J05000030001 - CIG 682325367F**

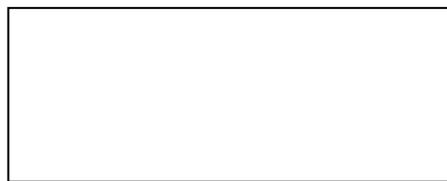
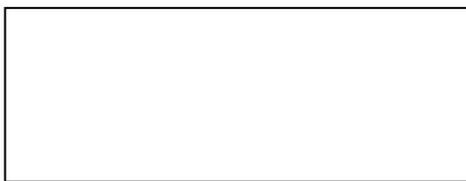
IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/04/2017	Première diffusion / Prima emissione	L. MARTINA (TEKNE DI MARTINA E ASS.)	L.BARBERIS (MUSINET Eng.)	F. D'AMBRA (MUSINET Eng.)
A	31/08/2017	Revisione a seguito commenti TELT Révision suite aux commentaires TELT	L. MARTINA (TEKNE DI MARTINA E ASS.)	L.BARBERIS (MUSINET Eng.)	F. D'AMBRA (MUSINET Eng.)
B	30/04/2018	Recepimento istruttoria validazione RINA Check	R. BOERO (MUSINET ENG.)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)

1	0	2	C	C	1	6	1	6	7	O	I	A	0	O	C
Lot Cos. Lot.Con.	Cantiere operativo/ Chantier de construction		Contratto/Contrat				Opera/Oeuvre			Tirato Tronçon	Parte Partie				

E	I	D	R	E	0	0	9	0	B
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Oggetto Object		Numero documento Numéro de document			Indice Index	



SCALA / ÉCHELLE
-

I PROGETTISTI/LES DESIGNERS



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI
Albo di Torino
N° 2736

L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR

IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. PLUVIOMETRIA	6
2.1 Precipitazioni intense di durata superiore all'ora	6
2.1.1 Elaborazione statistica.....	7
2.1.2 Curve di possibilità climatica nelle stazioni di misura utilizzate.....	7
2.1.3 Regionalizzazione delle curve di possibilità climatica	8
2.2 Precipitazioni intense di durata inferiore all'ora	10
3. INQUADRAMENTO SULLA PIANIFICAZIONE VIGENTE.....	13
3.1 Inquadramento dell'opera in relazione alle fasce PAI.....	13
3.2 Inquadramento dell'opera in relazione al Piano di Gestione Alluvioni	15
4. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	18
4.1 Premessa	18
4.2 Risultati delle simulazioni e delle analisi idrauliche condotte.....	18
4.3 Risultati dello scenario attuale - SIM-A	19
4.4 Risultati dello scenario attuativo del limite B di progetto del PAI - SIM-B	26
4.5 Risultati dello scenario di progetto - SIM-C.....	35
4.6 CONCLUSIONI	42

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1 – Corografia dell'area di intervento.....	5
Fig. 2 - Ubicazione delle stazioni pluviometriche utilizzate.....	6
Fig. 3 - Distribuzione regionale del parametro a della curva di possibilità climatica per Tr20 anni.....	9
Fig. 4 - Distribuzione regionale del parametro n della curva di possibilità climatica per Tr20 anni.....	9
Fig. 5 - Interpolazione esponenziale dei parametri della curva di possibilità climatica per tempo di ritorno 25 anni ottenuti a partire dai dati regionalizzati (durate superiori ora).....	10
Fig. 6 - Andamento del parametro $\rho(t)$ ottenuto in diversi studi.....	11
Fig. 7 -- Fasce PAI.....	14
Fig. 8 –stralcio Carta della pericolosità da alluvione	16
Fig. 9 – stralcio Carta del rischio da alluvione.....	17
Figura 10 - Scenario attuale (SIM-A). Profilo longitudinale lungo l'alveo inciso della Dora Riparia rappresentante l'involuppo delle massime altezze d'acqua e delle massime portate al colmo raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni.	23
Figura 11 - Scenario attuale (SIM-A). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle altezze d'acqua in corrispondenza del transito del colmo di piena e campo dei vettori velocità.....	24

Figura 12 - Scenario attuale (SIM-A). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo libero raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto.....	25
Figura 13 - Scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle massime altezze d'acqua e campo dei vettori velocità..	29
Figura 14 - Scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo.....	30
Figura 15 - Differenze tra le quote massime di pelo libero relative allo scenario attuativo del limite B di progetto e quelle relative allo scenario attuale (SIM-B - SIM-A).	31
Figura 16 - Scenario SIM-B. Profilo longitudinale lungo l'alveo inciso della Dora Riparia rappresentante l'inviluppo delle massime altezze d'acqua e delle massime portate al colmo raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni.	34
Figura 17 - Particolare della batimetria del modello 2D a maglia 2x2 m impiegata per lo scenario SIM-C.	36
Figura 18 - Scenario di progetto (SIM-C). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle altezze d'acqua in corrispondenza del transito del colmo di piena e campo dei vettori velocità.....	38
Figura 19 - Scenario di progetto (SIM-C). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo libero raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto.....	39
Figura 20 - Scenario di progetto (SIM-C). Particolare nella zona di intervento della distribuzione delle velocità massime di deflusso.....	40
Figura 21 - Differenze tra le quote massime di pelo libero relative allo scenario di progetto complessivo e quelle relative allo scenario attuativo del limite B (SIM-C - SIM-B).	41
Figura 22 - Confronto tra l'idrogramma di piena in ingresso al modello (linea nera) e gli idrogrammi in uscita dal modello nei tre scenari simulati.	43

1. Introduzione

La presente relazione illustra i risultati dello Studio idrologico e idraulico finalizzato al

- dimensionamento ed e verifica della rete di drenaggio delle acque meteoriche in progetto per l'autostrada A32 (Torino - Bardonecchia) nel tratto ricadente in località San Didero
- Verifica della compatibilità idraulica dello stesso

In questa area sono previsti:

- la realizzazione del nuovo Autoporto, ubicato in adiacenza al tracciato autostradale A32 in golena sinistra della Dora Riparia, interessata dall'esondazione delle piene di maggiore intensità;
- la realizzazione del nuovo svincolo utile all'interscambio di traffico con la viabilità minore esistente, nelle direzioni Torino e Bardonecchia;
- l'adeguamento della sede autostradale A32 (interclusa tra le rampe di approccio allo svincolo) nel tratto compreso tra i km 24+270 e 25+530 circa.

La localizzazione del tratto autostradale oggetto degli interventi sopra descritti è riportata nella seguente Fig. 1.

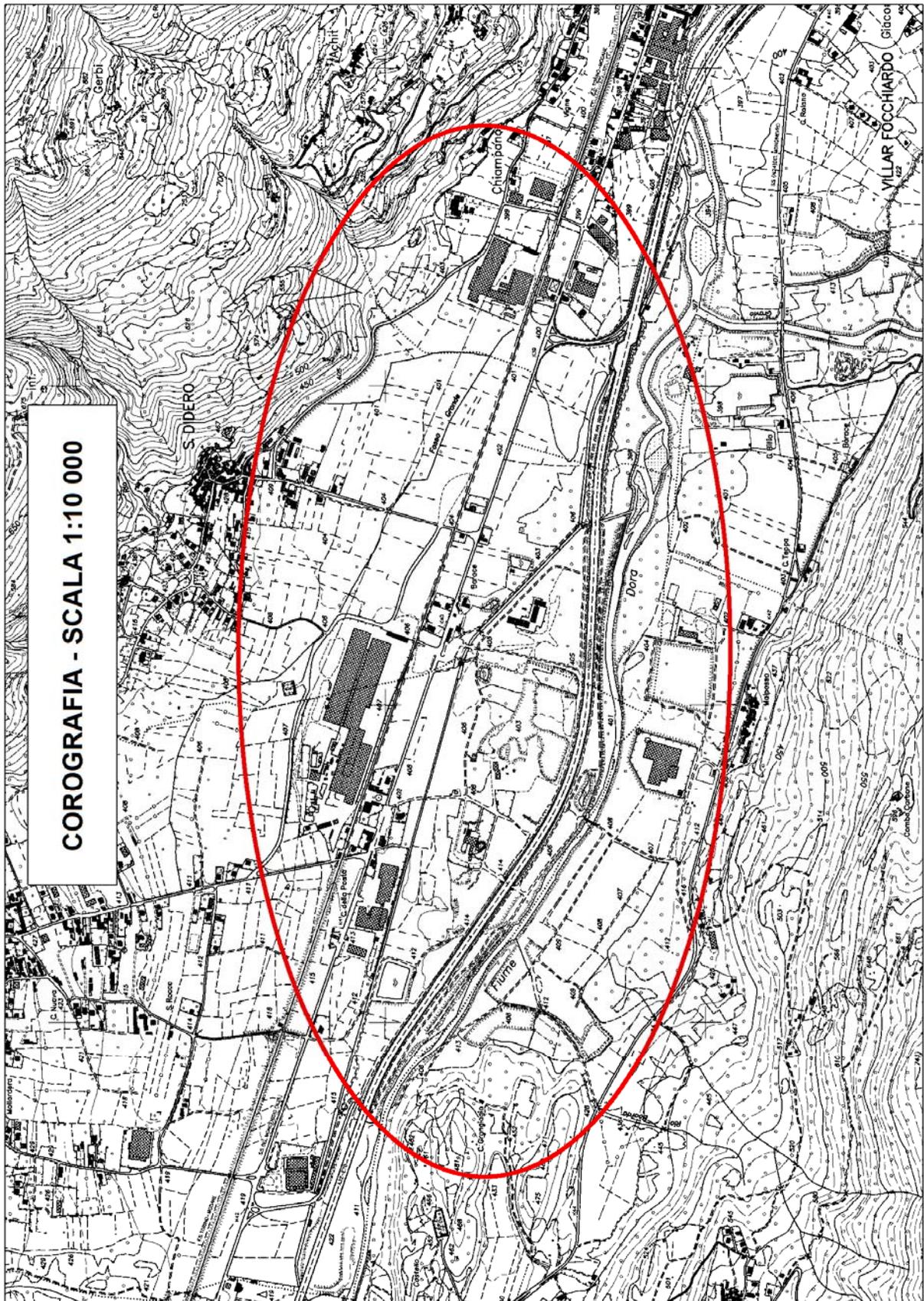


Fig. 1 – Corografia dell'area di intervento.

2. Pluviometria

Il calcolo delle portate meteoriche è stato eseguito sulla base delle precipitazioni intense regionalizzate per tempo di ritorno 25 anni e durata inferiore all'ora (desunte da quelle di durata superiore all'ora).

2.1 Precipitazioni intense di durata superiore all'ora

I dati pluviometrici sono stati desunti dagli Annali Idrologici pubblicati dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma. Tali dati sono indispensabili a determinare le leggi di possibilità climatica per tempo di ritorno assegnato, al fine del calcolo delle massime portate meteoriche di riferimento per la progettazione.

In Tab. 1 ed in Fig. 2 si riportano le caratteristiche e l'ubicazione delle stazioni di registrazione presenti nei territori limitrofi all'autostrada A32, nelle quali esistono serie storiche di massima intensità di pioggia per durate superiori all'ora.

Codice stazione	Denominazione	Bacino idrografico	Periodo di misura		Numero dati di osservazione	Coordinate UTM	
			Anno inizio	Anno fine		Est	Nord
1383	Bussoleno	Dora Riparia	1950	1986	26	353 450	4 999 731
1385	S. Valeriano	Dora Riparia	1951	1977	23	362 585	4 997 675
1386	Mocchie	Dora Riparia	1949	1973	23	365 246	4 999 470

Tab. 1 - Caratteristiche delle stazioni di misura utilizzate.

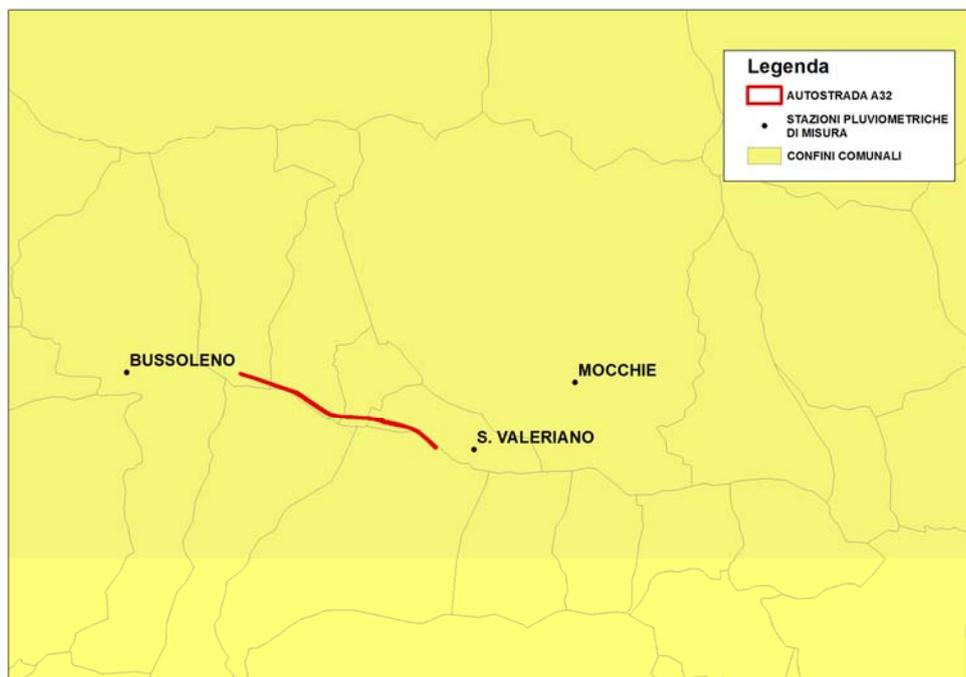


Fig. 2 - Ubicazione delle stazioni pluviometriche utilizzate.

2.1.1 Elaborazione statistica

Le su elencate serie storiche di precipitazione intensa di durata superiore all'ora, sono state elaborate statisticamente mediante una procedura di regolarizzazione, al fine di determinare le curve di possibilità climatica $h = a \cdot t^n$ sulle stazioni di registrazione.

La regolarizzazione per assegnati tempi di ritorno è avvenuta utilizzando diverse leggi probabilistiche di previsione. Ad ogni serie storica vengono adattati i seguenti tipi di distribuzione probabilistica:

1. distribuzione log-normale (Galton)

$$f(y) = \frac{0.3989}{ys} * e^{-(\ln y - m)^2 / 2s^2} dy$$

con parametri s,m.

2. distribuzione di Pearson Type III (funzione Gamma)

$$f(y)dy = \frac{1}{s\Gamma(p)} * \left(\frac{y-a}{s}\right)^{(p-1)} * e^{-\left(\frac{y-a}{s}\right)} dy$$

con parametri s,p,a,

3. distribuzione di Fischer Typpet Type I (Gumbel)

$$f(y)dy = \frac{1}{a} * e^{-\left(\frac{y-z}{a}\right) - e^{-\left(\frac{y-z}{a}\right)}} dy$$

con parametri a,z.

La stima dei parametri avviene utilizzando il metodo della massima verosimiglianza (maximum likelihood). Noti i parametri per i diversi tipi di distribuzione, i valori richiesti di Y di pioggia massima per un assegnato tempo di ritorno soddisfano la condizione per cui l'integrale esteso tra Y e infinito di $F(y) dy$ sia uguale a $1/(Tr)$, dove Tr è il tempo di ritorno assegnato; tale valore rappresenta la probabilità che in un anno l'altezza di pioggia superi Y.

Per indirizzare la scelta del tipo di distribuzione che meglio si adatta alla serie storica delle osservazioni, vengono calcolati i valori di SQM e PROB.

Il primo rappresenta lo scarto quadratico medio degli scostamenti tra le distribuzioni teoriche ed osservate delle frequenze di non superamento.

Il secondo rappresenta la probabilità, secondo il test di Kolgomorov Smirnov, che la distribuzione teorica rappresenti adeguatamente la distribuzione osservata. In particolare i valori di Ymp rappresentano le massime altezze di pioggia di diversa durata, soddisfacenti la condizione di massima verosimiglianza. La legge probabilistica che meglio rappresenta le distribuzioni è risultata quella di Gumbel.

2.1.2 Curve di possibilità climatica nelle stazioni di misura utilizzate

I risultati dei parametri a e n della curva di possibilità climatica $h = a \cdot t^n$, regolarizzati secondo Gumbel, sono riportati in Tab. 2.

Codice stazione	Denominazione	a10	n10	a20	n20	a50	n50	a100	n100	a200	n200	a500	n500
1383	BUSSOLENO	24.0 3	0.45 7	27.4 7	0.45 8	31.9 4	0.46 0	35.2 8	0.46 1	38.6 1	0.46 2	43.0 0	0.46 3
1385	S. VALERIANO	30.5 8	0.38 4	34.7 6	0.38 2	40.1 8	0.37 9	44.2 3	0.37 7	48.2 8	0.37 5	53.6 1	0.37 3
1386	MOCCHIE	38.2 4	0.35 8	44.0 0	0.35 5	51.4 0	0.34 9	56.9 8	0.34 5	62.5 4	0.34 2	69.8 8	0.33 8

Tab. 2 - Parametri a e n delle serie storiche di durata superiore all'ora regolarizzate per tempo di ritorno 10, 20, 50, 100, 200, 500 anni.

2.1.3 Regionalizzazione delle curve di possibilità climatica

Le curve di possibilità climatica, definite sulla singola stazione di misura, danno una rappresentazione puntuale della legge caratteristica di pioggia; per ottenere la distribuzione della precipitazione sulla porzione di territorio ricompreso tra le stazioni strumentate in precedenza considerate, si è operata una regionalizzazione dell'informazione intensa pluviometrica oraria, mediante ragguaglio alla superficie dei parametri a ed n delle curve di possibilità climatica, secondo una maglia costituita da un'area di dimensioni pari a 4 km²; l'operazione è stata eseguita utilizzando il metodo KRIGING.

Tale procedura permette di definire in una qualsiasi area di un territorio (bacino idrografico, infrastruttura autostradale..), un'altezza di pioggia per assegnati durate e tempo di ritorno.

I dati regionalizzati sono stati confrontati quelli contenuti all'interno della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" redatta dall'Autorità di bacino del fiume Po; tale confronto ha mostrato piena compatibilità e congruenza tra i parametri di pioggia "a" ed "n".

Il tratto autostradale in analisi è caratterizzato pluviometricamente dai parametri medi regionalizzati riportati in Tab. 3; inoltre a titolo di esempio si rappresentano graficamente le distribuzioni regionali dei parametri a ed n per tempo di ritorno 20 anni (Fig. 3 e Fig .4).

a 10	n 10	a 20	n 20	a 50	n 50	a 100	n 100	a 200	n 200	a 500	n 500
28.71	0.418	32.76	0.417	38.00	0.415	41.93	0.414	45.86	0.413	51.01	0.412

Tab. 3 - Valori medi regionalizzati dei parametri della curva di possibilità climatica di durata superiore all'ora che intersecano l'infrastruttura autostradale.

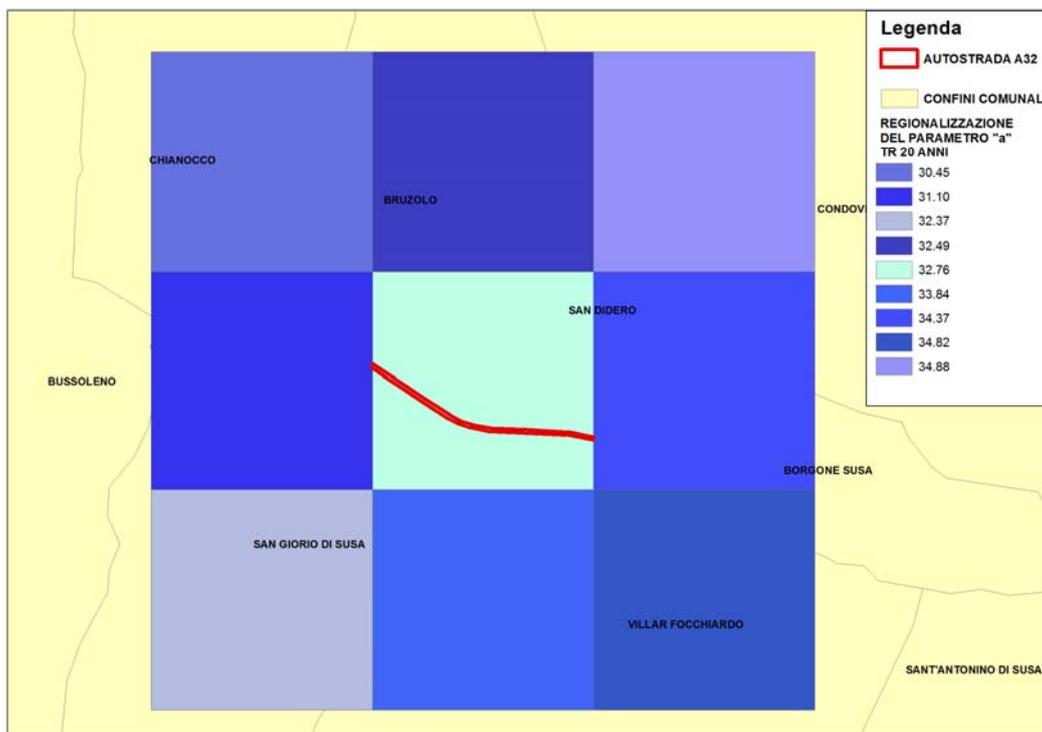


Fig. 3 - Distribuzione regionale del parametro a della curva di possibilità climatica per Tr20 anni.



Fig. 4 - Distribuzione regionale del parametro n della curva di possibilità climatica per Tr20 anni.

I valori a ed n di durate superiori all'ora per tempo di ritorno 25 anni sono stati estratti tramite interpolazione esponenziale Fig. 5 da quelli medi regionalizzati riportati in Tab. 3.

I parametri ottenuti da interpolazione sono i seguenti:

- a (Tr 25) = 33.65 [mm/hⁿ];
- n (Tr25) = 0.416 [-].

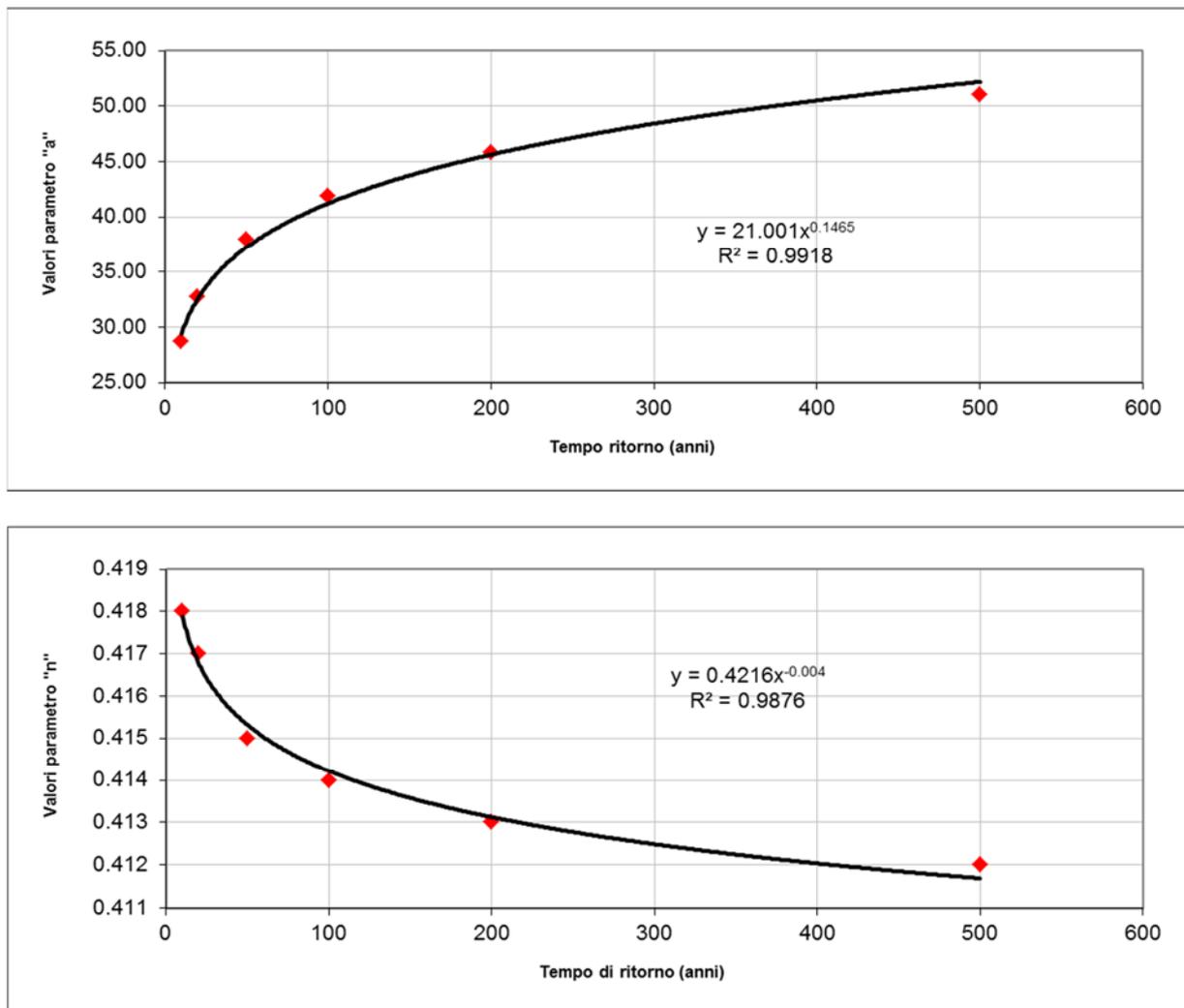


Fig. 5 - Interpolazione esponenziale dei parametri della curva di possibilità climatica per tempo di ritorno 25 anni ottenuti a partire dai dati regionalizzati (durate superiori ora).

2.2 Precipitazioni intense di durata inferiore all'ora

Per quanto riguarda il dimensionamento idraulico della rete in esame, gli eventi idrologici maggiormente critici risultano quelli caratterizzati da precipitazioni intense di breve durata (inferiore all'ora).

Le curve di possibilità pluviometrica di progetto regionalizzate derivano invece da regressioni statistiche condotte su serie storiche di eventi di durata superiore all'ora (in particolare a partire da massimi annuali di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore).

L'utilizzo di tali parametri per durate più brevi può portare ad una errata valutazione delle intensità di pioggia e pertanto delle altezze d'acqua considerate come riferimento. Per il presente progetto si è fatto quindi riferimento ad una metodologia di stima derivante da osservazioni sperimentali.

In letteratura sono, infatti, disponibili numerosi studi ed esperienze che mostrano come le altezze d'acqua massime associate ad eventi di breve durata siano correlate a quelle determinate per tempi di pioggia di un'ora secondo uno schema tipico.

Più in dettaglio, definendo il parametro $\rho(t) = h(t)/h(1)$, ovvero il rapporto tra l'altezza di pioggia per durata t e quella per durata di 1 ora, è stato notato (Bell, 1969; Goswami, 1973) come esso risulti poco dipendente dalla località considerata, fintantoché si considerino durate brevi ($t < 2$ ore).

Ad analoghe conclusioni sono pervenuti altri Autori, analizzando serie di dati relative a diverse regioni del mondo, ad esempio Goswami (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings (1950) e Hershfield ed Engman (1981), nell'ambito di uno studio per una curva inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo.

Per quanto riguarda il territorio italiano, il parametro $\rho(t)$ è stato calcolato in alcuni studi disponibili in letteratura; si segnalano in particolare (per significatività dei dati) quelli relativi al pluviometro di Roma Macao, su un campione di 8 anni (Domanico, 1986 e Calenda et al., 1993), e a quello di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga et al., 1990).

La Fig. 6 mette a confronto i valori medi del parametro $\rho(t)$ ottenuti negli studi citati. Si osserva come effettivamente le differenze riscontrate tra i vari siti appaiano modeste, e si riscontri un andamento tipico poco dipendente dalla località considerata.

In particolare tutte le curve presentano all'incirca lo stesso valore per durate di circa 5 minuti, mentre gli scostamenti sono massimi tra i 15 e i 30 minuti. Tutte le curve assumono ovviamente valore unitario per $t = 1$ ora.

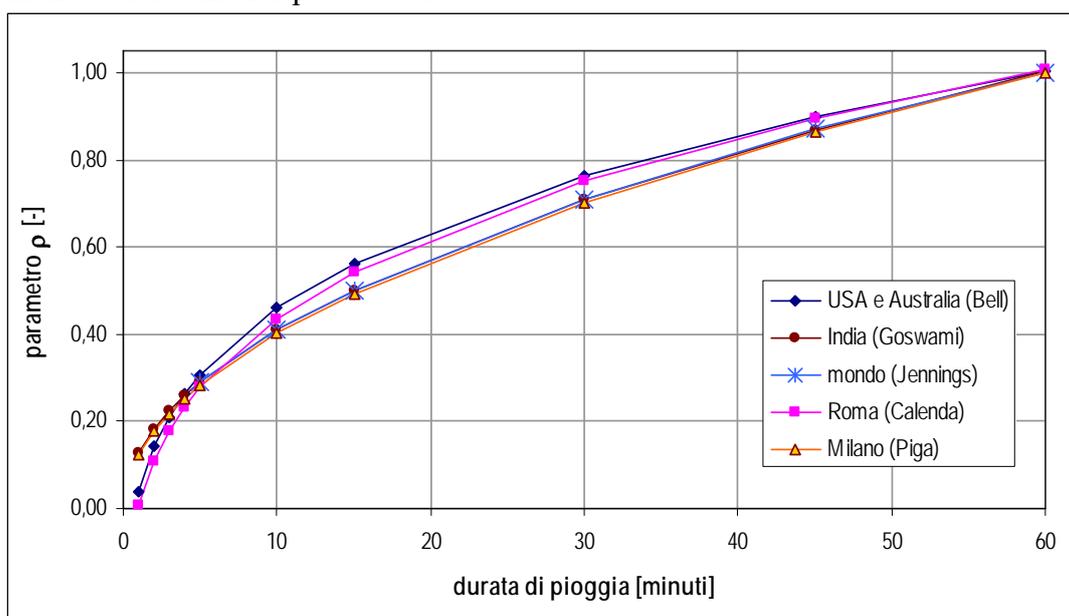


Fig. 6 - Andamento del parametro $\rho(t)$ ottenuto in diversi studi.

Sulla base di tali osservazioni sperimentali, è stata sviluppata da Hydrodata una metodologia di stima in grado di fornire i parametri di precipitazione necessari ad una valutazione più accurata delle portate di piena su piccoli bacini, per i quali il tempo di pioggia critica è quello di durata inferiore all'ora.

In particolare l'andamento di $\rho(t)$ è stato assunto come totalmente indipendente dalla località, e cautelativamente pari all'inviluppo dei valori riportati in Fig. 6, così da introdurre unicamente possibili errori di sovrastima dell'altezza di pioggia.

In funzione dei parametri (a, n) della curva di possibilità pluviometrica (CPP) di riferimento, espressa nella forma monomia $h=a \cdot t^n$, si ottengono le altezze di pioggia $h(t)$ relative a durate di 60 e 120 minuti. Applicando ad $h(60)$ i valori assunti per il parametro $\rho(t)$, si ricavano quindi i valori di $h(t)$ per durate inferiori.

Diagrammando su un piano bi-logaritmico $[\ln(t), \ln(h)]$ i punti ottenuti, per durate comprese tra 5 e 120 minuti, la validità della forma monomia (legge di potenza) come curva di adattamento dei dati presuppone che essi giacciono approssimativamente su una retta.

Effettuando pertanto una regressione lineare (con il metodo dei minimi quadrati) nel campo bi-logaritmico è possibile determinare i parametri della retta interpolante e pertanto ricavare (a' , n'), parametri della curva di possibilità pluviometrica per $t < 60$ minuti.

I valori di $h(t)$ stimati mediante $\rho(t)$, per $t < 60$ minuti, dipendono da $h(60)$, ovvero unicamente da a (essendo t espresso in ore nella formula monomia, per $t=1$ si ottiene $h=a$). Estendendo la regressione anche all'altezza di pioggia per durate di 2 ore, anche il parametro n viene preso in conto nella regressione; questo permette di ottenere minori errori qualora la curva (a' , n') sia utilizzata per la stima di portate prossime all'ora.

Applicando la sopra descritta procedura a partire dalle precipitazioni regionalizzate di durata superiore all'ora per tempo di ritorno 25 anni di valore $a=33.65$ [mm/hn] ed $n=0.416$ [-], si ottengono per durate inferiori all'ora valori di:

$$a = 34.05 \text{ [mm/h}^n\text{];}$$

$$n' = 0.454 \text{ [-].}$$

I valori di a e n' inferiori all'ora sono quelli utilizzati nel calcolo dei deflussi meteorici di piattaforma per tempo di ritorno 25 anni.

3. Inquadramento sulla pianificazione vigente

Come ben noto fin dall'adozione della legge 183 si è proceduto ad una classificazione dei territori ricadenti nei diversi bacini idrografici di tipo omogeneo.

L'autorità di bacino del fiume Po è l'ente competente sul bacino della Dora Riparia.

A seguito degli studi eseguiti è stata adottata una variante alle fasce fluviali della Dora riparia approvata con deliberazione n 9 del 19/07/2007

Nella successiva figura 7 è riportato lo stralcio planimetrico del piano vigente con sovrapposti i limiti dell'intervento in progetto.

Successivamente in attuazione alla direttiva 2007/60/CE del 23/10/2007 recepita con D.lgs. 23 Febbraio 2010 n 49 recante come titolo "*attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione della gestione dei rischi di alluvione*" è stato approvato con decreto del segretario n 122/2014 del 20/06/2014 lo schema di progetto del piano di gestione del rischio alluvioni e successivamente approvato il piano con decreto n 2/2016 del 03/marzo 2016 del segretario dell'autorità di bacino del fiume PO e approvato definitivamente con DPCM 27/10/2016

3.1 Inquadramento dell'opera in relazione alle fasce PAI

Come si deduce dall'analisi della fig 7 l'intervento ricade parzialmente in fascia B e per la rimanente parte in fascia C

A monte dell'intervento è prevista una fascia B di progetto che verrà realizzata dal comune di Bruzolo.

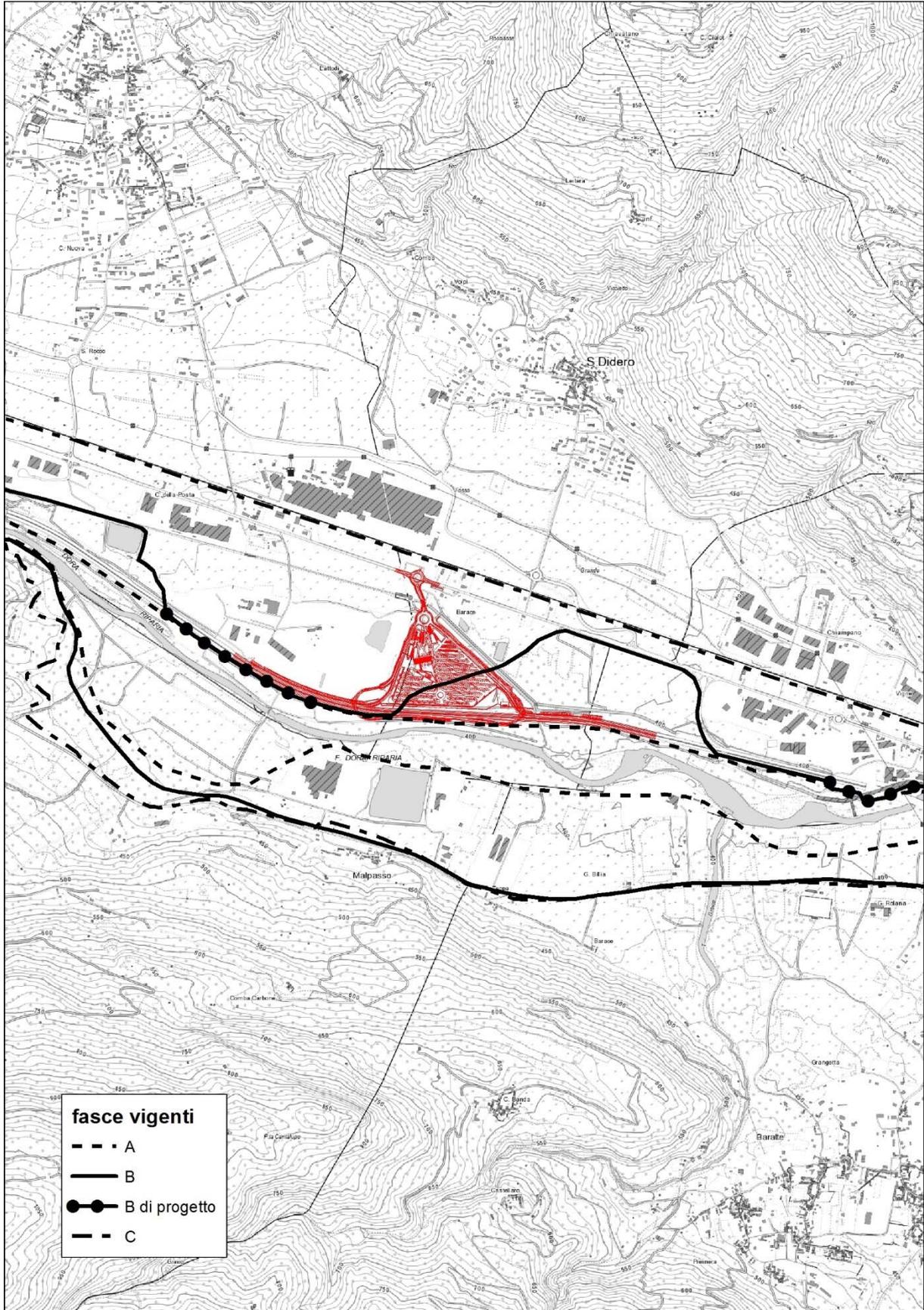
- la fascia A e la fascia B di progetto corrono in fregio alla sponda immediatamente a monte dell'opera in progetto;
- la fascia B naturale interessa le aree oggetto dell'intervento ;
- la fascia C corre in corrispondenza della ferrovia Torino Modane;

Ne risulta che l'opera è posta in parte all'interno della fascia C ed in parte all'interno della fascia B naturale.

Nei successivi paragrafi, è stata verificata la compatibilità delle opere in progetto, con l'attuazione dell'assetto di progetto del fiume Dora riparia definito dal piano vigente.

Dalle analisi condotte nei diversi scenari, stato attuale e di progetto, si determina che le opere in progetto non comportano diminuzione dei volumi di invaso o effetti negativi sul deflusso della piena, inoltre, le opere sono state progettate e verificate per eventi con tempo di ritorno 200 anni.

In definitiva ai sensi delle norme di attuazione del Pai le opere risultano compatibili con il corretto assetto idrogeologico dell'area.

*Fig. 7 — Fasce PAI.*

3.2 Inquadramento dell'opera in relazione al Piano di Gestione Alluvioni

Il piano di gestione dl rischio alluvioni si estrinseca sostanzialmente in due cartografie i cui stralci sono riportati nelle figure 8 e 9 relative la fig 8 al rischio alluvione in cui il territorio analizzato viene suddiviso in fasce di probabilità di alluvione definite rara, poco frequente , frequente

La fig 9 individua invece il rischio, vengono individuati gli scenari di rischio suddivisi in rischi lineari sostanzialmente attribuibile alle vie di comunicazione e suddivisi jn rischio medio, elevato, molto elevato, mentre per le situazioni areali sono state individuate 4 classi di rischio : moderato, medio , elevato , molto elevato.

Dalla sovrapposizione dell'opera in progetto alle suddette carte si evince che l'area oggetto d'intervento ricade in parte in area a rischio alluvione frequente tratto marginale ad ovest in corrispondenza dello svincolo di entrata e alluvione rara in corrispondenza dell'innesto sulla statale n 25 la rimanente area è priva di rischio.

Lo scenario di rischio generale invece individua l'area come rischio moderato una piccola porzione di area mentre la rimanente porzione risulta a rischio nullo.

Le opere in progetto quindi sono compatibili con gli scenari di rischio ipotizzati dalla direttiva alluvioni.

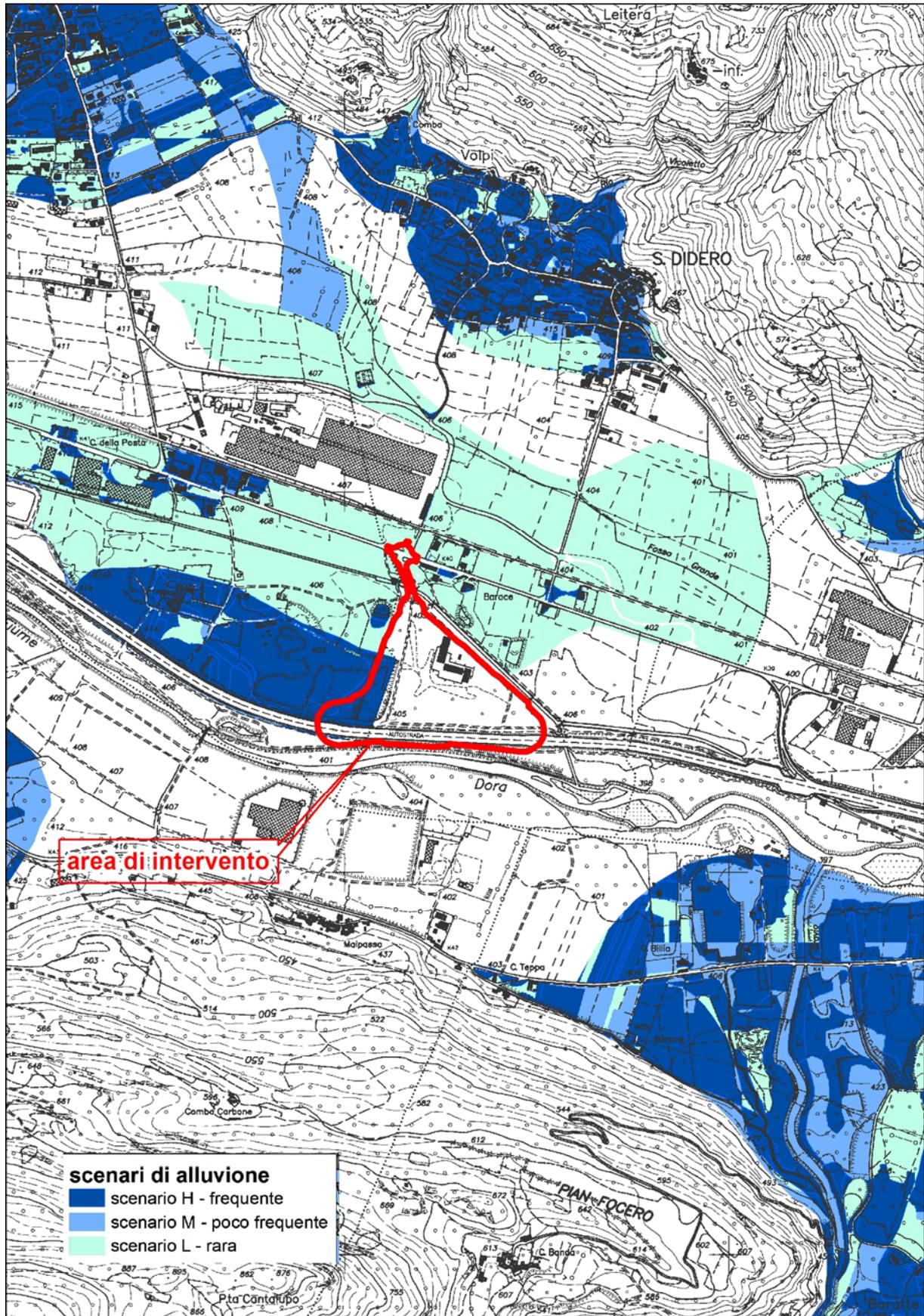


Fig. 8 –stralcio Carta .della pericolosità da alluvione

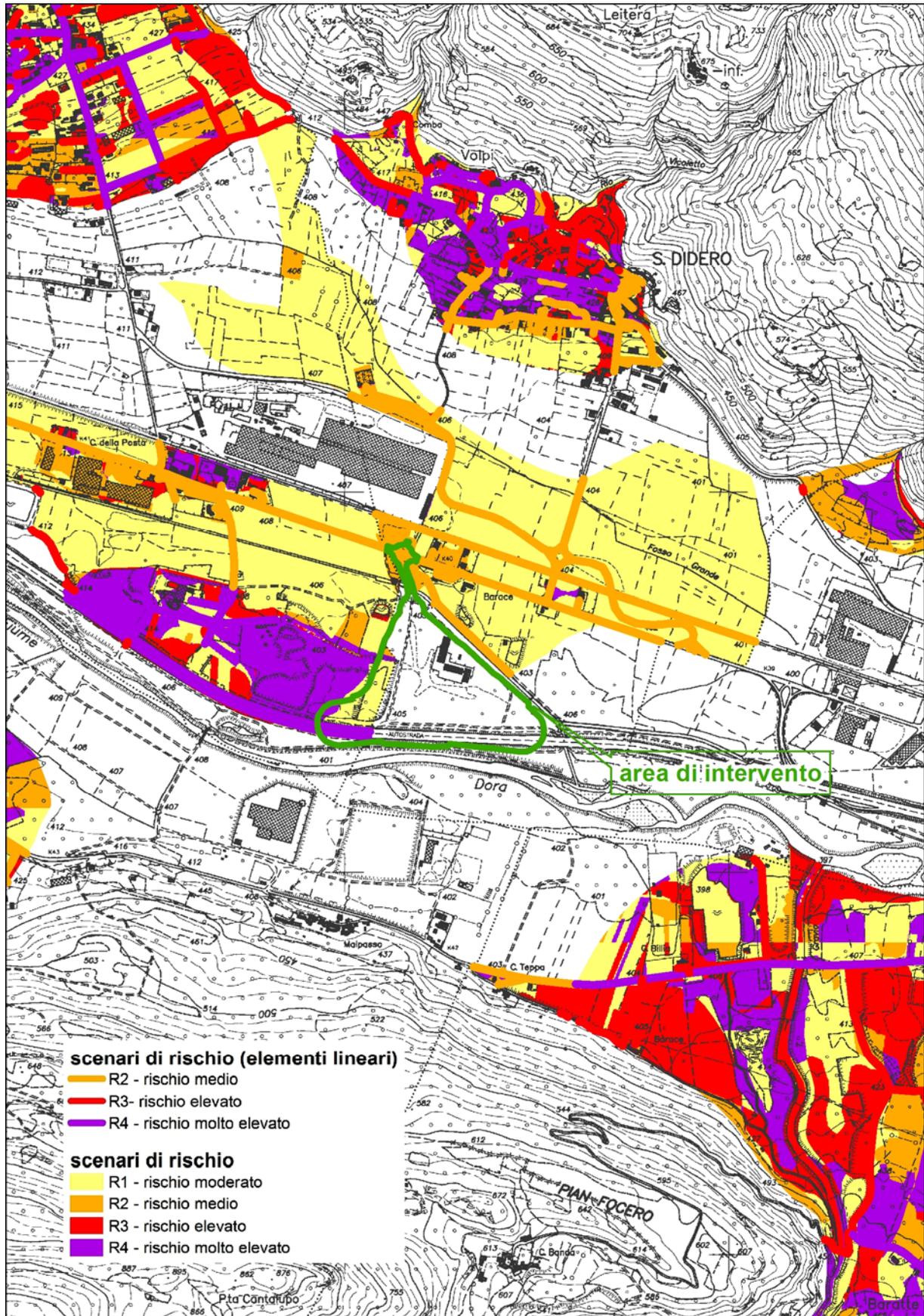


Fig. 9 – stralcio Carta del rischio da alluvione

4. Verifica di compatibilità idraulica

4.1 Premessa

Sulla base delle richieste espresse dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con lettera Prot. N. 1214/33/CM del 18/02/2014, sono state condotte in fase di autorizzazione del progetto definitivo, una serie di analisi di approfondimento relativamente al settore golenale della Dora Riparia in Comune di San Didero (TO) interessato dalle opere in progetto dell'Autoporto.

L'area in sinistra idrografica della Dora Riparia interessata dal progetto è infatti ubicata sulle fasce di pertinenza fluviale B e C del PAI e l'Autorità di Bacino del Po, dopo un primo esame del progetto, ha espresso la richiesta di integrare le analisi idrauliche bidimensionali già condotte nello studio di compatibilità idraulica, estendendole:

- “verso monte almeno fino al tratto dove l'autostrada è posta sul viadotto, al fine di poter verificare sia l'eventuale potenziale aggiramento del rilevato autostradale da monte che il contributo connesso alla presenza di eventuali ulteriori fornici nel rilevato medesimo”;
- “verso valle almeno fino al rilevato stradale di connessione fra l'autostrada e la SS del Moncenisio”.

Sono quindi stati analizzati i seguenti scenari:

- a. Scenario attuale;
- b. Scenario di progetto attuativo del limite B di progetto del PAI, così come progettato dal Comune di Bruzolo ed approvato dagli Enti competenti nella seduta di CdS del 19.09.2013;
- c. Scenario di progetto di completamento in cui vengono adeguatamente estese verso valle le chiusure dei fornici previste nel progetto approvato di cui al punto precedente e viene inoltre valutato il contributo del reticolo minore attualmente recapitante in Dora Riparia.

Le verifiche idrauliche sono state riferite alla portata di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni pari a $671 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2 Risultati delle simulazioni e delle analisi idrauliche condotte

Con il modello bidimensionale sono state condotte le seguenti simulazioni:

- **SIM-A**: scenario attuale;
- **SIM-B**: scenario di progetto attuativo del limite B di progetto del PAI, così come progettato dal Comune di Bruzolo ed approvato dagli Enti competenti nella seduta di CdS del 19.09.2013;
- **SIM-C**: scenario di progetto di completamento in cui vengono adeguatamente estese verso valle le chiusure dei fornici previste nel progetto approvato di cui al punto precedente e sono completate tutte le altre opere in progetto dell'autoporto.

In tutti gli scenari, compreso quello attuale, sono state inserite come già realizzate le arginature necessarie a concretizzare la Fascia B di progetto prevista nei pressi dell'abitato di S. Giorio, che altrimenti sarebbe risultato ampiamente allagato con effetto di riduzione del valore della portata al colmo di progetto nel tratto di Dora Riparia oggetto dello studio.

I risultati delle simulazioni sono illustrati nei capitoli successivi mediante l'ausilio di mappe, grafici e figure che rappresentano:

- profili longitudinali dei livelli e delle portate lungo l'alveo inciso della Dora Riparia;
- aree di esondazione con rappresentazione delle altezze d'acqua e dei vettori velocità;
- campi di distribuzione delle velocità di deflusso;
- superfici di pelo libero.

4.3 Risultati dello scenario attuale - SIM-A

Nella Tabella 4, in corrispondenza delle sezioni trasversali d'alveo della Dora Riparia inserite nel modello e per alcune sezioni di infittimento interpolate in automatico dal modello stesso, sono elencati i seguenti parametri caratterizzanti i valori massimi di inviluppo del profilo di corrente con tempo di ritorno 200 anni:

- ID Sez. = identificativo sezione di rilievo;
- Progr. = progressiva metrica lungo l'asta (m);
- Fondo = quota di fondo (m s.m.);
- P.L. = quota di pelo libero (m s.m.);
- h = altezza d'acqua sul fondo (m);
- Q = portata defluente nell'alveo inciso (m^3/s);
- A = area della sezione liquida (m^2);
- b = larghezza del pelo libero (m);
- v = velocità media della corrente (m/s);
- Fr = numero di Froude della corrente (-);
- H = carico idraulico totale (m s.m.).

Nella Figura 10 - Scenario attuale (SIM-A). Profilo longitudinale lungo l'alveo inciso della Dora Riparia rappresentante l'inviluppo delle massime altezze d'acqua e delle massime portate al colmo raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni. È riportata una rappresentazione grafica di sintesi del profilo longitudinale di corrente ottenuto per la situazione attuale, corrispondente alla simulazione di scenario riportata in forma numerica in tabella. Anche in questo caso i valori rappresentati graficamente sul profilo fanno riferimento all'inviluppo dei valori massimi raggiunti nel corso della simulazione lungo l'alveo inciso della Dora Riparia. Nella figura sono indicati:

- il profilo inviluppo dei massimi livelli raggiunti nel corso dell'evento simulato nella situazione attuale (linea blu);
- il profilo inviluppo dei valori di portata massimi raggiunti nell'alveo inciso (linea rossa);
- i profili delle quote di fondo, di sponda sinistra (linea tratteggiata) e di sponda destra (linea continua);
- le tracce delle sezioni di rilievo con indicazione delle corrispondenti progressive;
- l'indicazione dell'estensione del modello bidimensionale.

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	Q (m^3)	A (m^2)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
095	64950,00	422,62	427,64	5,02	667,71	342,73	312,02	1,95	0,59	427,83
	65040,00		427,06		667,89	309,36	296,44	2,16	0,67	427,30
	65130,00		426,41		667,73	269,54	236,51	2,48	0,74	426,72
	65220,00		425,80		667,40	255,06	189,84	2,62	0,72	426,15
	65310,00		425,31		667,05	268,57	174,15	2,48	0,64	425,63
	65400,00		424,89		666,68	293,70	174,27	2,27	0,56	425,15

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	Q (m ³)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
	65490,00		424,48		666,27	318,33	192,61	2,09	0,52	424,71
	65580,00		424,04		665,78	332,11	214,51	2,00	0,51	424,25
094	65670,00	419,54	423,43	3,89	665,86	300,51	236,12	2,22	0,63	423,68
	65765,00		422,59		666,07	289,96	201,67	2,30	0,61	422,86
	65860,00		421,87		666,19	294,10	167,68	2,27	0,55	422,14
	65955,00		421,44		666,22	315,62	134,25	2,11	0,44	421,67
093_2P	66050,00	417,19	421,13	3,94	666,19	279,35	98,39	2,38	0,45	421,42
	66100,00	416,92	421,00	4,08	666,16	272,84	91,77	2,44	0,45	421,31
	66200,00		420,73		657,77	248,15	79,76	2,65	0,48	421,09
	66300,00		420,39		652,02	216,79	67,74	3,01	0,54	420,85
093	66400,00	415,33	419,90	4,57	636,54	176,97	55,73	3,60	0,64	420,56
	66487,50		419,58		634,17	186,25	53,14	3,40	0,58	420,17
092_1Pm	66575,00	413,59	419,26	5,67	647,56	194,82	52,43	3,32	0,55	419,82
092_1Pv	66585,00	413,54	418,26	4,72	647,55	147,31	46,26	4,40	0,79	419,24
	66663,80		417,67		652,70	147,19	48,12	4,43	0,81	418,67
	66742,50		417,02		657,84	143,86	47,41	4,57	0,84	418,08
	66821,30		416,34		650,26	138,57	46,38	4,69	0,87	417,47
	66900,00	411,40	415,67	4,27	619,50	132,13	44,97	4,69	0,87	416,79
	66996,70		414,98		591,01	137,81	45,04	4,29	0,78	415,92
	67093,30		414,30		616,66	142,23	43,50	4,34	0,77	415,26
092a	67190,00	409,39	413,66	4,27	625,86	145,92	41,97	4,29	0,73	414,59
	67267,50		413,43		563,42	150,61	43,30	3,74	0,64	414,14
	67345,00		413,35		514,13	162,34	44,62	3,17	0,53	413,86
	67422,50	406,89	413,17	6,28	512,32	169,62	45,95	3,02	0,50	413,64
	67500,00	407,98	412,90	4,92	544,94	172,65	47,28	3,16	0,53	413,41
	67580,00		412,52		589,12	172,72	48,65	3,41	0,58	413,12
	67660,00		412,22		593,87	174,42	50,02	3,40	0,58	412,81
	67740,00	407,98	411,88	3,90	604,66	172,98	50,40	3,50	0,60	412,51
	67830,00		411,44		633,95	172,86	51,26	3,67	0,64	412,13
091	67920,00	406,07	411,05	4,98	646,32	174,61	52,27	3,70	0,65	411,75
	68001,00		410,76		634,74	173,79	51,53	3,65	0,63	411,44
	68082,00		410,50		618,70	174,11	51,35	3,55	0,62	411,15
	68163,00		410,20		613,90	171,59	51,64	3,58	0,63	410,85
	68244,00		409,82		613,92	165,42	52,06	3,71	0,66	410,52
	68325,00	405,31	409,43	4,11	593,75	157,86	51,46	3,76	0,69	410,15
	68387,50		409,19		559,45	155,20	51,65	3,60	0,66	409,86
090	68450,00	405,08	409,02	3,94	533,33	155,46	51,01	3,43	0,63	409,62
	68548,00		408,64		511,17	142,91	47,03	3,58	0,66	409,29
P89m	68646,00	403,51	408,13	4,62	500,60	127,86	38,03	3,92	0,68	408,91
P89v	68654,00	403,49	407,78	4,29	500,60	117,40	37,07	4,26	0,76	408,70
	68746,00		407,16		500,58	121,69	39,32	4,11	0,75	408,02
	68838,00		406,55		512,97	126,65	41,57	4,05	0,74	407,38
	68930,00	401,03	405,86	4,83	541,48	128,30	43,64	4,22	0,79	406,77
	69023,30		405,10		555,12	128,01	43,82	4,34	0,81	406,06
	69116,70		404,41		552,69	130,78	44,14	4,23	0,78	405,32
089	69210,00	399,53	403,83	4,30	543,49	138,11	44,63	3,94	0,71	404,62
	69296,00		403,39		515,08	135,48	46,88	3,80	0,71	404,12
	69382,00		403,01		482,54	136,15	49,49	3,54	0,68	403,65
	69468,00		402,64		460,47	138,21	52,33	3,33	0,65	403,21
	69554,00		402,29		448,45	141,74	55,31	3,16	0,63	402,80
	69640,00	397,95	401,92	3,98	445,86	145,68	58,47	3,06	0,62	402,40
	69726,00		401,53		461,03	152,36	60,92	3,03	0,61	402,00
	69812,00		401,09		480,02	155,03	63,32	3,10	0,63	401,58
	69898,00		400,68		484,47	158,87	65,97	3,05	0,63	401,15

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	Q (m ³)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
	69984,00		400,29		484,94	163,80	68,79	2,96	0,61	400,74
088	70070,00	396,36	399,93	3,57	484,90	170,32	71,80	2,85	0,59	400,35
	70154,00		399,57		500,57	173,83	68,93	2,88	0,58	400,00
	70238,00		399,19		519,54	174,68	66,40	2,97	0,59	399,64
	70322,00		398,87		523,07	179,21	64,90	2,92	0,56	399,31
	70406,00		398,61		523,29	186,44	64,91	2,81	0,53	399,01
	70490,00	393,85	398,39	4,54	523,24	196,20	63,62	2,67	0,48	398,76
	70588,00		398,13		524,72	191,11	58,14	2,75	0,48	398,51
	70686,00		397,81		541,87	182,11	52,65	2,98	0,51	398,26
	70784,00		397,40		565,81	167,86	47,16	3,37	0,57	397,98
	70882,00		396,93		574,03	151,72	41,68	3,78	0,63	397,66
087	70980,00	391,10	396,37	5,27	573,88	133,49	36,19	4,30	0,71	397,31
	71035,00		396,27		590,38	178,31	45,28	3,31	0,53	396,82
P-86	71090,00	391,27	396,08	4,81	607,26	192,16	56,86	3,16	0,55	396,59
	71175,00		395,79		607,31	194,54	53,38	3,12	0,52	396,29
	71260,00		395,52		607,37	195,61	50,10	3,10	0,50	396,01
	71345,00		395,24		607,43	194,00	47,10	3,13	0,49	395,74
	71430,00		394,94		607,48	186,87	44,54	3,25	0,51	395,48
	71515,00		394,55		615,87	169,06	41,46	3,64	0,58	395,23
086	71600,00	389,49	394,00	4,51	631,16	140,97	38,38	4,48	0,75	395,03
	71696,70		393,60		630,33	166,95	48,03	3,78	0,65	394,33
	71793,30		393,42		609,79	201,84	57,68	3,02	0,52	393,88
085 1Pm	71890,00	388,24	393,19	4,95	650,88	234,14	67,33	2,78	0,48	393,58
085 1Pv	71900,00	388,19	392,54	4,35	656,02	193,66	67,30	3,39	0,64	393,12
	71990,00		392,32		652,48	265,49	96,58	2,46	0,47	392,63
	72080,00		392,12		652,68	307,38	125,13	2,12	0,43	392,35
	72170,00		391,89		652,98	317,03	152,87	2,06	0,46	392,10
	72260,00		391,60		653,28	297,57	179,19	2,20	0,54	391,84
085	72350,00	386,76	391,17	4,41	653,57	235,41	204,25	2,78	0,83	391,56
	72435,00		390,88		653,77	266,25	185,46	2,46	0,65	391,18
	72520,00		390,59		653,84	292,32	166,57	2,24	0,54	390,84
	72605,00		390,30		653,82	313,26	147,57	2,09	0,46	390,52
084	72690,00	385,35	390,02	4,67	653,74	328,32	128,45	1,99	0,40	390,22
	72785,00		389,69		653,59	320,72	121,55	2,04	0,40	389,90
	72880,00		389,34		653,39	309,19	114,39	2,11	0,41	389,57
	72975,00		388,96		653,17	291,19	106,86	2,24	0,43	389,22
	73070,00		388,51		652,94	261,77	98,82	2,49	0,49	388,82
	73165,00		387,88		652,71	212,36	90,23	3,07	0,64	388,36
083 1P	73260,00	384,34	387,13	2,79	652,47	152,38	81,61	4,28	1,00	388,07

Tabella 4 - Profilo di corrente nello scenario attuale (SIM-A) lungo l'alveo inciso della Dora Riparia.

Nella Figura 11 - Scenario attuale (SIM-A). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle altezze d'acqua in corrispondenza del transito del colmo di piena e campo dei vettori velocità. è riportata la distribuzione calcolata con il modello bidimensionale MIKE 21 delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna in corrispondenza del transito del colmo dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni: le tonalità azzurro-verde della scala cromatica evidenziano le aree con tiranti idrici minori mentre le tonalità giallo-rosso distinguono quelle con tiranti idrici maggiori. Sovrapposto alla mappa delle massime altezze d'acqua è riportato inoltre il campo dei vettori velocità di deflusso.

Nella Figura 12 - Scenario attuale (SIM-A). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo libero raggiunte nel corso del deflusso dell'evento

di piena di progetto. è rappresentata la distribuzione delle massime quote di pelo libero raggiunte dall'evento di piena considerato.

Le maggiori esondazioni avvengono in golena destra che presenta quote di piano campagna più ribassate rispetto alla golena sinistra; ciò nonostante anche quest'ultima è soggetta a discreti flussi di esondazione, alimentati attraverso il ponticello e i tombini autostradali presenti nel tratto in esame, nonché dagli apporti provenienti da nord dal reticolo idrografico secondario.

L'intera area di intervento dell'autoporto è soggetta ad esondazione, attraversata da flussi che la percorrono parallelamente alla sede autostradale, che in parte sono intercettati dal canale di scarico dell'impianto idroelettrico N.I.E. e che in parte scavalcano quest'ultimo per procedere poi verso valle ancora in golena o per rientrare parzialmente verso l'alveo della Dora attraverso i ponticelli autostradali presenti in quel tratto.

L'aggiramento del rilevato autostradale in corrispondenza del viadotto di monte risulta modesto perché l'esondazione in golena in quel tratto è delimitata dal rilevato della strada di raccordo alla SS N.25 del Moncenisio. Maggiori apporti di esondazione in golena sinistra pervengono dai tombini presenti nel tratto subito a valle del viadotto i flussi di esondazione a tergo dell'autostrada proseguono verso valle fino all'area dell'autoporto e solo in minima parte rientrano in Dora attraverso il "Tombino 18".

A valle dell'autoporto, il rilevato stradale di connessione fra l'autostrada e la SS del Moncenisio limita le esondazioni golenali in sinistra che rientrano in Dora attraverso i vari attraversamenti autostradali esistenti. Oltre a tale strada di connessione si osservano soltanto alcuni flussi residui provenienti dai volumi di esondazione del reticolo minore che procedono verso valle lungo il settore delimitato dai rilevati della ferrovia e della SS del Moncenisio.

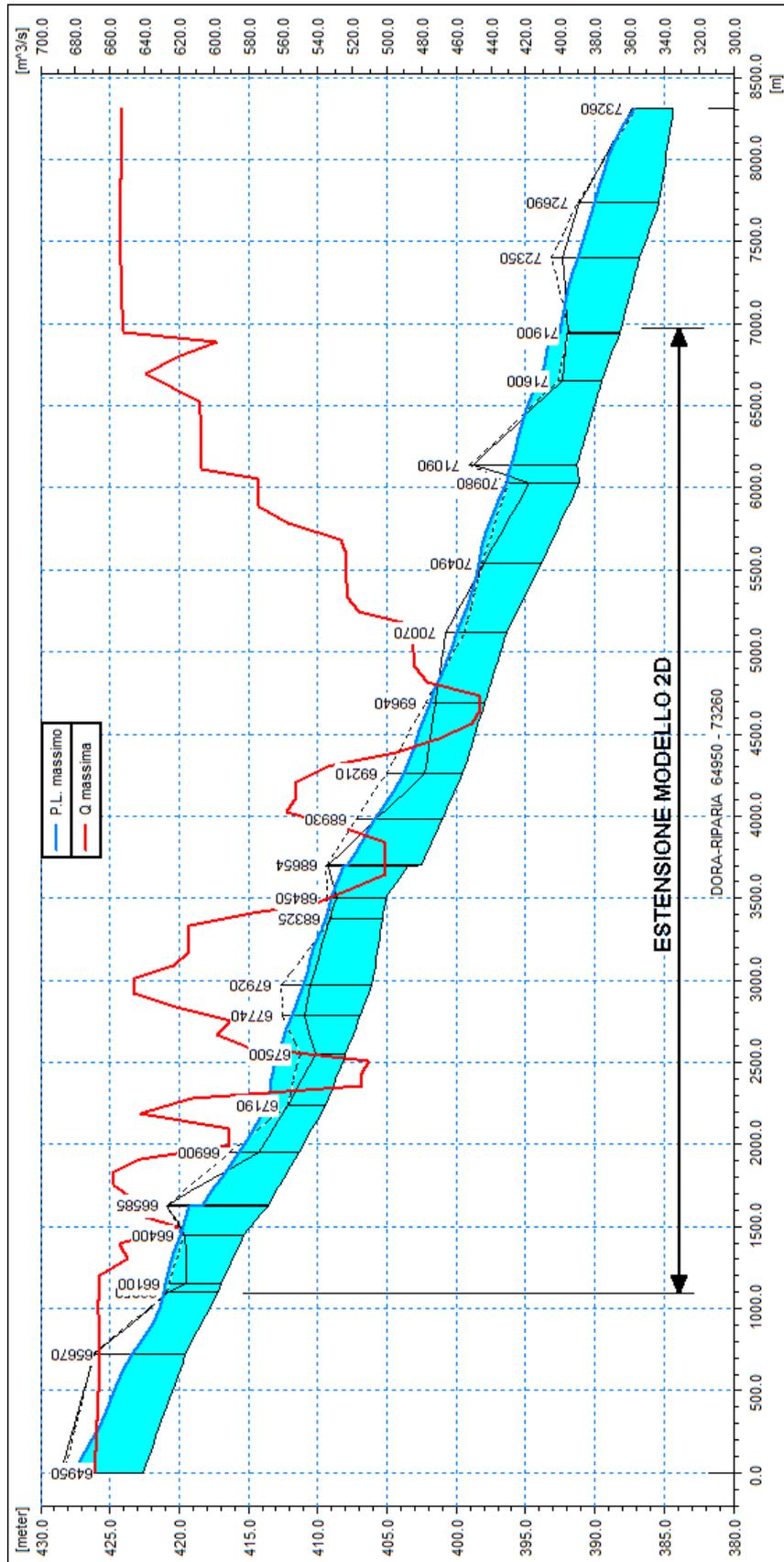


Figura 10 - Scenario attuale (SIM-A). Profilo longitudinale lungo l'alveo inciso della Dora Riparia rappresentante l'involuppo delle massime altezze d'acqua e delle massime portate al colmo raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni.

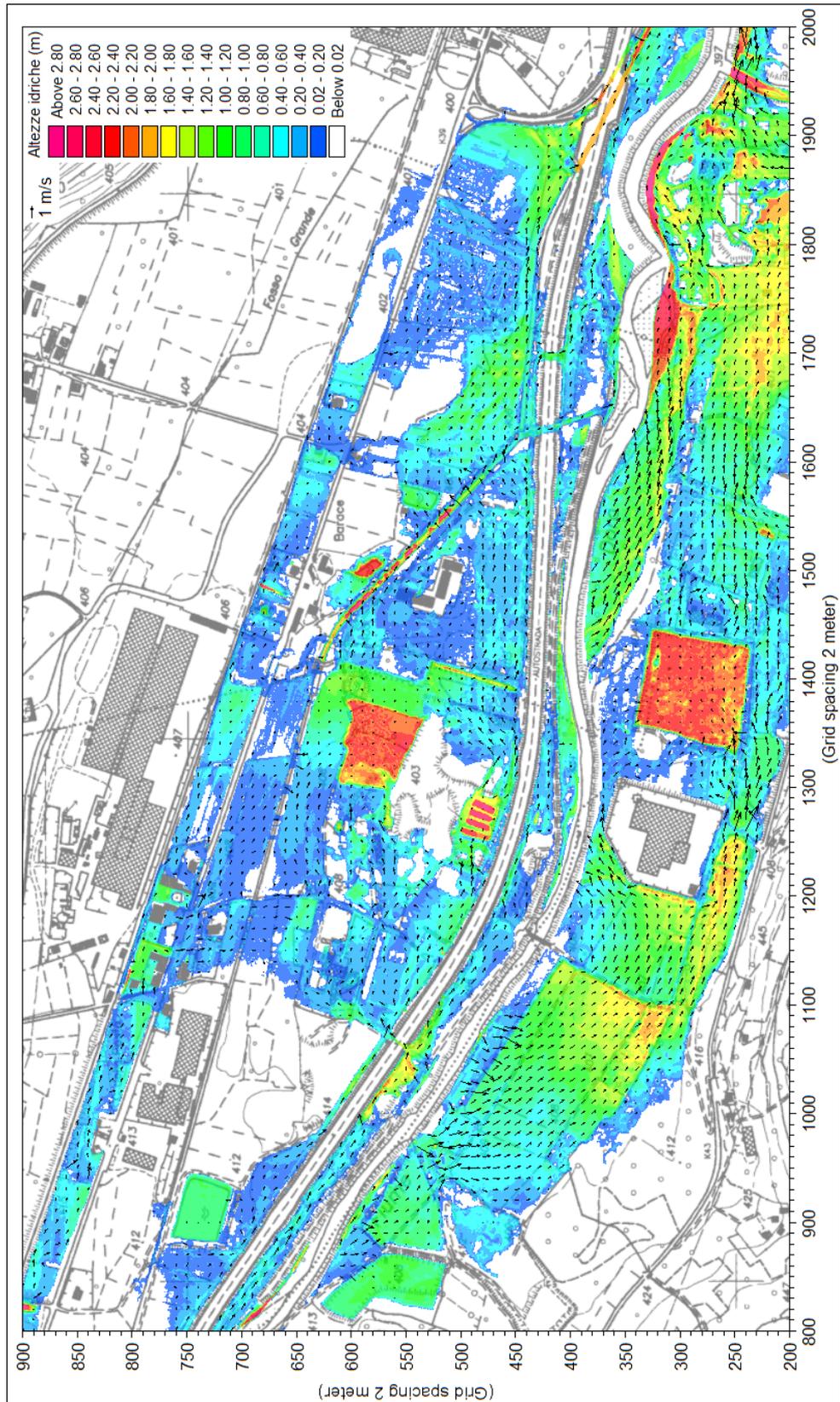


Figura 11 - Scenario attuale (SIM-A). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle altezze d'acqua in corrispondenza del transito del colmo di piena e campo dei vettori velocità.

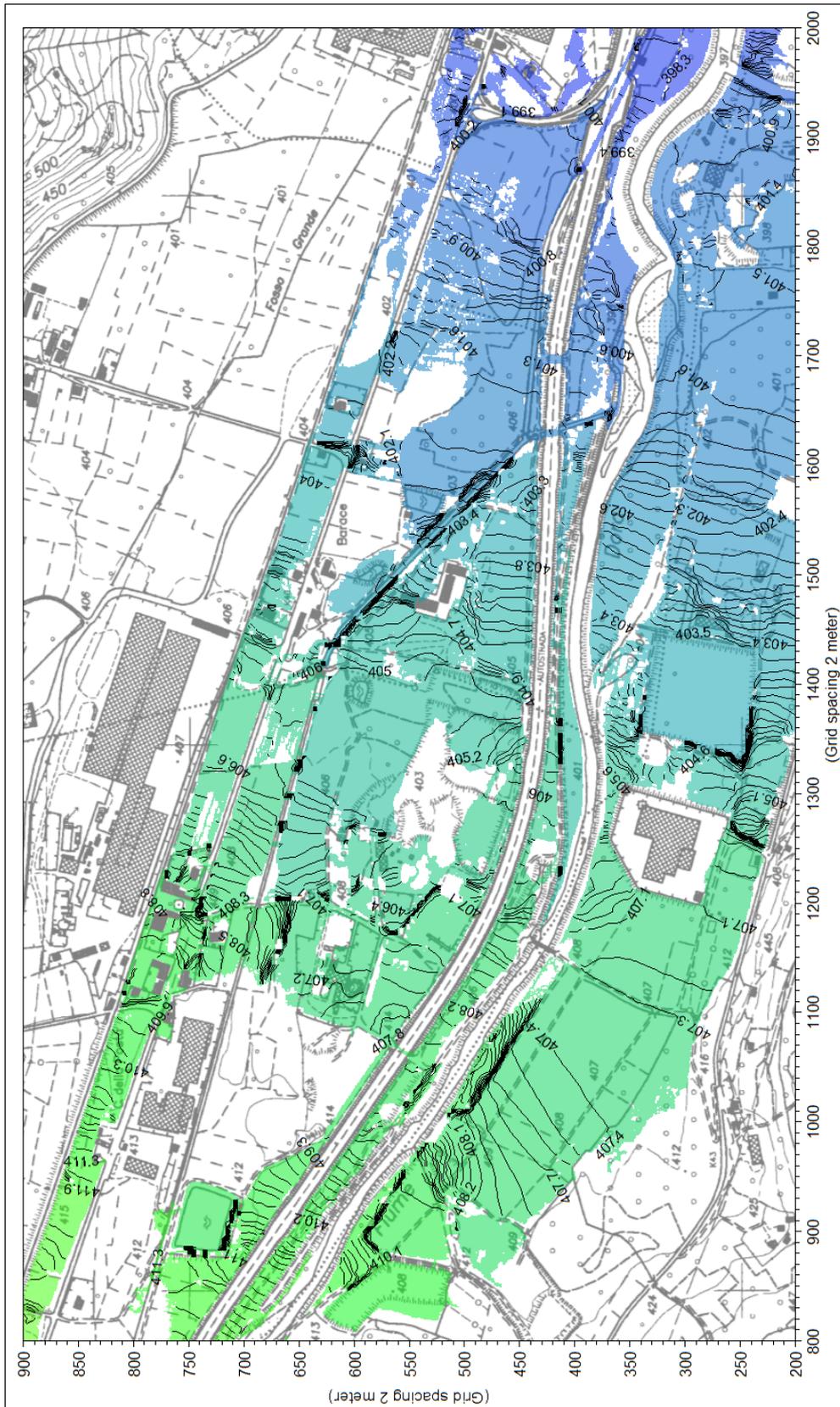


Figura 12 - Scenario attuale (SIM-A). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo libero raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto.

ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE	QMAX (m ³ /s)	ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE	QMAX (m ³ /s)
Tombino 26	0,970	Tombino 6	-0,265
Tombino 25	2,345	Tombino 7	1,141
Tombino 24	0,045	Tombino 8	0,011
Tombino 23	0,003	Tombino 9	0,002
Tombino 22	0,946	Tombino 10	0,137
Tombino 21	0,312	Tombino 11	0,340
Tombino 20	0,003	Tombino 12	-0,450
Tombino 19	0,163	Tombino 13	-1,645
Tombino 18	-0,091	Ponticello 1 valle	-2,228
Tombino 17	2,457	Tombino 14	-0,751
Ponticello monte	5,012	Ponticello 2 valle	-8,439
Tombino 16	7,577	Tombino 27	-0,487
Tombino 15	4,600	Tombino 28	0,007
Tombino 1	0,975	Tombino 29	0,001
Tombino 2	0,579	Tombino 30	0,026
Tombino 3	1,586	Scatolare 1	-12,231
Tombino 4	0,965	Scatolare 2	-9,427
Tombino 5	0,291	Tombino 31	0,044

Tabella 5 - Valori massimi delle portate defluenti negli attraversamenti autostradali nello scenario attuale (SIM A). Valori “+” da alveo a golena, “-” da golena ad alveo.

Nella Tabella 5 sono riportati i valori massimi al colmo degli idrogrammi di portata calcolati con il modello lungo gli attraversamenti autostradali che evidenziano l’entità dei deflussi presenti nella golena sinistra a tergo del rilevato autostradale. Le portate in gioco, pur non essendo particolarmente elevate, determinano sull’area di intervento allagamenti con altezze idriche massime dell’ordine dei 0,5÷1,0 m come visibile nella mappa di Figura 11; le velocità massime di scorrimento sulla stessa area sono invece abbastanza contenute, inferiori a 0,75 m/s.

4.4 Risultati dello scenario attuativo del limite B di progetto del PAI - SIM-B

Il secondo scenario simulato (SIM-B) ha ipotizzato la realizzazione delle opere necessarie a conseguire gli obiettivi del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di bacino del Fiume Po (PAI) che nel tratto di Dora Riparia in esame sono rappresentati da un limite di fascia B. La geometria delle opere inserite nel modello è stata tratta dagli elaborati del progetto definitivo elaborato dal Comune di Bruzolo ed approvato.

La simulazione dell’evento di piena di progetto è stata condotta mantenendo inalterati tutti gli altri parametri e condizioni al contorno già adottati per la simulazione del precedente scenario (SIM-A).

Nella Figura 13 - Scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle massime altezze d’acqua e campo dei vettori velocità. è riportata la distribuzione calcolata con il modello bidimensionale MIKE 21 delle massime altezze d’acqua rispetto al piano campagna in corrispondenza del transito del colmo dell’evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni; sovrapposto ad essa è riportato il campo dei vettori velocità di deflusso. Anche in questo caso le aree interne all’alveo inciso della Dora Riparia non sono rappresentate perché il loro contributo al deflusso è stato già preso in conto nell’ambito del modello MIKE 11.

Nella Figura 14 - Scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è rappresentata la distribuzione delle massime quote di pelo libero raggiunte nel corso dell'evento di piena considerato.

Rispetto allo scenario attuale, gli interventi in progetto eliminano le esondazioni della Dora Riparia in golenata sinistra dove pervengono solo le acque di esondazione generate dal reticolo secondario.

Le esondazioni a tergo dell'autostrada nel tratto a valle del viadotto vengono tutte intercettate dal rilevato arginale di monte previsto nel progetto del Comune di Bruzolo che costringe i flussi al rientro verso Dora attraverso il "Tombino 20". Gli ulteriori rilevati arginali previsti nel progetto del Comune di Bruzolo bloccano inoltre le esondazioni nella fascia golenale sinistra compresa tra l'alveo inciso e l'autostrada.

Nella Figura 15 è rappresentata la mappa delle differenze tra le quote massime di pelo libero relative allo scenario attuativo del limite B di progetto e quelle relative allo scenario attuale (SIM B – SIM A): nello scenario in esame, rispetto alla situazione attuale si assiste a un incremento di livelli (+0,5÷0,7 m) e quindi di invaso a monte dei rilevati arginali in progetto e in maniera diffusa, sia pur con valori più ridotti, in tutta la golenata destra (+0,05÷0,10 m); nell'area dell'autoporto e a valle di essa si verificano invece degli abbassamenti di livello dell'ordine dei -0,05÷0,30 m per effetto dei mancati apporti di esondazione proveniente dalla Dora Riparia nella situazione attuale.

Nella Tabella 6 sono riportati i valori massimi al colmo degli idrogrammi di portata calcolati con il modello lungo gli attraversamenti autostradali che evidenziano l'entità dei deflussi presenti nella golenata sinistra a tergo del rilevato autostradale. Le portate massime entranti attraverso i tombini sono notevolmente ridotte rispetto a quelle calcolate con lo scenario attuale SIM-A.

ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE	QMAX (m ³ /s)	ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE	QMAX (m ³ /s)
Tombino 26	0,972	Tombino 10	-0,011
Tombino 25	2,349	Tombino 11	-0,001
Tombino 24	0,046	Tombino 12	0,000
Tombino 23	0,003	Tombino 13	-0,776
Tombino 22	0,951	Ponticello 1 valle	-0,220
Tombino 21	0,314	Tombino 14	0,000
Tombino 20	-1,069	Ponticello 2 valle	-0,510
Ponticello monte	0,000	Tombino 27	0,000
Tombino 1	0,000	Tombino 28	0,000
Tombino 5	0,000	Tombino 29	0,000
Tombino 6	0,000	Tombino 30	0,000
Tombino 7	0,000	Scatolare 1	-1,198
Tombino 8	0,000	Scatolare 2	-4,442
Tombino 9	0,000	Tombino 31	0,079

Tabella 6 - Valori massimi delle portate defluenti negli attraversamenti autostradali nello scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Valori "+" da alveo a golenata, "-" da golenata ad alveo.

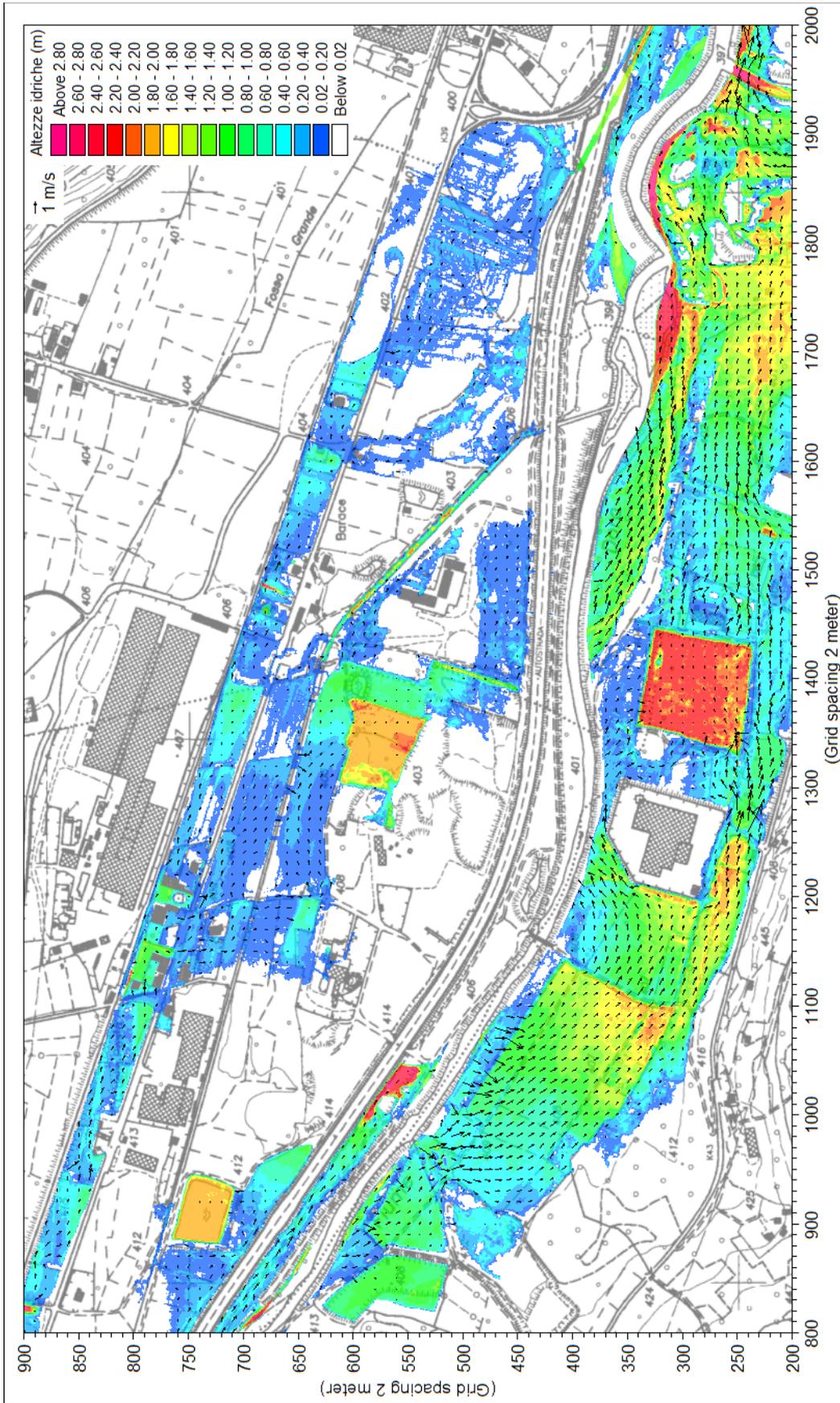


Figura 13 - Scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle massime altezze d'acqua e campo dei vettori velocità.

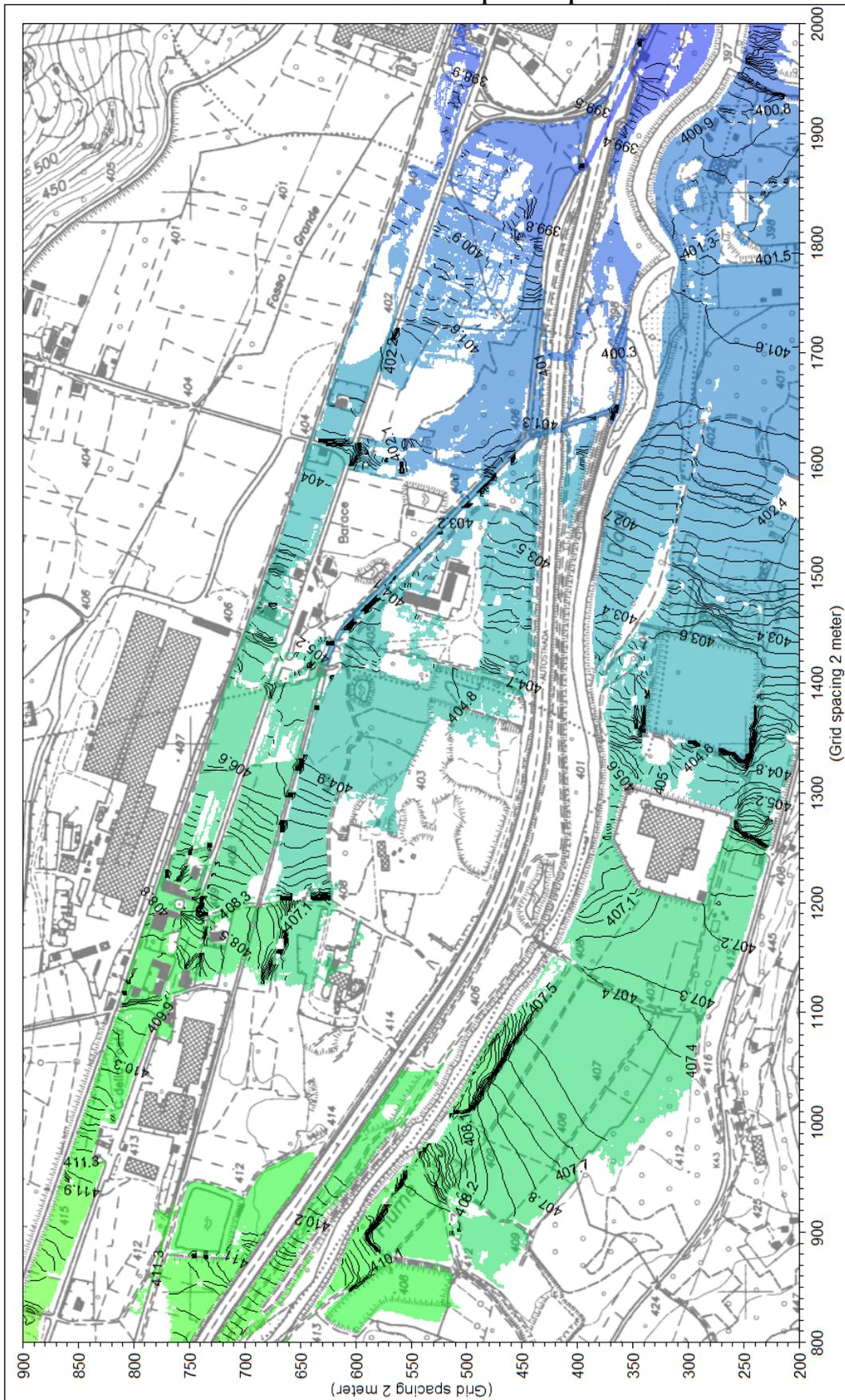


Figura 14 - Scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-B). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo.

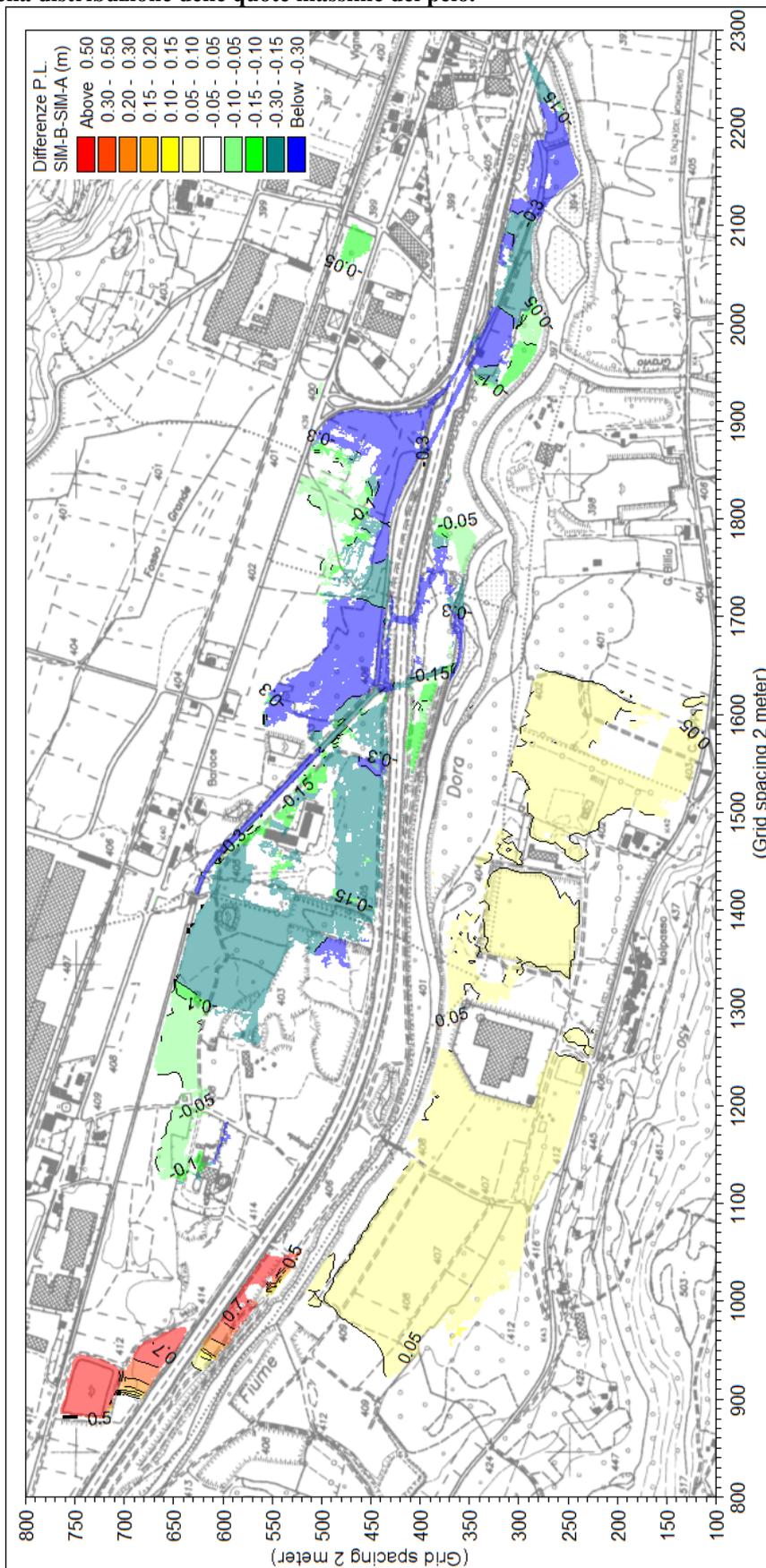


Figura 15 - Differenze tra le quote massime di pelo libero relative allo scenario attuativo del limite B di progetto e quelle relative allo scenario attuale (SIM-B - SIM-A).

Nella Tabella 7, in corrispondenza delle sezioni trasversali d'alveo della Dora Riparia inserite nel modello e per le sezioni di infittimento, sono elencati i parametri caratterizzanti i valori massimi di inviluppo del profilo di corrente con tempo di ritorno 200 anni ottenuti nello scenario in esame. Nell'ultima colonna della stessa tabella ($\Delta P.L. B-A$) sono riportate inoltre le differenze tra gli inviluppi del pelo libero della simulazione in esame (SIM-B) e della simulazione dello scenario attuale (SIM-A): le variazioni di livello in alveo sono comprese nell'intervallo $(+0,07) \div (-0,04)$ m.

Nella Figura 16 è riportata la rappresentazione grafica di sintesi del profilo longitudinale di corrente ottenuto, corrispondente alla simulazione di scenario riportata in forma numerica in tabella. Anche in questo caso i valori rappresentati graficamente sul profilo fanno riferimento all'inviluppo dei valori massimi raggiunti nel corso della simulazione lungo l'alveo inciso della Dora Riparia. Nella figura sono indicati:

- il profilo inviluppo dei massimi livelli raggiunti nel corso dell'evento simulato nello scenario SIM-B (linea blu);
- il profilo inviluppo dei valori di portata massimi raggiunti nell'alveo inciso (linea rossa);
- i profili delle quote di fondo, di sponda sinistra (linea tratteggiata) e di sponda destra (linea continua);
- le tracce delle sezioni di rilievo con indicazione delle corrispondenti progressive;
- l'indicazione dell'estensione del modello bidimensionale.

La rappresentazione grafica dell'inviluppo delle portate defluenti lungo l'alveo inciso (linea rossa) mette in evidenza la successione delle esondazioni verso le aree golenali (in particolar modo quelle in destra orografica di maggiore entità) che alimentano il campo di moto simulato con il modello bidimensionale (tratti di curva discendenti) e dei successivi rientri parziali di portata nell'alveo inciso che rappresentano uscite di flusso dal modello 2D (tratti di curva ascendenti).

Complementare a tale rappresentazione del profilo è la Figura 13 che, attraverso la riproduzione della direzione e del modulo dei vettori velocità, evidenzia chiaramente le zone dove maggiori sono le esondazioni e come avvengono i seguenti rientri di portata in alveo.

Come risulta dalla Figura 15, nello scenario SIM B, oltre ad una riduzione delle aree esondabili in golena sinistra, si rileva rispetto allo scenario attuale SIM A: un innalzamento modesto di livello (5 cm) in golena destra nel tratto a cavallo del futuro autoporto, un abbassamento dei livelli in golena sinistra pari a 10 – 30 cm a monte e in corrispondenza dello stesso e maggiore di 30 cm a valle.

In termini di laminazione del colmo di piena, si passa da una portata di 639 mc/s nello stato attuale a 632,4 mc/s nello scenario di progetto attuativo del limite B di progetto del PAI; si tratta di una riduzione dell'1%.

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	Q (m ³)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	ΔP.L. B-A (m)
095	64950,00	422,62	427,64	5,02	667,71	342,73	312,02	1,95	0,59	427,83	0,00
	65040,00		427,06		667,89	309,36	296,44	2,16	0,67	427,30	0,00
	65130,00		426,41		667,73	269,54	236,51	2,48	0,74	426,72	0,00
	65220,00		425,80		667,40	255,06	189,84	2,62	0,72	426,15	0,00
	65310,00		425,31		667,05	268,57	174,15	2,48	0,64	425,63	0,00
	65400,00		424,89		666,68	293,70	174,27	2,27	0,56	425,15	0,00
	65490,00		424,48		666,27	318,33	192,61	2,09	0,52	424,71	0,00
	65580,00		424,04		665,78	332,11	214,51	2,00	0,51	424,25	0,00
094	65670,00	419,54	423,43	3,89	665,86	300,51	236,12	2,22	0,63	423,68	0,00
	65765,00		422,59		666,07	289,96	201,67	2,30	0,61	422,86	0,00
	65860,00		421,87		666,19	294,10	167,68	2,27	0,55	422,14	0,00
	65955,00		421,44		666,22	315,62	134,25	2,11	0,44	421,67	0,00
093 2P	66050,00	417,19	421,13	3,94	666,19	279,35	98,39	2,38	0,45	421,42	0,00
	66100,00	416,92	421,00	4,08	666,16	272,84	91,77	2,44	0,45	421,31	0,00
	66200,00		420,73		657,77	248,15	79,76	2,65	0,48	421,09	0,00
	66300,00		420,39		652,02	216,79	67,74	3,01	0,54	420,85	0,00
093	66400,00	415,33	419,90	4,57	636,54	176,97	55,73	3,60	0,64	420,56	0,00
	66487,50		419,58		634,17	186,25	53,14	3,40	0,58	420,17	0,00
092 1Pm	66575,00	413,59	419,26	5,67	647,56	194,82	52,43	3,32	0,55	419,82	0,00
092 1Pv	66585,00	413,54	418,26	4,72	647,55	147,31	46,26	4,40	0,79	419,24	0,00
	66663,80		417,67		652,69	147,19	48,12	4,43	0,81	418,67	0,00
	66742,50		417,02		657,84	143,86	47,41	4,57	0,84	418,08	0,00
	66821,30		416,34		650,26	138,57	46,38	4,69	0,87	417,47	0,00
	66900,00	411,40	415,67	4,27	619,50	132,13	44,97	4,69	0,87	416,79	0,00
	66996,70		414,98		591,01	137,81	45,04	4,29	0,78	415,92	0,00
	67093,30		414,30		616,64	142,24	43,50	4,34	0,77	415,26	0,00
092a	67190,00	409,39	413,66	4,27	625,98	145,94	41,97	4,29	0,73	414,59	0,00
	67267,50		413,43		563,45	150,63	43,30	3,74	0,64	414,14	0,00
	67345,00		413,35		513,96	162,41	44,62	3,16	0,53	413,86	0,00
	67422,50	406,89	413,17	6,29	512,24	169,70	45,95	3,02	0,50	413,64	0,00
	67500,00	407,98	412,90	4,92	545,22	172,71	47,28	3,16	0,53	413,41	0,00
	67580,00		412,52		589,47	172,74	48,65	3,41	0,58	413,12	0,00
	67660,00		412,22		594,13	174,46	50,02	3,41	0,58	412,81	0,00
	67740,00	407,98	411,89	3,91	604,79	173,04	50,40	3,50	0,60	412,51	0,00
	67830,00		411,44		633,88	173,00	51,26	3,66	0,64	412,13	0,00
091	67920,00	406,07	411,05	4,98	646,30	174,83	52,27	3,70	0,65	411,75	0,00
	68001,00		410,77		634,39	174,17	51,55	3,64	0,63	411,45	0,01
	68082,00		410,52		617,76	174,82	51,39	3,53	0,61	411,16	0,01
	68163,00		410,22		612,68	172,78	51,73	3,55	0,62	410,86	0,02
	68244,00		409,86		612,70	167,34	52,06	3,66	0,65	410,54	0,04
	68325,00	405,31	409,49	4,18	592,75	161,23	51,46	3,68	0,66	410,18	0,07
	68387,50		409,26		567,50	158,64	51,69	3,58	0,65	409,91	0,07
090	68450,00	405,08	409,06	3,98	548,76	157,49	51,13	3,48	0,63	409,68	0,04
	68548,00		408,68		522,76	145,15	47,08	3,60	0,65	409,34	0,05
P89m	68646,00	403,51	408,18	4,67	510,70	129,88	38,29	3,93	0,68	408,97	0,05
P89v	68654,00	403,49	407,83	4,34	510,70	119,19	37,19	4,28	0,76	408,76	0,05
	68746,00		407,21		510,66	123,86	39,45	4,12	0,74	408,08	0,06
	68838,00		406,61		525,20	129,15	41,70	4,07	0,74	407,45	0,06
	68930,00	401,03	405,91	4,88	558,40	130,68	43,75	4,27	0,79	406,84	0,05
	69023,30		405,15		572,11	129,95	43,91	4,40	0,82	406,13	0,04
	69116,70		404,46		567,36	132,71	44,22	4,28	0,79	405,39	0,04

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	Q (m ³)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	ΔP.L. B-A (m)
089	69210,00	399,53	403,87	4,34	557,55	139,79	44,69	3,99	0,72	404,68	0,04
	69296,00		403,42		527,58	137,06	46,97	3,85	0,72	404,18	0,03
	69382,00		403,04		493,37	137,75	49,60	3,58	0,69	403,70	0,03
	69468,00		402,68		470,05	139,93	52,43	3,36	0,66	403,25	0,03
	69554,00		402,33		457,12	143,76	55,45	3,18	0,63	402,84	0,04
	69640,00	397,95	401,97	4,02	454,20	148,23	58,65	3,06	0,62	402,44	0,04
	69726,00		401,58		470,43	155,47	61,10	3,03	0,61	402,05	0,05
	69812,00		401,15		491,99	158,65	63,49	3,10	0,63	401,64	0,06
	69898,00		400,73		500,41	162,54	66,11	3,08	0,63	401,22	0,06
	69984,00		400,33		503,91	166,76	68,89	3,02	0,62	400,80	0,04
088	70070,00	396,36	399,96	3,60	504,10	172,42	71,84	2,92	0,60	400,40	0,03
	70154,00		399,60		514,90	175,54	68,99	2,93	0,59	400,04	0,02
	70238,00		399,23		529,51	177,21	66,56	2,99	0,58	399,68	0,04
	70322,00		398,91		533,97	181,53	65,19	2,94	0,56	399,35	0,04
	70406,00		398,64		534,64	188,44	65,18	2,84	0,53	399,05	0,03
	70490,00	393,85	398,42	4,56	534,64	197,83	63,62	2,70	0,49	398,79	0,03
	70588,00		398,15		534,22	192,52	58,14	2,77	0,49	398,54	0,02
	70686,00		397,84		550,38	183,42	52,65	3,00	0,51	398,30	0,02
	70784,00		397,41		576,11	168,49	47,16	3,42	0,58	398,01	0,01
	70882,00		396,92		585,24	151,56	41,68	3,86	0,65	397,68	0,00
087	70980,00	391,10	396,35	5,25	585,21	132,53	36,19	4,42	0,74	397,34	-0,03
	71035,00		396,23		593,64	176,63	45,24	3,36	0,54	396,81	-0,04
P-86	71090,00	391,27	396,06	4,79	602,66	191,29	56,86	3,15	0,55	396,57	-0,02
	71175,00		395,78		602,65	193,71	53,38	3,11	0,52	396,27	-0,02
	71260,00		395,50		602,63	194,82	50,09	3,09	0,50	395,99	-0,01
	71345,00		395,23		602,60	193,27	47,09	3,12	0,49	395,72	-0,01
	71430,00		394,93		602,57	186,29	44,54	3,23	0,50	395,46	-0,01
	71515,00		394,54		609,97	168,62	41,46	3,62	0,57	395,21	-0,01
086	71600,00	389,49	394,00	4,51	624,41	140,62	38,38	4,44	0,74	395,00	-0,01
	71696,70		393,59		622,95	166,58	48,03	3,74	0,64	394,31	-0,01
	71793,30		393,41		599,66	201,39	57,68	2,98	0,51	393,86	-0,01
085_1Pm	71890,00	388,24	393,18	4,94	649,06	233,49	67,33	2,78	0,48	393,57	-0,01
085_1Pv	71900,00	388,19	392,49	4,30	654,24	190,54	67,30	3,43	0,65	393,09	-0,05
	71990,00		392,30		642,09	263,22	96,58	2,44	0,47	392,60	-0,02
	72080,00		392,10		642,10	303,73	125,06	2,11	0,43	392,32	-0,03
	72170,00		391,86		642,07	312,53	152,73	2,05	0,46	392,08	-0,03
	72260,00		391,57		642,01	292,15	179,03	2,20	0,55	391,81	-0,03
085	72350,00	386,76	391,14	4,38	641,91	228,16	200,66	2,81	0,84	391,54	-0,04
	72435,00		390,84		641,77	259,94	185,26	2,47	0,67	391,15	-0,03
	72520,00		390,55		641,64	286,79	166,39	2,24	0,54	390,81	-0,03
	72605,00		390,27		641,59	308,47	147,41	2,08	0,46	390,49	-0,03
084	72690,00	385,35	389,99	4,64	641,64	324,33	128,30	1,98	0,40	390,19	-0,03
	72785,00		389,66		641,68	316,95	121,43	2,02	0,40	389,87	-0,03
	72880,00		389,31		641,71	305,70	114,29	2,10	0,41	389,54	-0,03
	72975,00		388,93		641,73	288,05	106,77	2,23	0,43	389,19	-0,03
	73070,00		388,48		641,75	259,09	98,76	2,48	0,49	388,79	-0,02
	73165,00		387,86		641,76	210,16	90,20	3,05	0,64	388,33	-0,02
083_1P	73260,00	384,34	387,11	2,77	641,76	150,74	81,61	4,26	1,00	388,04	-0,02

Tabella 7 - Profilo di corrente nello scenario SIM-B lungo l'alveo inciso della Dora Riparia.

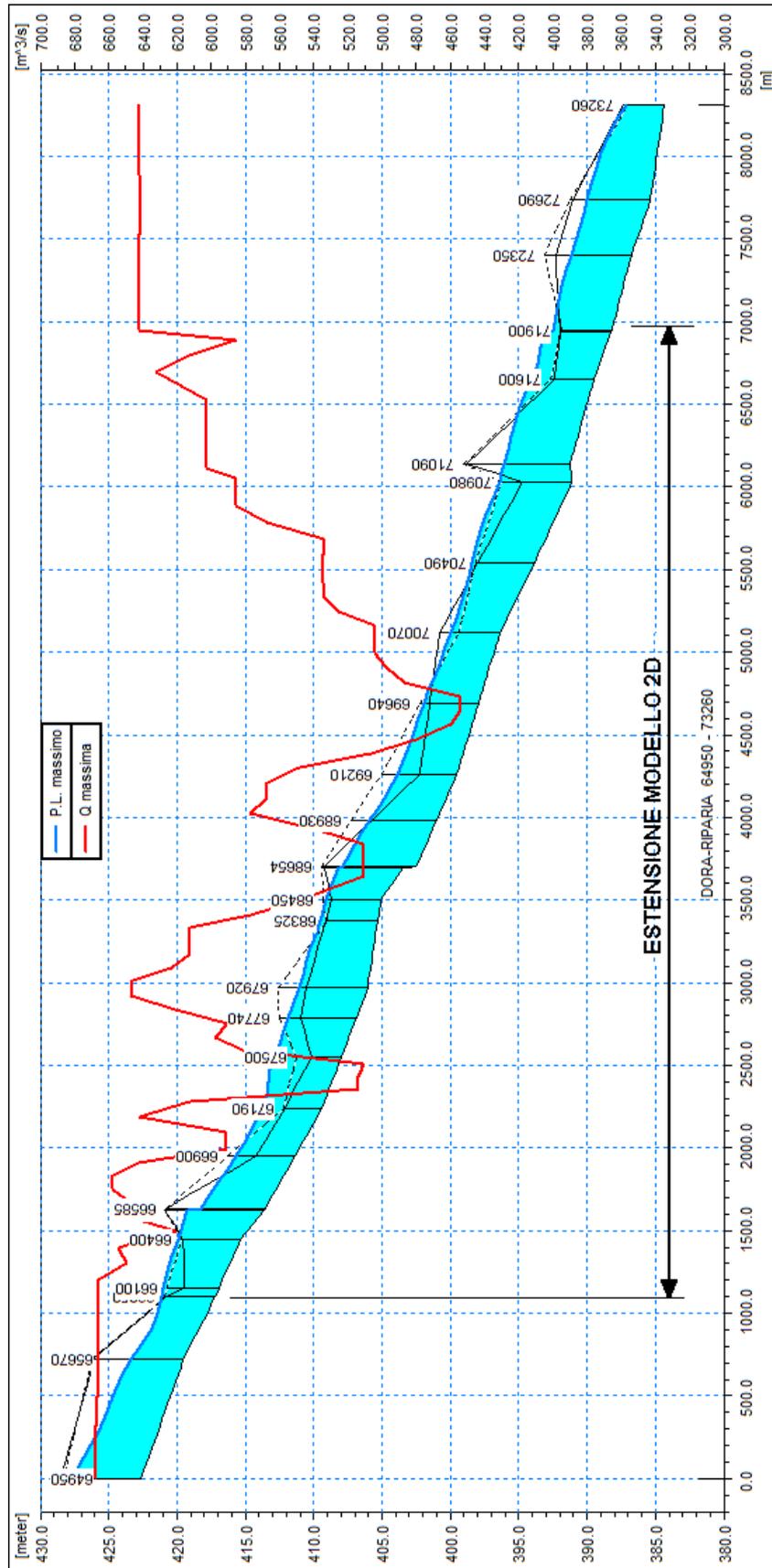


Figura 16 - Scenario SIM-B. Profilo longitudinale lungo l'alveo inciso della Dora Riparia rappresentante l'involuppo delle massime altezze d'acqua e delle massime portate al colmo raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni.

4.5 Risultati dello scenario di progetto - SIM-C

L'ultimo scenario simulato (SIM-C) ha analizzato la configurazione di progetto complessiva delle opere previste per la realizzazione dell'autoporto, la cui descrizione è riportata sugli elaborati progettuali.

Contestualmente alla realizzazione dell'autoporto si è ipotizzato il completamento delle opere di arginature previste nel progetto del Comune di Bruzolo, attuative del limite di fascia B di progetto lungo il rilevato autostradale, a monte dell'area in esame (vedi scenario SIM-B).

Per la simulazione di questo scenario di progetto, sono state introdotte nel modello dello scenario precedentemente illustrato le seguenti modifiche:

- è stato introdotto il ramo corrispondente al collettore di diametro 1,5 m di drenaggio delle aree di allagamento nei pressi della rotatoria: il collettore presenta all'imbocco una quota di fondo pari a 403,40 m s.m. e una quota di fondo pari a 400,10 m s.m. allo sbocco previsto in prossimità del ponticello autostradale di attraversamento dello scarico del canale idroelettrico N.I.E.;
- nella batimetria del modello bidimensionale sono stati inseriti gli elementi caratterizzanti la configurazione di progetto dell'autoporto (vedi Figura 17): è stato imposto un limite fisico non superabile (allineamento di celle di non-flusso) lungo le rampe SV-TO e SV-BA e la bretella di collegamento delle due rotatorie a monte, lungo le rampe TO-SV e BA-SV a valle e infine lungo il lato sud del rilevato dell'autoporto che costeggia il canale di collegamento di tutti gli imbocchi dei tombini autostradali (dal n°7 al n°13);
- ancora nella batimetria del modello sono state inserite le pile e le spalle dei viadotti delle due rampe che sovrappassano l'autostrada, nonché i rilevati di raccordo all'autostrada stessa; è stata infine modificata la batimetria in corrispondenza del pozzetto ubicato nei pressi della rotatoria al fine di rappresentare correttamente nel modello le ipotesi progettuali.

La simulazione dell'evento di piena di progetto è stata poi condotta mantenendo inalterati tutti gli altri parametri e condizioni al contorno già adottati per le simulazioni precedenti.

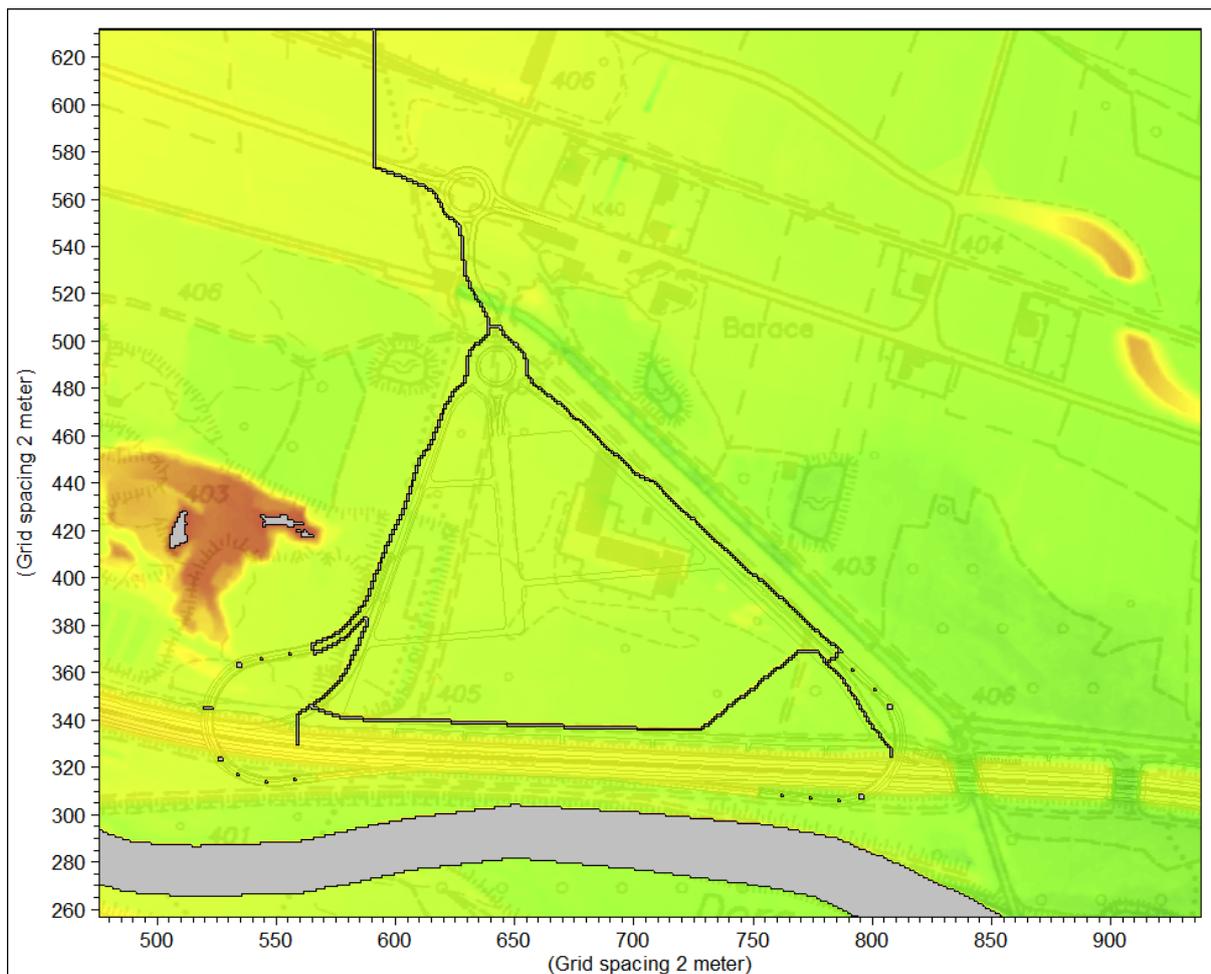


Figura 17 – Particolare della batimetria del modello 2D a maglia 2x2 m impiegata per lo scenario SIM-C.

Nella Figura 18 - Scenario di progetto (SIM-C). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle altezze d'acqua in corrispondenza del transito del colmo di piena e campo dei vettori velocità. è riportata la distribuzione calcolata con il modello bidimensionale MIKE 21 delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna in corrispondenza del transito del colmo dell'evento di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni; sovrapposto ad essa è riportato il campo dei vettori velocità di deflusso.

Nella Figura 19 - Scenario di progetto (SIM-C). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo libero raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto. è rappresentata la distribuzione delle massime quote di pelo libero raggiunte nel corso dell'evento di piena considerato.

Nella Figura 20 - Scenario di progetto (SIM-C). Particolare nella zona di intervento della distribuzione delle velocità massime di deflusso. è riportata la distribuzione areale delle massime velocità di deflusso raggiunte nel corso dell'evento di piena duecentennale.

Nella Figura 21 è rappresentata la mappa delle differenze tra le quote massime di pelo libero relative allo scenario di progetto complessivo e quelle relative allo scenario attuativo del limite B di progetto (SIM-C - SIM-B): come risulta dalla Figura nello scenario in esame, rispetto allo scenario B si assiste a un incremento dei livelli appena apprezzabile (da 0,05 a 0,10 m) a monte del nuovo piazzale di autoporto mentre a valle si verificano abbassamenti di

livello dell'ordine di $0,10 \div 0,15$ m per effetto delle portate smaltite verso l'alveo della Dora dal collettore in progetto.

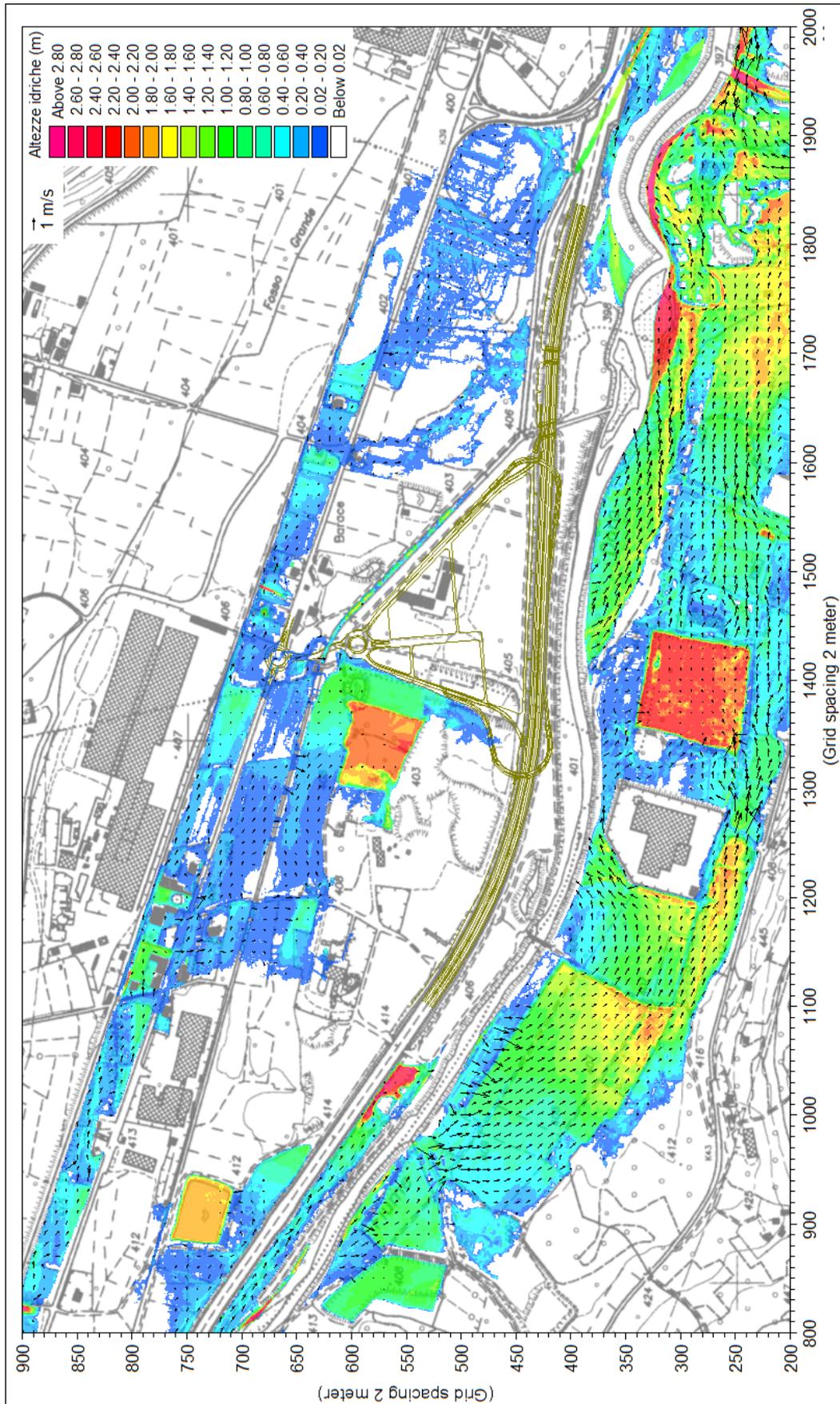


Figura 18 - Scenario di progetto (SIM-C). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle altezze d'acqua in corrispondenza del transito del colmo di piena e campo dei vettori velocità.

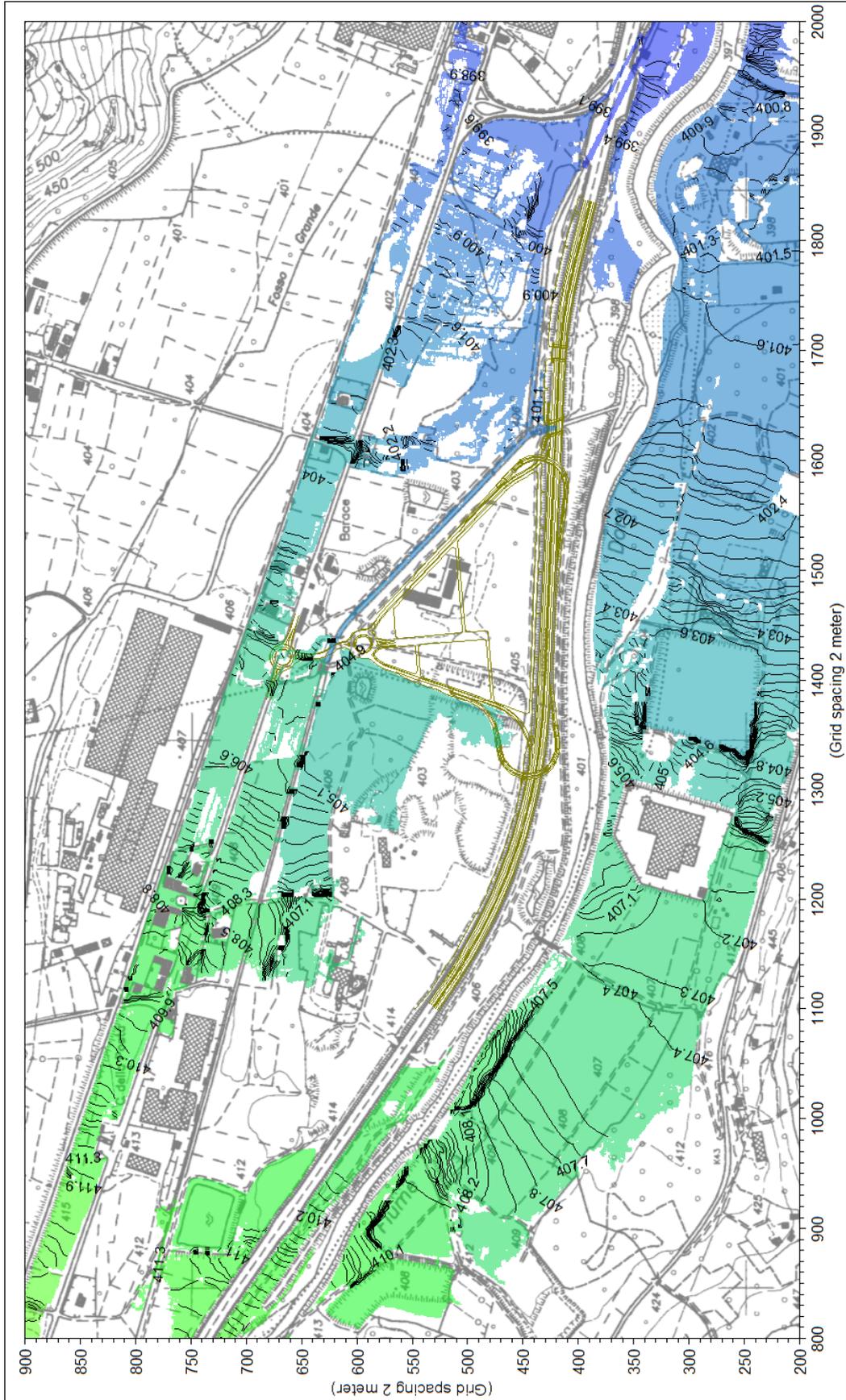


Figura 19 - Scenario di progetto (SIM-C). Ingrandimento nella zona di interesse della distribuzione delle quote massime del pelo libero raggiunte nel corso del deflusso dell'evento di piena di progetto.

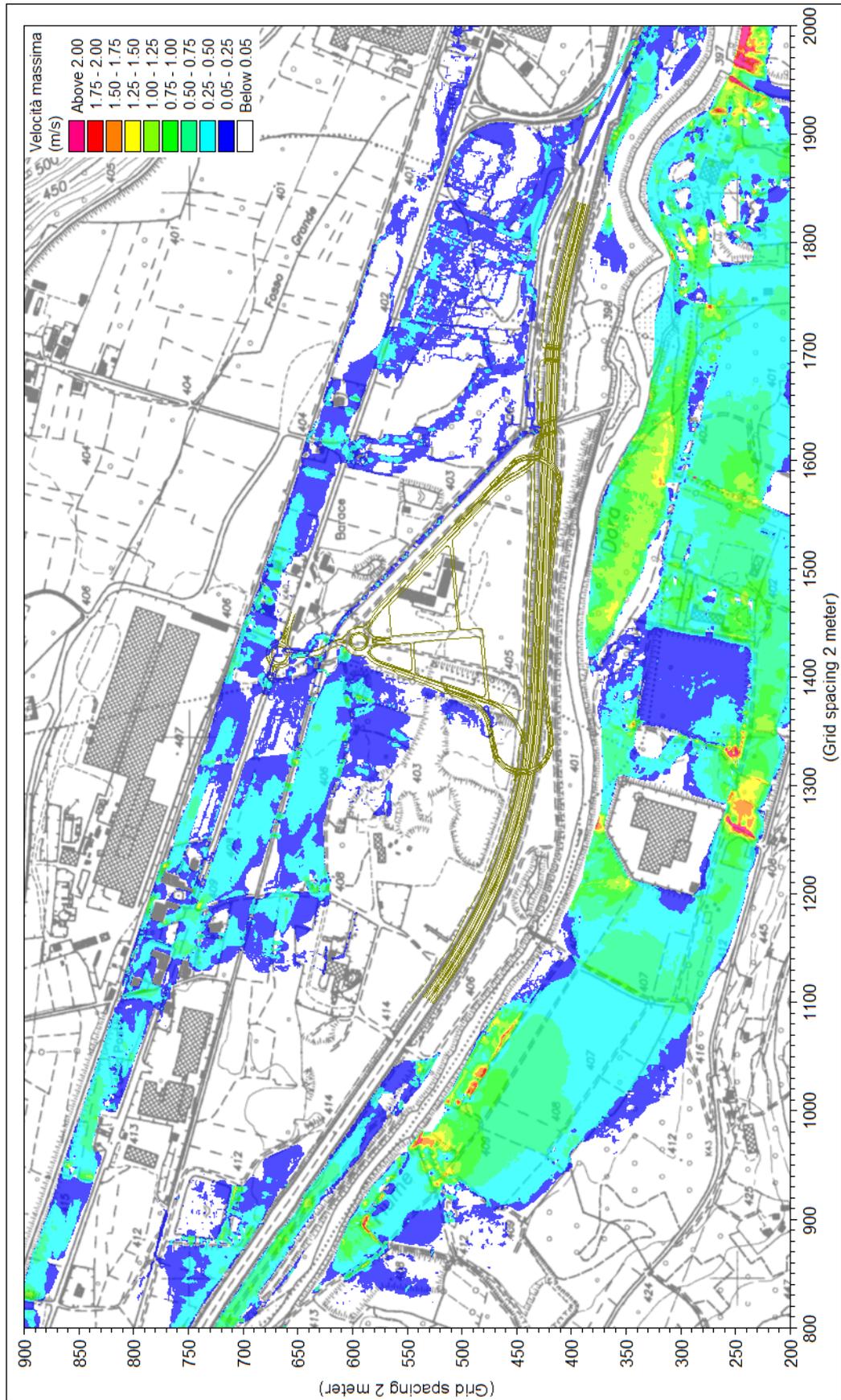


Figura 20 - Scenario di progetto (SIM-C). Particolare nella zona di intervento della distribuzione delle velocità massime di deflusso.

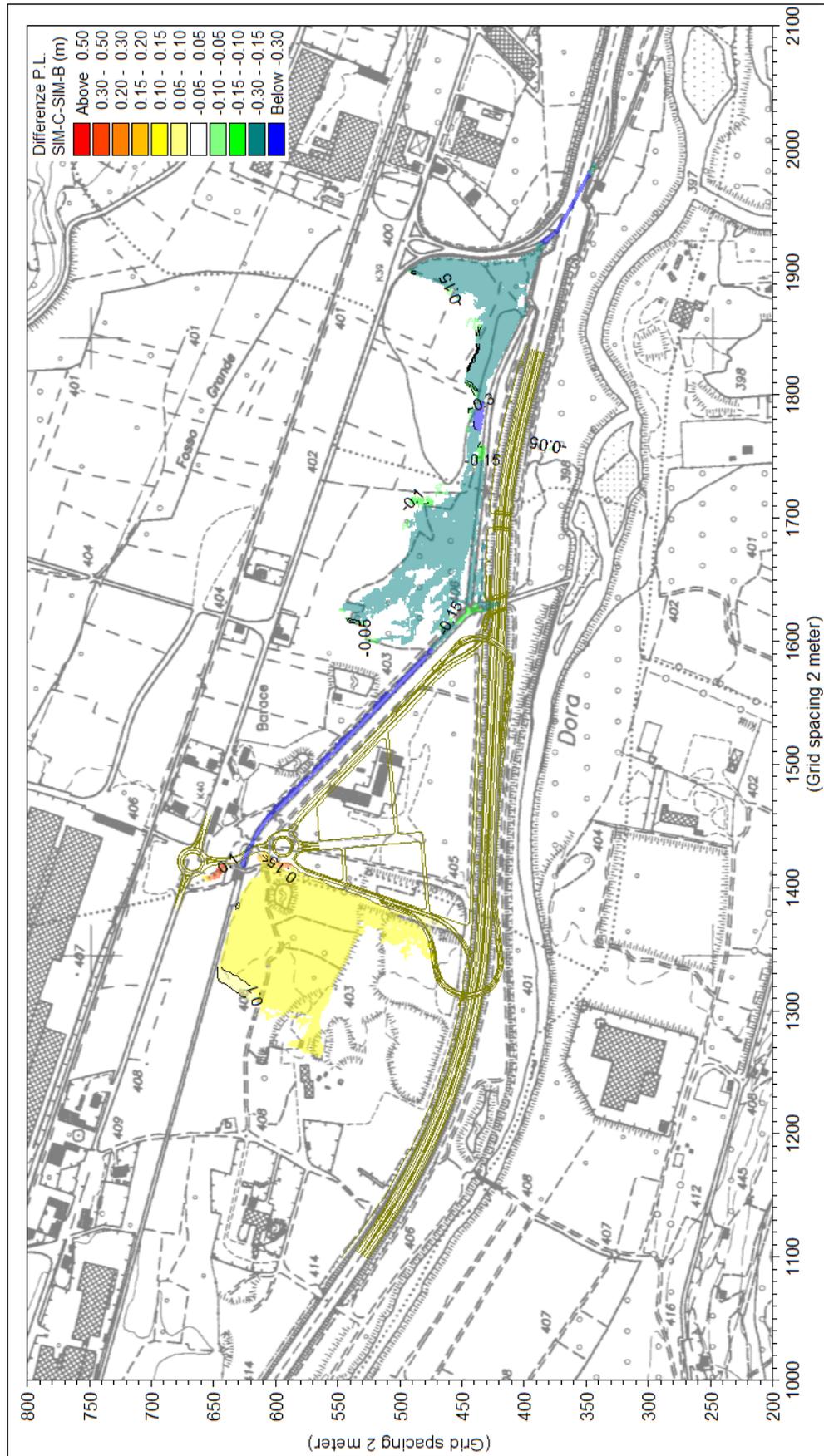


Figura 21 - Differenze tra le quote massime di pelo libero relative allo scenario di progetto complessivo e quelle relative allo scenario attuativo del limite B (SIM-C - SIM-B).

A monte dell'area di intervento si forma un'area di invaso e laminazione con quota massima di pelo libero che raggiunge i 404,94 m s.m., circa equivalente a quella calcolata nello scenario attuale senza interventi in corrispondenza della rotatoria, con altezze d'acqua comprese tra 0,5 e 2 m.

Nel canale di raccordo dei tombini autostradali costituito dall'area interclusa tra il nuovo piazzale di progetto e il rilevato autostradale non si verificano deflussi.

Nella Tabella 8 sono riportati i valori massimi al colmo degli idrogrammi di portata calcolati con il modello lungo gli attraversamenti autostradali, che evidenziano l'entità dei deflussi di interscambio con le aree golenali a tergo del rilevato autostradale.

Nel collettore di scarico delle acque di esondazione nell'area a monte del nuovo piazzale, di diametro 1,5 m, defluisce infine una portata massima pari a 4,53 m³/s.

ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE	QMAX (m ³ /s)	ATTRAVERSAMENTO AUTOSTRADALE	QMAX (m ³ /s)
Tombino 26	0,972	Tombino 10	0,000
Tombino 25	2,349	Tombino 11	0,000
Tombino 24	0,046	Tombino 12	0,000
Tombino 23	0,003	Tombino 13	0,000
Tombino 22	0,951	Ponticello 1 valle	0,000
Tombino 21	0,314	Tombino 14	0,000
Tombino 20	-1.069	Ponticello 2 valle	0,000
Ponticello monte	0,000	Tombino 27	0,000
Tombino 1	0,000	Tombino 28	0,000
Tombino 5	0,000	Tombino 29	0,000
Tombino 6	0,000	Tombino 30	0,000
Tombino 7	0,000	Scatolare 1	-0.248
Tombino 8	0,000	Scatolare 2	-1.778
Tombino 9	0,000	Tombino 31	0,079

Tabella 8 - Valori massimi delle portate defluenti negli attraversamenti autostradali nello scenario di progetto (SIM4). Valori "+" da alveo a golena, "-" da golena ad alveo.

In questo caso non si riportano la tabella e il profilo di corrente lungo l'alveo inciso della Dora Riparia ottenuti con il modello MIKE 11 in quanto risultano coincidenti con quelli relativi allo scenario SIM-B.

4.6 CONCLUSIONI

Il modello è stato implementato con riferimento allo stato di fatto del corso d'acqua e a due diverse configurazioni di progetto, quella relativa all'attuazione del limite di fascia B definita nel progetto del Comune di Bruzolo e quella complessiva che oltre a tali opere prevede la realizzazione dell'autoporto.

Il modello è stato allestito sulla base del rilievo LIDAR (modello digitale del terreno) della Regione Piemonte e le verifiche idrauliche sono state riferite alla portata di piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni pari a 671 m³/s.

Gli effetti di laminazione conseguenti ai vari scenari simulati sono facilmente confrontabili osservando la Figura 22 in cui sono sovrapposti l'idrogramma di piena duecentennale in

ingresso al modello (linea nera comune a tutti gli scenari) e gli idrogrammi in uscita dal modello nei tre scenari considerati.

Gli interventi in progetto dell'autoporto non alterano in nessun modo gli effetti di laminazione dell'onda di piena con tempo di ritorno 200 anni indotti dalle esondazioni sulle aree golenali conseguenti la pianificazione del PAI (limite di fascia B di progetto): come risulta dalla Figura 22, la portata al colmo nella sezione a valle del nuovo piazzale autoporto è pari a 632 mc/s nello scenario SIM B e 631 mc/s nello scenario SIM C.

A monte dell'autoporto le aree di esondazione, dovute esclusivamente ai contributi duecentennali dei tributari minori, risultano rispettivamente pari a 135.000 mq nello scenario SIM B e 139.500 mq nello scenario SIM C; la differenza è dell'ordine del 3% e rientra nei limiti di approssimazione di un qualsiasi modello.

I tiranti idrici sono equivalenti (a meno di variazioni locali comprese tra 5 e 10 cm).

Per i motivi sopracitati, mancanza di esondazione della golenella sinistra ad opera della Dora Riparia per gli scenari SIM B-progetto attuativo del limite B del progetto del PAI come da progetto del Comune di Bruzolo e SIM C-progetto complessivo con il nuovo piazzale di autoporto, non si è eseguita un'analisi per step temporali successivi al crescere dell'idrogramma di piena e le dinamiche di allagamento sono state valutate con modello bidimensionale per i contributi dovuti ai tributari minori.

Inoltre come risulta dalla mappa di confronto tra le due simulazioni sopra illustrate, non vengono assolutamente modificate, e tantomeno aggravate, le condizioni di pericolosità e di rischio in sponda destra e nei tratti di valle.

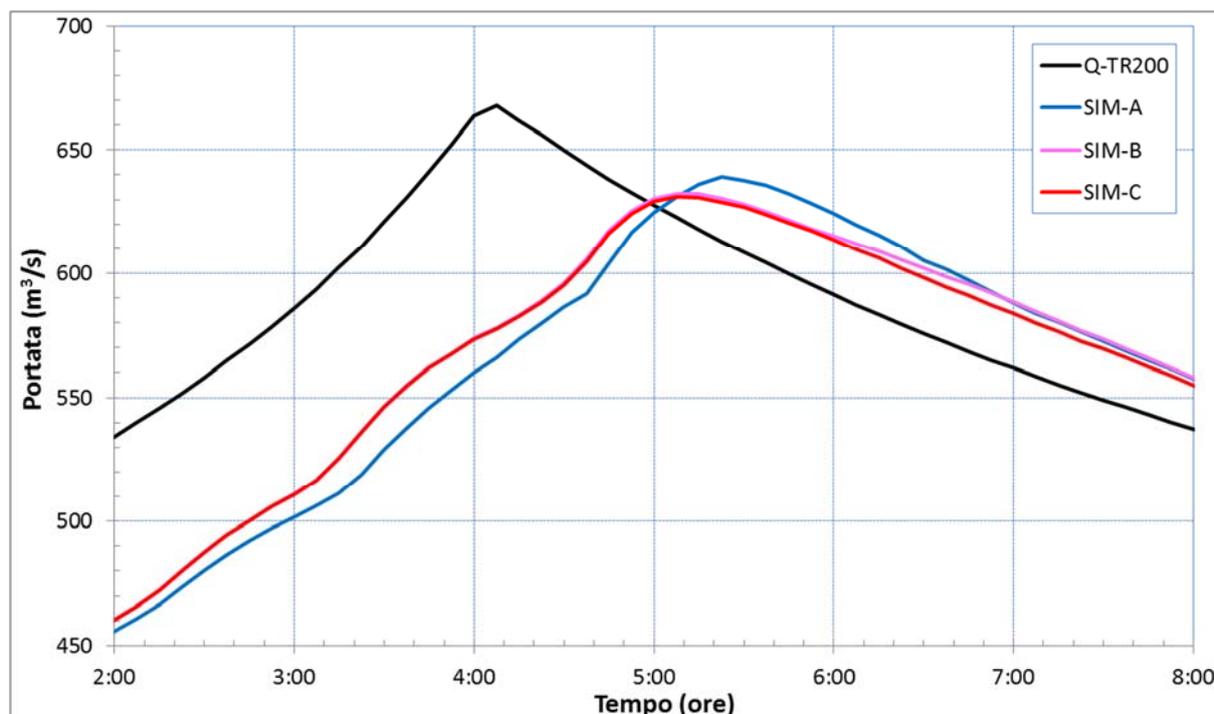


Figura 22 - Confronto tra l'idrogramma di piena in ingresso al modello (linea nera) e gli idrogrammi in uscita dal modello nei tre scenari simulati.