



**Città della Spezia**  
 Medaglia d'oro al Merito Civile  
 Medaglia d'argento al Valor Militare

**Studio idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia**

**Aggiornamento e integrazione con definizione di possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico relativi ad alcune specifiche criticità puntuali**



**Relazione idraulica e di analisi della pericolosità**

**Bacino 08: Rossano**  
**Bacino 09: Cappelletto**

 **ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA**  
*Luca Aldo Remo Dutto*  
**A1721 Dott. Ing. Luca Aldo Remo Dutto**

3636 - 0 4 - 0 0 6 0 0 . DOC 3.6

**Hydrodata S.p.A.**  
 via Pomba, 23  
 10123 Torino - Italia  
 Tel. +39 11 55 92 811  
 Fax +39 11 56 20 620  
 e-mail: hydrodata@hydrodata.it  
 sito web: www.hydrodata.it

<b>00</b>	<b>LUG.21</b>	<b>R. LUCHI</b>	<b>L. DUTTO</b>	<b>L. DUTTO</b>	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE



## INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	STATO DI RISCHIO DA PIANIFICAZIONE IDRAULICA VIGENTE	4
3.	ALLESTIMENTO DEI MODELLI NUMERICI	5
3.1	Approccio metodologico modellistico	6
3.2	Schema del modello	7
3.2.1	Modello MIKE11	7
3.2.2	Modello MIKE21	15
4.	CONDIZIONI AL CONTORNO	18
4.1	Scenari condizione A (esondazione effettiva)	20
4.2	Scenari condizione B (in assenza di laminazione)	23
5.	RISULTATI	25
5.1	Risultati delle simulazioni: Fosso Rossano, Rio Monte Pertico e Fosso Andreino	25
5.1.1	Condizione A - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	25
5.1.2	Condizione A - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	35
5.1.3	Condizione A - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	42
5.1.4	Condizione B - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	50
5.1.5	Condizione B - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	53
5.1.6	Condizione B - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	56
5.2	Risultati delle simulazioni sul Fosso Cappelletto	59
5.2.1	Condizione A - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	59
5.2.2	Condizione A - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	64
5.2.3	Condizione A - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	69
5.2.4	Condizione B - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	73
5.2.5	Condizione B - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	76
5.2.6	Condizione B - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	78
5.3	Analisi dei franchi idraulici sui manufatti interferenti	81
5.4	Risultati delle simulazioni MIKE 21	84
5.4.1	Condizione A - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	84
5.4.2	Condizione A - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	94
5.4.3	Condizione A - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	97
5.4.4	Condizione B - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	99
5.4.5	Condizione B - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	102
5.4.6	Condizione B - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	104
6.	ANALISI DEI RISULTATI E PROPOSTA DI MODIFICA DELLE FASCE DI PERICOLOSITÀ	106

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE11 - HD

ALLEGATO 2 – Descrizione del codice di calcolo MIKE21 - HD

ALLEGATO 3 – Sezioni trasversali inserite nel modello idraulico, con indicato il livello massimo di piena duecentennale





## 1. PREMESSA

Il Comune della Spezia ha affidato nel maggio 2019 all'Associazione Temporanea di Imprese (nel seguito ATI) tra Hydrodata S.p.A. (capogruppo mandataria) e ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l. (mandante) il servizio di *redazione di uno studio idrologico e idraulico per la definizione delle fasce di esondazione dei principali torrenti, fossi e canali ricadenti nel Comune della Spezia, con particolare riferimento all'area del levante cittadino, a supporto delle attività di protezione civile e del Piano Urbanistico Comunale* (CIG 7515291652 - CUP G44C18000080001).

A seguito della consegna dello studio (dicembre 2019) e del successivo iter di revisione, è emersa l'opportunità di aggiornare l'analisi di stato attuale per alcuni corpi idrici in relazione alla disponibilità di nuove informazioni e rilievi di dettaglio, oltre a predisporre una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica sull'area di studio. In relazione al generale ampliamento di queste ultime rispetto a quanto precedentemente perimetrato nel Piano di Bacino vigente, a causa delle analisi condotte su tratti di reticolo idrografico precedentemente non studiati dal punto di vista dell'assetto idraulico, è apparso inoltre opportuno identificare già da subito possibili interventi di mitigazione del rischio idraulico relativi a specifiche criticità puntuali.

È stato dunque conferito incarico dal Comune alla scrivente Hydrodata S.p.A. (CIG ZC92FBBB86 – CUP G44C18000080001) per il presente studio integrativo con le finalità sopra descritte.

Per omogeneità e semplicità di consultazione si è provveduto a una riemissione completa dello studio pregresso, anche nelle parti che non hanno subito modifiche; il presente aggiornamento sostituisce quindi integralmente lo studio pregresso.

Tale studio è strutturato in 4 fasi operative principali:

1. caratterizzazione dell'assetto attuale dei corsi d'acqua;
2. analisi idrologica;
3. analisi idrauliche e definizione delle fasce di esondabilità attuali;
4. sintesi dello studio e indicazione di possibili interventi per la mitigazione del rischio.

Il presente documento, relativo alla fase 3, descrive l'assetto idraulico di stato attuale e l'estensione delle aree di possibile esondazione delle portate di piena di riferimento per i seguenti bacini (cfr. relazione 3636-02-00100, *Caratterizzazione dell'assetto attuale dei corsi d'acqua*, per l'inquadramento dei corpi idrici in studio e la relativa numerazione):

- 08: Fosso Rossano;
- 09: Fosso Cappelletto.

Nei capitoli che seguono si descrivono le attività svolte e i risultati ottenuti per la rappresentazione delle dinamiche di propagazione degli eventi di piena nei bacini considerati, mediante allestimento di modellistica numerica con schema bidimensionale.

In funzione delle aree di esondazione risultanti dall'analisi idraulica è stata tracciata una proposta di ripermimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica A, B e C (rispettivamente pericolosità molto elevata, media e bassa) come definite all'art.12, comma 2 delle Norme di Attuazione (NTA) del vigente Piano di Bacino.

Contestualmente sono stati anche definiti gli ambiti normativi di fascia B, con riferimento alle *aree individuate a minor pericolosità in relazione a modesti tiranti idrici e a ridotte velocità di scorrimento* di cui all'art.15 delle NTA, delimitando in particolare gli ambiti "B0" e "BB" ai sensi della DGR 91/2013, aggiornamento normativo della precedente DGR 250/2005.

Le fasce così definite sono restituite su base cartografica in scala 1:2.500 nell'elaborato grafico annesso 3636-04-01100.

Si evidenzia come nel presente studio le analisi idrodinamiche per la definizione delle aree potenzialmente esondabili siano state condotte a scala di intero ambito idrografico (ambito 20 – Golfo della Spezia).

Pertanto, nonostante l'approccio scrupoloso, l'elevato dettaglio spaziale della modellistica e l'attenzione posta nella corretta ricostruzione della geometria dei corsi d'acqua, particolarmente per gli elementi individuati come maggiormente critici nell'ambito dei sopralluoghi eseguiti, per l'allestimento dei modelli idraulici si è necessariamente fatto riferimento a basi topografiche estese sull'intero territorio, prevalentemente il DTM da rilievo LiDAR del MATTM per la descrizione delle aree esterne all'alveo inciso, e a documentazione pregressa (studi precedenti, disegni di progetto anche "storici") per la ricostruzione dei tratti di accesso difficoltoso o non possibile (prevalentemente tombature, ma anche alcuni tratti ubicati in aree industriali, portuali, ferroviarie, ecc.). Si rimanda all'elaborato 3636-02-00100 per la descrizione della documentazione acquisita e utilizzata per ciascun corso d'acqua.

Il DTM LiDAR in particolare è riferibile all'assetto del territorio degli anni 2007-2008; esso è stato aggiornato nella batimetria dei modelli per alcune aree direttamente interferenti o limitrofe agli alvei dei corpi idrici in esame, sulla base di disegni di progetto e/o rilievi in campo, ma nelle spesso ampie aree di propagazione delle esondazioni potrebbero sussistere delle (limitate) discrepanze tra il modello del terreno e lo stato effettivo attuale dei luoghi.

Sulla base della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 e della Carta Tecnica Comunale in scala 1:2.000 sono state inserite nel modello le sagome degli edifici o fabbricati esistenti, con alcuni aggiornamenti conseguenti ai sopralluoghi o all'esame di foto aeree recenti. Non si può escludere tuttavia la presenza di eventuali elementi sul territorio non descritti correttamente dal LiDAR (muri, locali variazioni delle quote del piano campagna) che potrebbero parzialmente influenzare le modalità di propagazione dell'esondazione, soprattutto nelle aree in cui le altezze d'acqua si riducono a valori modesti (dell'ordine della decina di cm), peraltro meno significativi dal punto di vista dell'effettiva pericolosità idraulica.

Si precisa tuttavia come la normativa vigente richieda di evitare, per quanto possibile, riperimetrazioni delle aree esondabili che dipendano esclusivamente da fattori urbanistico-edilizi, ossia da opere (quali muretti, recinzioni, manufatti edilizi, ecc.) la cui eventuale modifica non sia direttamente vincolata da espressione di parere idraulici.

Per maggior chiarezza si riporta quanto indicato a tal proposito dalla DGR 16/2007.

*"In particolare quando il moto ed il deflusso risulti condizionato da situazioni non rappresentate da opere idrauliche (quali ad esempio allagamento tramite sottopassi, aperture o discontinuità nelle opere esistenti, ovvero presenza di "muretti" o recinzioni, etc.), e pertanto legato a situazioni che possono rivelarsi contingenti, in quanto derivanti da motivi e condizioni di tipo urbanistico-edilizio, deve essere garantito che le ipotesi poste a base dello studio non abbiano a venir meno né siano influenzate e modificate da eventuali interventi antropici, in quanto questi interventi non risultano soggetti a pareri ed autorizzazioni da parte delle autorità idrauliche competenti.*

*In assenza delle garanzie suddette devono essere assunte perimetrazioni che prendano contemporaneamente in considerazione le diverse ipotesi di dinamica dell'evento di esondazione, attraverso l'involuppo dei diversi possibili scenari di pericolosità idraulica o una loro opportuna combinazione sulla base della loro probabilità di evenienza.*

*In tal senso vanno evitate, di norma, ripermetrazioni che dipendono esclusivamente da fattori urbanistico-edilizi.*

*Le fasce di inondabilità sono infatti delle zone a valenza normativa derivanti dalle aree inondabili e non possono presentare morfologie a "isola" in corrispondenza di manufatti edilizi o blocchi di manufatti o interi isolati. A meno che tale morfologia non risulti suffragata da particolari conformazioni topografiche, evidenziate dalla planimetria e dai transetti, tale morfologia non è consentita anche qualora la tipologia e conformazione degli edifici, dei blocchi o degli isolati li renda protetti da barriere impermeabili.*

*Le eventuali protezioni edilizie corrispondono, infatti, non ad una "messa in sicurezza" areale della zone, ma piuttosto ad accorgimenti tecnico-costruttivi, attivabili nelle zone a rischio, al fine di proteggere passivamente gli insediamenti dagli allagamenti e di non aumentare il rischio attuale. Proprio perché tali interventi non rappresentano opere idrauliche con obbligo di controllo e manutenzione, né sono soggetti a polizia idraulica né sono di proprietà demaniale, essi non sono soggetti ad alcuna autorizzazione di tipo idraulico in occasione di modifiche degli elementi edilizi in questione. Di conseguenza, le aree protette da strumenti di difesa passiva a scala locale non possono essere tenuti in considerazione ai fini della perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica di cui si tratta".*

Nel presente studio, visto l'elevato grado di antropizzazione delle aree esterne ai corsi d'acqua e dei corsi d'acqua stessi, per la rappresentazione delle aree allagabili si è ritenuto opportuno tenere in considerazione alcuni elementi fisici di particolare rilevanza, quali ad esempio muri di cinta continui in calcestruzzo o in pietra di rilevante altezza, talora costituenti per lunghi tratti la sponda di un corpo idrico, considerando però alla stregua di "varchi" completamente aperti eventuali cancellate o vie di accesso, per quanto chiusi da portoni o pannelli amovibili. Sono invece stati generalmente trascurati gli elementi di rilevanza secondaria (muretti, marciapiedi, recinzioni, ecc.).

In conclusione, i risultati del presente studio, esposti nel seguito del documento, costituiscono un aggiornamento e affinamento di maggior dettaglio delle valutazioni di pericolosità idraulica contenute nel vigente Piano di Bacino, e potranno fungere da base per la ridefinizione delle stesse alla scala territoriale d'ambito, a supporto delle attività di protezione civile e del Piano Urbanistico Comunale.

Per quanto sopra osservato, non si può tuttavia escludere la possibilità di ulteriori affinamenti/aggiustamenti a scala locale a seguito di studi di maggiore dettaglio, congruentemente con quanto previsto dalle Norme di Piano all'art.15, comma 7bis. Tali studi dovranno ottemperare a quanto indicato dalla DGR n.16/2007 (allegato 2); per il caso specifico si evidenzia come essi dovranno soddisfare i seguenti requisiti minimi:

- basarsi su un rilievo topografico celerimetrico (piano quotato) in grado di descrivere in dettaglio l'effettiva morfologia del territorio, che come detto potrebbe differire localmente dal DTM LiDAR adottato nel presente studio;
- adottare una schematizzazione idraulica di tipo bidimensionale per la valutazione della propagazione delle portate di esondazione sulle aree esterne all'alveo inciso;
- fare riferimento a valori di portata congruenti con l'analisi idrologica presentata nel presente studio, o svilupparne un ulteriore aggiornamento sulla base di nuovi dati.

Approfondimenti potenzialmente meritevoli di nuove analisi idrauliche per verificare l'eventuale necessità di un affinamento della perimetrazione possono essere costituiti dal rilievo, videoispezione o comunque dalla definizione su base certa della geometria di tratti di corso d'acqua risultati inaccessibili per il presente studio, e ricostruiti per le finalità di quest'ultimo sulla base del DTM LiDAR o di documentazione pregressa. L'eventuale diversa definizione del tracciato di tratti tombati potrebbe modificare anche la ripartizione di aree di bacino contribuente tra diversi rami di uno stesso corso d'acqua.

In virtù delle analisi svolte tuttavia si ritiene che gli eventuali studi di cui sopra non possano apportare modifiche macroscopiche alla caratterizzazione dell'assetto di vulnerabilità idraulica derivante dal presente studio, da ritenersi affidabile per l'impostazione della pianificazione territoriale a livello comunale.

## 2. STATO DI RISCHIO DA PIANIFICAZIONE IDRAULICA VIGENTE

Il vigente Piano di Bacino identifica sull'asta del Fosso Rossano e su quella del Fosso Cappelletto aree di pericolosità idraulica elevata (fascia A, colore rosso) e moderata (fascia B, colore giallo), come rappresentato in Figura 1 (estratto dalla cartografia di Piano: *Carta delle fasce di inondabilità, tavola 4 di 6*). La Fascia C risulta completamente sovrapposta alla B.

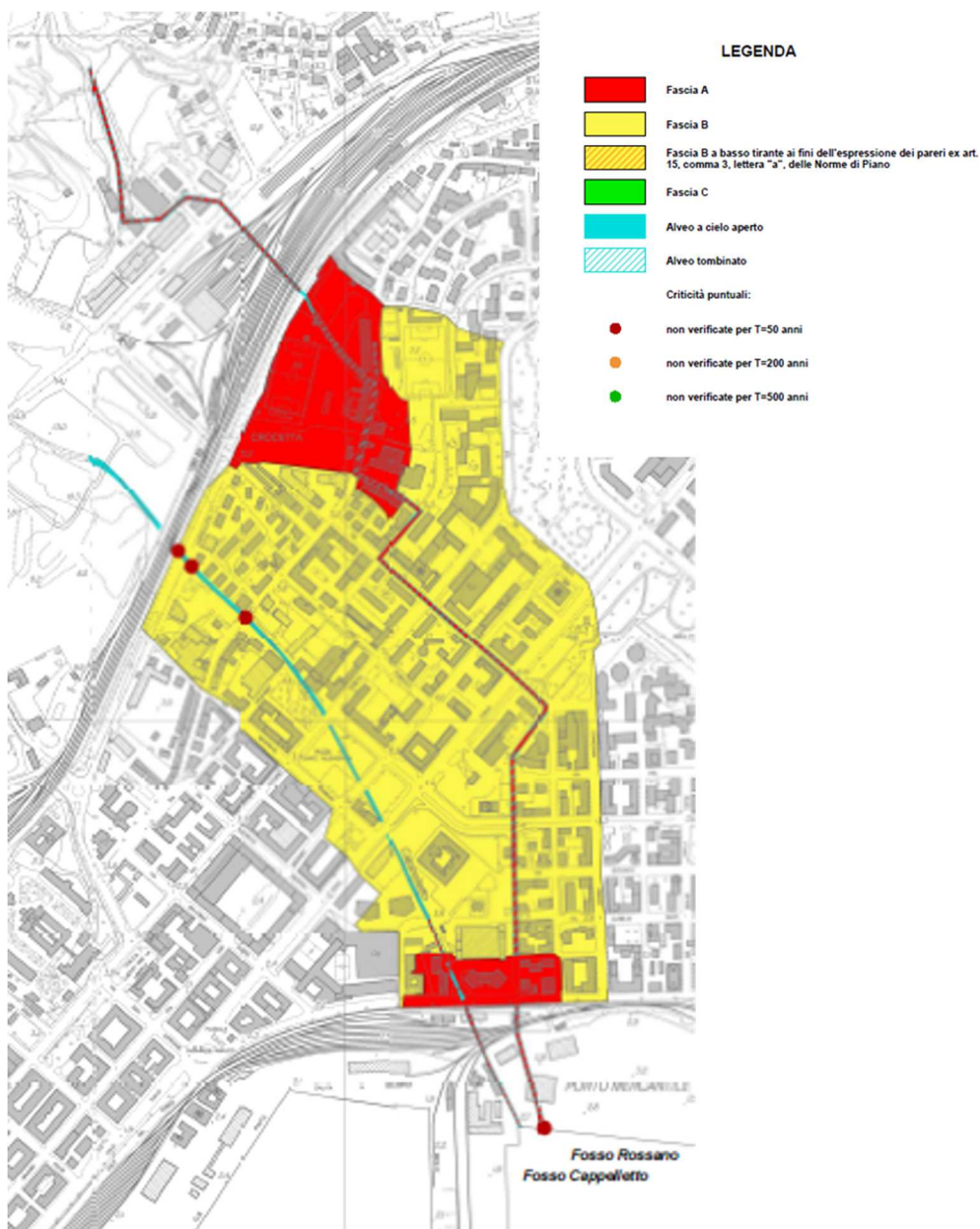


Figura 1 – Aree di pericolosità idraulica da Piano di Bacino vigente, Fosso Rossano e Fosso Cappelletto.

Le aree a pericolosità idraulica interessano un'estesa porzione del centro cittadino prossima alle aste fluviali, compresa tra la linea ferroviaria e viale San Bartolomeo. La fascia A interessa in particolare le aree adiacenti al Fosso Rossano tra la ferrovia e via Lunigiana, con parziale estensione lungo via Ferrara a Sud del campo sportivo, e l'area tra via Pascoli e viale San Bartolomeo e tra via Saffi e via Gianturco. In fascia A è anche rappresentato l'intero alveo tombato del Fosso Rossano.

Alcuni attraversamenti sul Fosso Cappelletto sono stati oggetto di verifiche di adeguatezza idraulica nell'ambito del PdB (con analisi in moto uniforme delle condizioni di deflusso nella sezione); essi sono rappresentati in colore rosso in quanto risultati non adeguati al deflusso della piena cinquantennale.

### **3. ALLESTIMENTO DEI MODELLI NUMERICI**

Le analisi idrauliche per la caratterizzazione dell'idrodinamica di piena dei corsi d'acqua in esame (Rossano, Cappelletto) sono state condotte mediante la messa a punto e applicazione di modelli numerici idrodinamici bidimensionali in moto vario, dinamicamente accoppiati a modelli monodimensionali descrittivi del deflusso all'interno dell'alveo inciso.

Per descrivere la morfologia del terreno nelle aree di esondazione e propagazione dell'onda di piena è stato utilizzato il modello digitale del terreno (DTM) da volo LiDAR acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Al fine della caratterizzazione geometrica dell'alveo inciso e delle opere di attraversamento presenti sono state integrate le informazioni geometriche derivanti dal DTM citato, dai rilievi in campo eseguiti per il presente studio, dalle indicazioni geometriche riportate nel PdB per gli attraversamenti oggetto di verifica puntuale e dalla documentazione relativa a studi o progetti pregressi che è stato possibile acquisire, come meglio descritto nell'elaborato 3636-02-00100.

In particolare il tratto terminale dei due corsi d'acqua è stato rappresentato considerando come già realizzato, in ragione delle finalità di supporto alla pianificazione del presente studio, l'intervento di sistemazione in area portuale (rif. Autorità Portuale della Spezia, progetto esecutivo 2018), i cui lavori risultano in procinto di essere avviati. Tale intervento comporta la realizzazione di uno sbocco comune a mare (non solo affiancato come allo stato attuale) e l'adeguamento della sezione idraulica a partire da viale San Bartolomeo.

Per quanto riguarda il Fosso Rossano, il tratto a monte della linea ferroviaria è stato rappresentato con riferimento alle geometrie dei progetti di sistemazione dell'area dell'ex raffineria IP (2005), verificate mediante i sopralluoghi e con rilievo di alcune sezioni. Lo studio promosso da ATC (2015) ha permesso di ricostruire – grazie ai dati derivanti da videoispezioni – le geometrie del tratto di Fosso Andreino e Rio Monte Pertico a monte della confluenza, oltre che del tratto tombato del Fosso Rossano a valle della ferrovia. I tratti rappresentati degli affluenti (Andreino, Monte Pertico) a monte della ferrovia derivano da rilievi diretti in campo, limitatamente a quanto accessibile.

Relativamente al rio Cappelletto per il tratto a monte della ferrovia è stato fatto riferimento alle geometrie definite dal progetto esecutivo (2011) delle sistemazioni fluviali realizzate, integrato e modificato però sulla base dei sopralluoghi e delle informazioni di rilievo, che hanno mostrato discrepanze rispetto a quanto previsto in progetto. Si segnala in particolare il non completamento delle previste opere di laminazione a monte di via Pertini, che non risultano allo stato attuale funzionali, e non sono pertanto state considerate nelle analisi svolte

(in input al modello sono stati considerati gli idrogrammi di piena idrologici relativi al bacino sotteso, non modificati – v. relazione 3636-03-00100). Per il tratto di Fosso a valle della ferrovia, a cielo aperto, le informazioni geometriche derivano da un'integrazione delle analisi idrauliche pregresse, delle geometrie contenute nel PdB (per gli attraversamenti) e dei rilievi eseguiti.

Per maggiori dettagli in merito all'assetto attuale dei corsi d'acqua e alle informazioni disponibili si rimanda allo specifico elaborato 3636-02-00100.

### **3.1 Approccio metodologico modellistico**

A partire dalle informazioni topografiche precedentemente citate è stato allestito un modello numerico idraulico utilizzato per l'analisi di stato attuale delle dinamiche di propagazione della piena nell'area oggetto di studio.

In particolare è stato utilizzato il codice di calcolo MIKE Flood del DHI, che combina l'approccio monodimensionale e quello bidimensionale, eseguendo simulazioni condotte per diversi tempi di ritorno (50, 200 e 500 anni), con riferimento agli idrogrammi di piena di progetto definiti nell'ambito dell'analisi idrologica (v. elaborato 3636-03-00100).

MIKE Flood è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE11 e quello bidimensionale MIKE21 (per una descrizione sintetica dei codici si vedano rispettivamente ALLEGATO 1 e ALLEGATO 2). Esso consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE11 e di MIKE21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: MIKE11 per la simulazione monodimensionale di tratti di alveo incisi e per il deflusso idrodinamico attraverso ponti, tombini, salti di fondo, ecc; MIKE21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso coperte dal DTM (modello digitale del terreno).

MIKE Flood è caratterizzato dal fatto che MIKE11 e MIKE21 rimangono singoli codici indipendenti l'un l'altro nella messa a punto e nell'input-output, mentre una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci per gli interscambi di portata e di quantità di moto e per la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

Il modello MIKE Flood è stato messo a punto nel modo seguente:

- modello MIKE21 bidimensionale per la rappresentazione delle aree allagabili esterne alle aree fluviali;
- modello MIKE11 monodimensionale dell'alveo inciso dei corsi d'acqua;
- connessione dinamica dei modelli MIKE21 e MIKE11.

Le restituzioni dei risultati ottenuti con i diversi modelli allestiti, presentate nei capitoli che seguono, sono esposte:

- per le parti di modello monodimensionale sotto forma di profili longitudinali di livello e tabelle contenenti i principali parametri idraulici sezione per sezione, riferiti al valore massimo registrato nel corso dell'evento simulato;
- per le parti di modello bidimensionale (aree allagate), sotto forma di mappe dei tiranti idrici e velocità di scorrimento massime rilevate in ciascuna cella nel corso dell'evento simulato.

In allegato si fornisce rappresentazione di tutte le sezioni implementate nel modello monodimensionale, con indicazione del massimo livello di piena risultante per l'evento di piena associato a TR=200 anni.

## 3.2 Schema del modello

### 3.2.1 Modello MIKE11

Il modello monodimensionale schematizzato nel codice MIKE11 HD (modulo idrodinamico) è costituito da 147 sezioni trasversali, che rappresentano la geometria degli alvei incisi del Fosso Cappelletto e del Fosso Rossano con i suoi due affluenti, Fosso Andreino e Rio Monte Pertico. Per aumentare il dettaglio della rappresentazione idrodinamica, le sezioni sono state infittite tramite interpolazione.

Il modello è esteso più a monte dell'area di diretto interesse per evitare che le modalità di assegnazione delle condizioni al contorno possano influenzare i risultati ottenuti.

Le sezioni trasversali che rappresentano i tratti di corsi d'acqua studiati sono distribuite in 4 rami (corsi d'acqua).

- Il ramo del Fosso Cappelletto ha inizio in corrispondenza dell'attraversamento di via Pertini, a monte del centro commerciale Le Terrazze. Ha una estensione di circa 1308 m e si estende a valle fino a confluire all'interno del tratto terminale tombato del Fosso Rossano (SEZ\_44), secondo le geometrie di progetto della prevista sistemazione con sbocco unico dei due corsi d'acqua. La geometria è descritta da 38 sezioni.
- Il ramo del Fosso Rossano inizia nell'area dell'ex raffineria IP, circa 130 m a monte della rotonda sommitale di via Taviani, per poi estendersi fino allo sbocco nel golfo di La Spezia (SEZ\_86). Ha una lunghezza di 2148 m e la geometria è descritta da 86 sezioni.
- Il ramo del Fosso Andreino descrive l'intero tratto tombato, esteso dal limitare Nord dell'area urbanizzata a monte della ferrovia fino alla confluenza con il rio Monte Pertico (SEZA12). La geometria è descritta da 12 sezioni per uno sviluppo di circa 716 m.
- Il ramo del rio Monte Pertico inserito nel modello ha inizio presso il breve tratto a cielo aperto in prossimità del sottopasso viabile della ferrovia che unisce via Fontevivo a Corso Nazionale; il rio confluisce nel Fosso Rossano dopo aver ricevuto le acque del Fosso Andreino. La geometria è descritta da 11 sezioni per un'estensione di circa 695 m.

Nella Figura 2, Figura 3 e Figura 4 e Tabella 1 si riporta l'estensione del modello (traccia dell'asse e delle sezioni utilizzate) su base foto aerea recente (2018, Google), in coordinate UTM 32 WGS84, e l'anagrafica delle sezioni trasversali per il Fosso Rossano con i suoi due affluenti, Fosso Andreino e Rio Monte Pertico. Le medesime informazioni si trovano nella Figura 5, Figura 6 e Tabella 2 per il Fosso Cappelletto.

Le sezioni trasversali inserite nel modello sono frutto del confronto e dell'integrazione delle geometrie rilevate durante i sopralluoghi, dalla base dati fornita dal DTM LiDAR e dagli elaborati dei progetti pregressi precedentemente citati, al fine di rappresentare accuratamente lo stato attuale dell'alveo e delle aree circostanti.

In corrispondenza di attraversamenti e tombature sono state inserite nel modello specifiche strutture di tipo "culvert" e "weir", che riproducono le reali condizioni di deflusso di tali manufatti in condizioni di moto a pelo libero, in pressione e di eventuale sormonto dell'impalcato, calcolando opportunamente le perdite di carico che



si manifestano. Per i salti di fondo (soglie e briglie) si sono inserite analogamente strutture di tipo “weir”. Per la localizzazione e descrizione delle caratteristiche dei manufatti riprodotti nel modello numerico si rimanda alla relazione descrittiva d’insieme (cfr. elaborato 3636-02-00100).

Per i manufatti di attraversamento o l’imbocco delle tombature nelle tabelle che seguono è fornita la quota di intradosso, riferimento per la valutazione dei franchi idraulici.

Per esigenze di stabilità numerica del modello, a valle della confluenza con il Fosso Cappelletto la sezione del Fosso Rossano è descritta con una larghezza pari a 8 m, anziché a 12,40 m come previsto dal progetto. Tale assunzione risulta irrilevante ai fini dei risultati ottenuti, come si mostrerà nel capitolo 5, in quanto il tratto è completamente rigurgitato dal livello di mare, con valore di carico cinetico assai modesto.

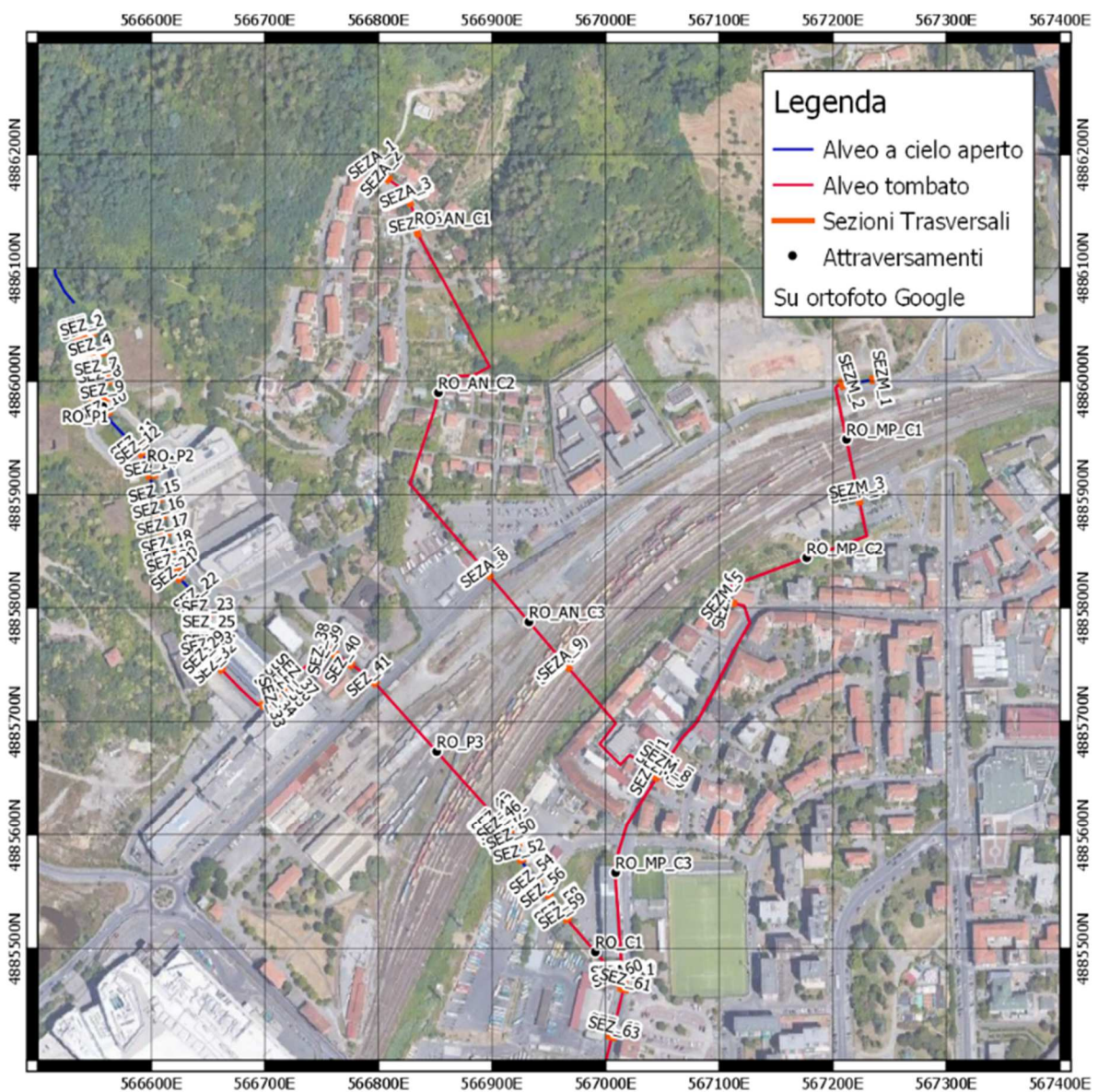


Figura 2 – Network del modello MIKE11 allestito per il tratto di monte del Fosso Rossano con i suoi due affluenti, Fosso Andreino e Rio Monte Pertico.





Figura 3 – Network del modello MIKE11 allestito per il tratto centrale del Fosso Rossano.

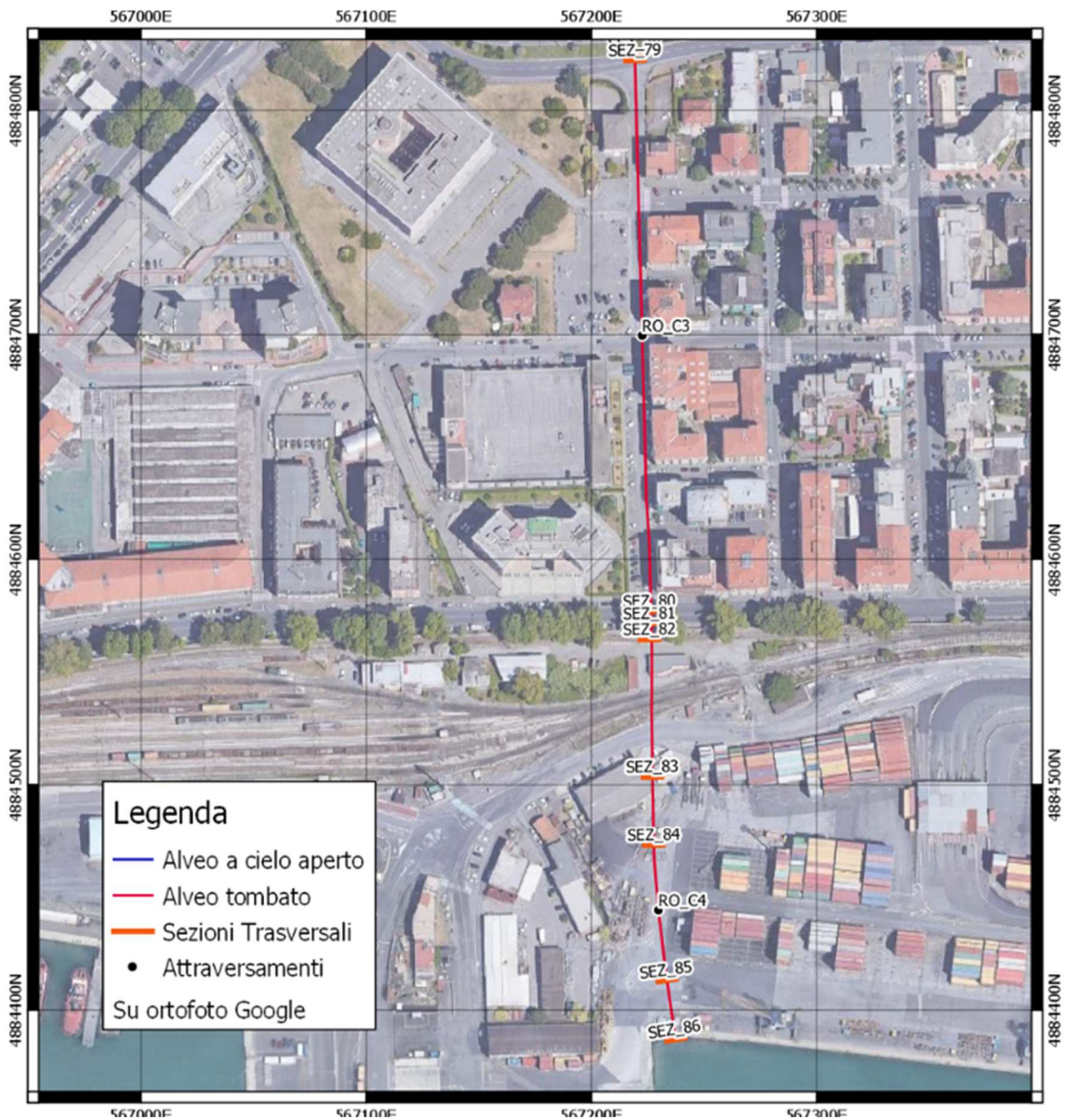


Figura 4 – Network del modello MIKE11 allestito per il tratto di valle del Fosso Rossano.

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva [m]	Fondo alveo [m s.m.]	Intradosso [m s.m.]
Rossano		SEZ_1	68,65	29,02	
Rossano	Monte briglia	SEZ_2	71,3	28,44	
Rossano	Valle briglia	SEZ_3	73,3	26,94	
Rossano	Monte briglia	SEZ_4	89,9	26,36	
Rossano	Valle briglia	SEZ_5	91,9	24,86	
Rossano	Monte briglia	SEZ_6	107,6	24,32	
Rossano	Valle briglia	SEZ_7	109,9	22,82	
Rossano		SEZ_8	116,9	22,56	
Rossano	Imbocco RO_P1	SEZ_9	131	22,26	24,26



Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva [m]	Fondo alveo [m s.m.]	Intradosso [m s.m.]
Rossano	Sbocco RO_P1	SEZ_10	142,3	22,14	
Rossano		SEZ_11	186,7	21,67	
Rossano	Imbocco RO_P2	SEZ_12	192,8	21,19	23,59
Rossano	Sbocco RO_P2	SEZ_13	214,3	20,08	
Rossano		SEZ_14	220,8	19,35	
Rossano		SEZ_15	236,4	18,77	
Rossano		SEZ_16	251,5	17,87	
Rossano		SEZ_17	267	16,97	
Rossano		SEZ_18	283	16,08	
Rossano		SEZ_19	294	15,44	
Rossano		SEZ_20	299,8	15,09	
Rossano		SEZ_21	309,9	14,76	
Rossano	Inizio copertura con griglia	SEZ_22	337,2	13,90	
Rossano		SEZ_23	352,7	13,44	
Rossano		SEZ_24	364,9	13,03	
Rossano		SEZ_25	366,9	12,43	
Rossano		SEZ_26	368,8	12,37	
Rossano	Fine copertura con griglia	SEZ_27	384,1	12,05	
Rossano		SEZ_28	386,1	12,01	
Rossano		SEZ_29	391,6	11,82	
Rossano	Inizio copertura con griglia	SEZ_30	393,6	11,75	
Rossano	Fine copertura con griglia	SEZ_31	399,6	11,75	
Rossano	Imbocco RO_C0	SEZ_32	404,8	11,55	14,45
Rossano		SEZ_33	453,4	11,20	
Rossano		SEZ_34	459,4	10,70	
Rossano		SEZ_35	472,3	10,59	
Rossano		SEZ_36	480	10,51	
Rossano		SEZ_37	486	9,86	
Rossano		SEZ_38	531,8	9,32	
Rossano		SEZ_39	537,8	8,82	
Rossano	Sbocco RO_C0	SEZ_40	555,4	8,68	
Rossano	Imbocco RO_P3	SEZ_41	582,5	8,55	11,2
Rossano	Sbocco RO_P3	SEZ_42	745	7,00	
Rossano		SEZ_43	748,1	6,95	
Rossano		SEZ_44	752,5	6,9	
Rossano		SEZ_45	754,5	6,83	
Rossano		SEZ_46	755,5	6,81	
Rossano		SEZ_47	761,1	6,72	
Rossano		SEZ_48	771,3	6,58	
Rossano		SEZ_49	772,3	6,58	
Rossano		SEZ_50	774,1	6,57	
Rossano		SEZ_51	787,5	6,59	
Rossano		SEZ_52	788	6,59	
Rossano		SEZ_53	810,8	6,45	
Rossano		SEZ_54	811,7	6,45	
Rossano		SEZ_55	826	6,44	
Rossano		SEZ_56	827	6,44	
Rossano		SEZ_57	846	6,43	
Rossano	Monte salto di fondo	SEZ_58	847,5	6,43	
Rossano	Imbocco RO_C1	SEZ_59	855,5	5,07	7,57
Rossano	Sbocco RO_C1	SEZ_60	926,35	3,1	
Rossano	Imbocco RO_C2	SEZ_61	932,8	3,1	5,1

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva [m]	Fondo alveo [m s.m.]	Intradosso [m s.m.]
Rossano		SEZ_62	972,8	2,84	
Rossano		SEZ_63	975,8	2,82	
Rossano		SEZ_64	1009,6	2,62	
Rossano		SEZ_65	1012,6	2,6	
Rossano		SEZ_66	1046,7	2,4	
Rossano		SEZ_67	1049,7	2,4	
Rossano		SEZ_68	1157,8	2,2	
Rossano		SEZ_69	1160,8	2,2	
Rossano		SEZ_70	1235,9	2,05	
Rossano		SEZ_71	1238,9	2,05	
Rossano		SEZ_72	1334	1,86	
Rossano		SEZ_73	1337	1,86	
Rossano		SEZ_74	1445	1,66	
Rossano		SEZ_75	1448	1,66	
Rossano		SEZ_76	1578	1,4	
Rossano		SEZ_77	1581	1,4	
Rossano	Sbocco RO_C2	SEZ_78	1778	1	
Rossano	Imbocco RO_C3	SEZ_79	1781,1	1	2,5
Rossano	Sbocco RO_C3 - Monte salto di fondo	SEZ_80	2026	0,07	
Rossano	Imbocco RO_C4 - Valle salto di fondo	SEZ_81	2031,5	-1,5	1,50
Rossano		SEZ_82	2038,5	-1,5	
Rossano		SEZ_83	2099,3	-2,57	
Rossano		SEZ_84	2129,9	-2,98	
Rossano		SEZ_85	2189,9	-4,03	
Rossano	Sbocco RO_C4	SEZ_86	2216,4	-4,5	
Andreino		SEZA_1	0	24,6	
Andreino	Imbocco RO_AN_C1	SEZA_2	14,22	24,5	25,30
Andreino		SEZA_3	42,08	20,8	
Andreino		SEZA_4	44,08	20,8	
Andreino	Sbocco RO_AN_C1	SEZA_5	70,11	19	
Andreino	Imbocco RO_AN_C2	SEZA_6	72,11	19	19,00
Andreino	Sbocco RO_AN_C2	SEZA_7	453,67	7,5	
Andreino	Imbocco RO_AN_C3	SEZA_8	455,67	7,5	7,50
Andreino		SEZA_9	560	3,79	
Andreino		SEZA_10	562	3,79	
Andreino		SEZA_11	715	3,49	
Andreino	Sbocco RO_AN_C3	SEZA_12	716,3	3,49	
Monte Pertico		SEZM_1	0	8,7	
Monte Pertico	Imbocco RO_MP_C1	SEZM_2	33,64	8	10,75
Monte Pertico	Sbocco RO_MP_C1	SEZM_3	139,02	6,45	
Monte Pertico	Imbocco RO_MP_C2	SEZM_4	143,02	6,45	7,95
Monte Pertico		SEZM_5	316,41	3,86	
Monte Pertico		SEZM_6	320,41	3,85	
Monte Pertico	Sbocco RO_MP_C2	SEZM_7	495,21	3,5	
Monte Pertico		SEZM_8	498,6	3,5	
Monte Pertico	Imbocco RO_MP_C3	SEZM_9	505,24	3,48	4,98
Monte Pertico		SEZM_10	690	3,1	
Monte Pertico	Sbocco RO_MP_C3	SEZM_11	694,63	3,1	

**Tabella 1 – Anagrafica delle sezioni inserite nel modello numerico del Fosso Rossano con i suoi due affluenti, Fosso Andreino e Rio Monte Pertico.**

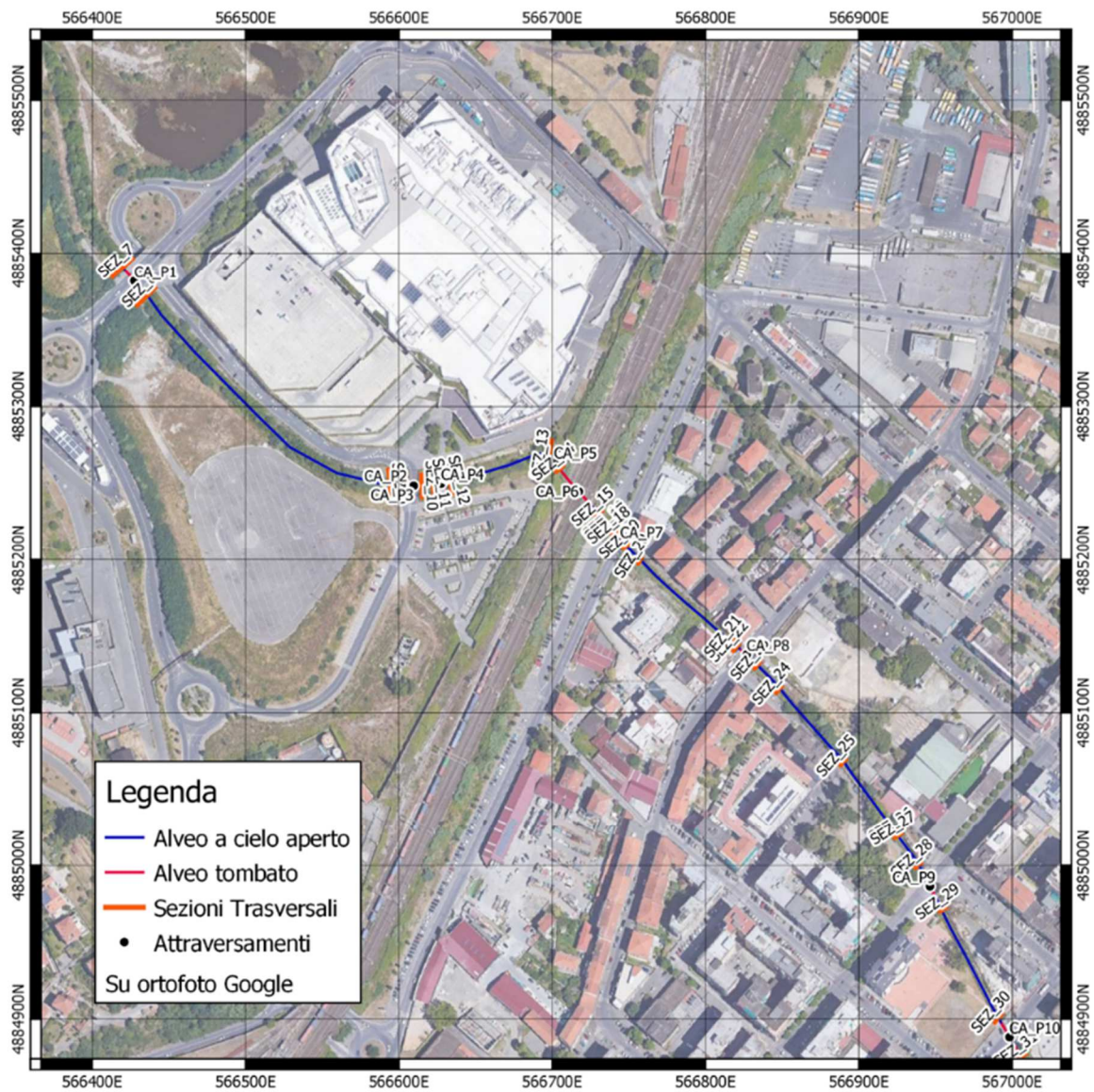


Figura 5 – Network del modello MIKE11 allestito per il Fosso Cappelletto, tratto di monte.





Figura 6 – Network del modello MIKE11 allestito per il Fosso Cappelletto, tratto di valle.



Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva [m]	Fondo alveo [m s.m.]	Intradosso [m s.m.]
Cappelletto	Imbocco CA_P1	SEZ_7	-20,99	10,88	13,98
Cappelletto	Sbocco CA_P1	SEZ_8	8,21	10,62	
Cappelletto	Imbocco CA_P2	SEZ_9	204,21	8,86	11,56
Cappelletto	Sbocco CA_P3	SEZ_10	221,21	8,73	
Cappelletto	Imbocco CA_P4	SEZ_11	236,31	8,52	11,22
Cappelletto	Sbocco CA_P4	SEZ_12	242,31	8,46	
Cappelletto	Imbocco CA_P5	SEZ_13	316,9	7,85	10,25
Cappelletto	Sbocco CA_P5	SEZ_14	327,9	7,8	
Cappelletto	Sbocco CA_P6	SEZ_15	366,8	7,55	
Cappelletto	Monte salto di fondo	SEZ_16	378,2	7,55	
Cappelletto	Valle salto di fondo	SEZ_17	380,2	6,55	
Cappelletto	Imbocco CA_P7	SEZ_18	382,8	6,55	8,95
Cappelletto	Sbocco CA_P7	SEZ_19	394,3	6,55	
Cappelletto	Imbocco CA_P8	SEZ_20	407,6	6,55	8,25
Cappelletto	Sbocco CA_P8	SEZ_21	487,1	6,26	
Cappelletto		SEZ_22	492,1	5,8	
Cappelletto		SEZ_23	510,2	5,8	
Cappelletto		SEZ_24	531,3	5,46	
Cappelletto		SEZ_25	594,6	4,33	
Cappelletto		SEZ_26	652,5	3,49	
Cappelletto		SEZ_27	655	3,48	
Cappelletto	Imbocco CA_P9	SEZ_28	678,4	3,2	4,60
Cappelletto	Sbocco CA_P9	SEZ_29	712,5	3,2	
Cappelletto	Imbocco CA_P10	SEZ_30	790,6	2,15	3,90
Cappelletto	Sbocco CA_P10	SEZ_31	820,1	2,15	
Cappelletto		SEZ_32	859,8	1,6	
Cappelletto	Imbocco CA_P11	SEZ_33	862,8	1,6	3,18
Cappelletto	Sbocco CA_P11	SEZ_34	893,7	1,25	
Cappelletto		SEZ_35	897,3	1,25	
Cappelletto		SEZ_36	900,3	1,25	
Cappelletto		SEZ_37	906,9	1,25	
Cappelletto		SEZ_38	916,3	1,25	
Cappelletto	Imbocco CA_C1	SEZ_39	1015,9	0,5	2,50
Cappelletto	Sbocco CA_C1	SEZ_40	1110,2	0,33	
Cappelletto	Imbocco CA_C2	SEZ_41	1145,2	-0,5	1,50
Cappelletto	Sbocco CA_C2	SEZ_42	1166,6	-0,89	
Cappelletto	Imbocco CA_C3	SEZ_43	1226,5	-1,93	1,50
Cappelletto	Sbocco CA_C3	SEZ_44	1287,26	-2,98	1,50

**Tabella 2 – Anagrafica delle sezioni inserite nel modello numerico del Fosso Cappelletto (escludendo quelle interpolate).**

### 3.2.2 Modello MIKE21

Come già anticipato, per l'analisi della propagazione della piena dei corsi d'acqua esaminati è stato allestito un modello MIKE Flood che accoppia dinamicamente il modello monodimensionale MIKE11 (descritto nel paragrafo precedente) utilizzato per rappresentare la geometria dell'alveo con il modello bidimensionale MIKE21 rappresentante le aree esterne di esondazione.

Nel modello bidimensionale alle differenze finite MIKE21 la descrizione geometrica del terreno è rappresentata definendo la quota media del terreno in ogni cella di calcolo. Tale valore è usualmente calcolato mediante tecniche di interpolazione stabilendo una dimensione di cella a partire dalle basi topografiche disponibili. Nel caso in esame si è utilizzata come base topografica di partenza il modello digitale del terreno da volo LiDAR acquisito dal MATTM, ad una risoluzione spaziale di circa 1,0 x 1,0 m.

La definizione della dimensione del passo spaziale della griglia rettangolare, da utilizzare per la messa a punto del modello, è un passaggio fondamentale nella sua realizzazione ed influenza direttamente i tempi di calcolo e l'accuratezza spaziale della soluzione. Aumentando le dimensioni del passo della griglia diminuiscono i tempi di calcolo, ma diminuisce anche l'accuratezza dei risultati. La scelta deve quindi essere un compromesso tra le due esigenze.

Nel caso in esame la scelta è condizionata dalla necessità di rappresentare con sufficiente dettaglio la geometria delle aree allagabili, delle strade, delle strutture interferenti e delle possibili vie di deflusso conseguenti a fenomeni di esondazione. Si è deciso pertanto di adottare una griglia di calcolo molto fitta, a maglia 1,0 x 1,0 m, composta da 2634 righe e 1459 colonne (3.843.006 punti di calcolo). Non è stata pertanto necessaria nessuna ulteriore elaborazione dei dati topografici, approntando il modello con la stessa risoluzione spaziale del DTM LiDAR.

Nella Figura 7 è riportata la batimetria complessiva del modello dove è stata inserita la geometria dei fabbricati presenti all'esterno all'alveo modificando la quota delle celle della batimetria che ricadono all'interno della loro impronta (per le finalità della modellazione la quota edifici è stata imposta a +3 m rispetto alla quota del terreno sottostante).

Per poter fornire una rappresentazione il più possibile aderente all'effettivo assetto di stato attuale dei luoghi, l'analisi dei fabbricati presenti è stata condotta sulla base della foto aerea più recente disponibile (Google, 2018).

Nella geometria di input del modello sono state inoltre rese inattive le celle ricadenti all'interno dei rami di alveo inciso appartenenti al dominio del modello monodimensionale MIKE11 (il contributo di tali celle al deflusso della piena infatti viene già descritto da quest'ultimo modello).

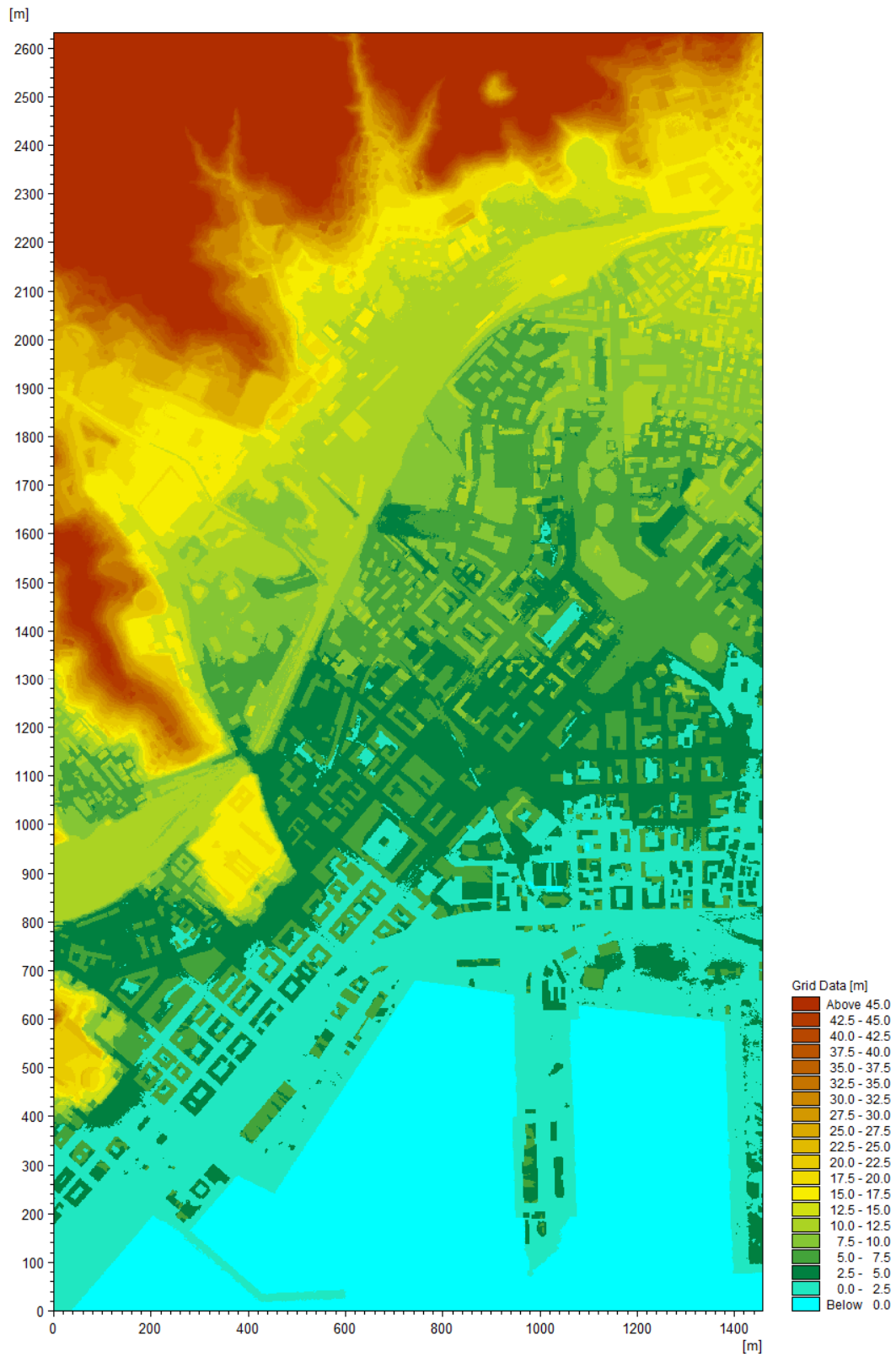


Figura 7 – Batimetria del modello 2D del Fosso Rossano, Fosso Andreino, Rio Monte Pertico e Fosso Cappelletto a maglia 1,0 x 1,0 m (dominio di calcolo complessivo).

#### 4. CONDIZIONI AL CONTORNO

I modelli di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, necessitano della definizione delle condizioni al contorno idrodinamiche e di una serie di parametri quali: passo temporale di integrazione del sistema, coefficiente di resistenza distribuita (scabrezza) e coefficiente di viscosità turbolenta ("eddy viscosity").

La scabrezza rappresenta, all'interno delle equazioni di moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo quelle per attrito sul fondo di scorrimento e sulle sponde dei canali di deflusso. In particolare, la scabrezza applicata ai modelli è stata differenziata tra alveo inciso (e quindi modellazione monodimensionale) e aree golenali (modellazione bidimensionale).

I sopralluoghi effettuati ripercorrendo l'asta dei corsi d'acqua e la documentazione fotografica a disposizione hanno fornito gli elementi necessari per la definizione dei valori di scabrezza da associare al tratto oggetto di studio. Tali valori sono stati definiti considerando in primis le Norme di Attuazione (NTA) del vigente Piano di Bacino (Tabella 4), e successivamente i valori di riferimento indicati in letteratura tecnica (Tabella 3).

Natura della superficie	Scabrezza omogenea equivalente $\epsilon$ (mm) [mm]	Bazin $\gamma$ [m <sup>1/2</sup> ]	Kutter $m$ [m <sup>1/2</sup> ]	Manning $n$ [m <sup>-1/3</sup> *s]	Gauckler Strickler $K_s$ [m <sup>1/3</sup> *s <sup>-1</sup> ]
Pareti di cemento perfettamente lisciate. Pareti di legno piallato. Pareti metalliche, senza risalti nei giunti	0,15 ÷ 0,2	0,06	0,12	0,011	100 ÷ 90
Idem, ma con curve	0,2 ÷ 0,4	0,1	0,18	0,012	90 ÷ 85
Pareti di cemento non perfettamente lisciate. Muratura di mattoni molto regolare. Pareti metalliche con chiodatura ordinaria	0,4 ÷ 1,0	0,16	0,20 ÷ 0,25	0,013	85 ÷ 75
Pareti di cemento in non perfette condizioni. Muratura ordinaria più o meno accurata. Pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure.	2 ÷ 5	0,23 ÷ 0,36	0,35 ÷ 0,55	0,014 ÷ 0,015	70 ÷ 65
Pareti di cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo. Muratura irregolare (o di pietrame). Terra regolarissima senza vegetazione.	8	0,46	0,55 ÷ 0,75	0,018	60
Terra abbastanza regolare. Muratura vecchia, in condizione non buone, con depositi di limo al fondo.	15 ÷ 30	0,60 ÷ 0,85	0,75 ÷ 1,25	0,020 ÷ 0,022	50
Terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari.	70	1,30	1,50	0,025	40
Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturale con ciottoli e ghiaia.	120 ÷ 200	1,75	2,00	0,030	35
Canali in abbandono con grande vegetazione. Corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiale sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze.	300 ÷ 400	2,0 ÷ 2,3	3,00	0,035	30

Tabella 3 – Valori tipici di riferimento da letteratura tecnica dei coefficienti di scabrezza per l'alveo inciso.

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza di Gauckler Strickler $K_s$ [ $m^{1/3}s^{-1}$ ]
Tratti di corso d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25 ÷ 30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30 ÷ 35
Tratti urbanizzati di corso d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35 ÷ 40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40 ÷ 45

**Tabella 4 – Coefficienti di scabrezza per l'alveo inciso indicati nelle NTA del vigente Piano di Bacino.**

In accordo con i valori prescritti dalle NTA (allegato 3) si è adottato per i modelli monodimensionali un valore del coefficiente di scabrezza  $K_s$  di Gauckler-Strickler pari a 30  $m^{1/3}/s$  lungo i tratti di alveo naturale e di 45  $m^{1/3}/s$  lungo i tratti rivestiti, coperti (manufatti di attraversamento viario e ferroviario e tombature) o a cielo aperto.

Per quanto riguarda l'area esterna all'alveo, modellata con schema bidimensionale, si è provveduto alla differenziazione su due classi di scabrezza in modo da tenere in considerazione la presenza dei principali elementi che possono influenzare la propagazione della piena: linee di deflusso principali (strade), aree urbane pavimentate e aree vegetate. In particolare alle aree vegetate è stato applicato un coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler di 30  $m^{1/3}/s$ , mentre a quelle pavimentate un coefficiente di 50  $m^{1/3}/s$ .

Si precisa a tal proposito come in un modello bidimensionale i coefficienti di scabrezza da considerare risultino normalmente maggiori di circa un 20÷30% di quelli comunemente impiegati nei modelli monodimensionali, per tenere conto del fatto che in un modello 2D sono già in tutto, o almeno in gran parte, direttamente considerati nelle equazioni del moto gli effetti di resistenza secondari indotti dalle condizioni di moto non-monodimensionali (moti trasversali e vorticosi, sinuosità dell'alveo), che nel modello 1D sono invece da includere forfettariamente nel coefficiente di scabrezza.

Come passo temporale di integrazione è stato necessario utilizzare, per ragioni di stabilità numerica legate al numero di Courant della corrente, un valore pari a 0,1 secondi per le simulazioni di entrambi i corsi d'acqua.

La viscosità turbolenta è legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità e viene simulata nel modello tramite il coefficiente di eddy viscosity. Nei casi in esame al coefficiente è stato assegnato un valore costante pari a 0,5  $m^2/s$  sull'intera estensione del modello; tale parametro risulta comunque di minore rilevanza in quanto simulando deflussi di esondazione con scorrimento superficiale gli aspetti legati alla formazione di vortici sono senza dubbio trascurabili rispetto ai prevalenti termini di resistenza idraulica al moto per attrito sul fondo e presenza di ostacoli.

Le condizioni al contorno imposte sono costituite da input di portata a monte e internamente al modello, e da una condizione di valle rappresentata dal livello di mare.

L'analisi idraulica è stata svolta considerando due differenti schemi:

1. Condizione A: scenari idrologici "reali" (dinamiche di esondazione effettive) caratterizzati da tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni, i cui idrogrammi di piena sono stati assegnati in modo concentrato o distribuito nelle sezioni di chiusura dei sottobacini contribuenti significativi, in relazione all'estensione dei tratti di corso d'acqua simulati (v. elaborato 3636-03-00100 - *analisi idrologica*);

2. Condizione B: scenari idrologici “teorici” caratterizzati da tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni in assenza degli effetti di laminazione dovuti agli allagamenti occorsi più a monte; nello specifico gli idrogrammi di piena caratteristici delle sezioni di chiusura del bacino del Fosso Rossano e del Fosso Cappelletto sono stati assegnati in modo concentrato rispettivamente nella sezione SEZ\_61 del Fosso Rossano (sezione a valle della confluenza del Fosso Andreino e del Rio Monte Pertico) e la sezione SEZ\_24 del Fosso Cappelletto.

La condizione idrodinamica di valle dei modelli è costituita dal livello idrico massimo di mare riferibile a un evento di mareggiata con determinato tempo di ritorno (generalmente inferiore a quello di verifica idraulica del corso d’acqua, trattandosi di eventi non correlati, così da non sovrapporre eventi a bassa probabilità di accadimento).

L’effetto di sovrizzo del livello di medio mare all’occorrere di un evento meteomarinico intenso è generalmente dato dalla somma dei seguenti fenomeni:

- la marea astronomica;
- la variazione del livello di medio mare dovuto alle condizioni di tempesta (storm surge), eventualmente suddivisibile tra la componente attribuibile al vento (wind set-up) e quella relativa alle variazioni di pressione atmosferica (barometro inverso);
- il sovrizzo dovuto al frangimento (wave set-up).

I corsi d’acqua considerati nel presente studio presentano tutti sbocco a mare all’interno del Golfo di La Spezia, protetto all’imbocco da una diga foranea e con morfologia tale da modificare localmente (attutendolo) l’effetto di sovrizzo.

Nella quasi totalità degli studi pregressi acquisiti per le finalità del presente studio, e particolarmente in quelli predisposti per l’Autorità Portuale, è definito un medesimo valore di riferimento per il livello idrico massimo da assumere all’interno del Golfo, che risulta pari a **0,50 m s.m.** Tale valore (assunto costante per tutti i tempi di ritorno indagati) è stato anche adottato, per coerenza, nell’ambito del presente studio.

#### **4.1 Scenari condizione A (esondazione effettiva)**

In questi scenari, simulati con il modello accoppiato 1D+2D e maggiormente gravosi per i rami di monte, sono stati assegnati in input lungo le aste fluviali rappresentate gli idrogrammi per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generati dai sottobacini elementari definiti dall’analisi idrologica. Nelle simulazioni idrodinamiche eseguite i valori al colmo, la forma ed il volume di tali idrogrammi si modificano lungo la loro propagazione lungo le aste, principalmente in ragione dei fenomeni di esondazione verso le aree esterne all’alveo.

Per le finalità della rappresentazione modellistica è necessario far incrementare le portate inserite in testa ai rami principali (Rossano, Cappelletto) in modo da ottenere all’estremità di valle un idrogramma teorico congruente con quello definito per tali sezioni idrologiche (considerando i tempi di traslazione dell’onda e al netto di eventuali volumi fuoriusciti per esondazione laterale). Sono stati pertanto definiti degli idrogrammi caratterizzanti il bacino residuo che sommati a quelli di input a monte potessero restituire quello calcolato per le sezioni di valle, non considerando gli effetti di modificazione della forma d’onda di cui sopra, ma ipotizzando una traslazione rigida dell’idrogramma in input.

#### Condizioni al contorno del Fosso Rossano (nel modello MIKE11).

- Portata in ingresso nella sezione di monte secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente RO\_D per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 6,97 m<sup>3</sup>/s, 8,24 m<sup>3</sup>/s, 9,07 m<sup>3</sup>/s.
- Portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate dal bacino residuo (compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche RO\_D e RO\_C), determinate secondo il criterio descritto in precedenza e assegnate nel modello idrodinamico come uniformemente distribuite nel tratto d'asta compreso tra le sezioni trasversali SEZ\_23 e SEZ\_59, funzionali a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica RO\_C pari a 9,49 m<sup>3</sup>/s, 11,36 m<sup>3</sup>/s, 12,58 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.
- Portata analogamente distribuita uniformemente lungo il tratto d'asta compreso tra le sezioni trasversali SEZ\_60 e SEZ\_84, generata dal bacino residuo compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche RO\_C e RO\_A e funzionale a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica RO\_A pari a 23,59 m<sup>3</sup>/s, 28,70 m<sup>3</sup>/s, 32,06 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.
- Condizione al contorno di valle (nel modello MIKE11): livello idrico costante (mare) pari a 0,50 m s.m.

#### Condizione al contorno del Fosso Andreino (nel modello MIKE11).

- Portata in ingresso nella sezione di monte secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente RO\_AN-B per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 3,39 m<sup>3</sup>/s, 3,97 m<sup>3</sup>/s, 4,36 m<sup>3</sup>/s.
- Portata distribuita uniformemente lungo il tratto d'asta generata dal bacino residuo (compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche RO\_AN-B e RO\_AN-A). Tale contributo è funzionale a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica RO\_AN-A pari a 8,58 m<sup>3</sup>/s, 10,27 m<sup>3</sup>/s, 11,37 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.

#### Condizione al contorno del Rio Monte Pertico (nel modello MIKE11).

- Portate in ingresso nella sezione di monte secondo l'idrogramma di riferimento specifico per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni del bacino afferente a monte (RO\_MP-A); Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 4,09 m<sup>3</sup>/s, 4,80 m<sup>3</sup>/s, 5,27 m<sup>3</sup>/s.

#### Condizione al contorno del Fosso Cappelletto (nel modello MIKE11):

- Portata in ingresso nella sezione di monte secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente CA\_C per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 22,39 m<sup>3</sup>/s, 26,94 m<sup>3</sup>/s, 29,94 m<sup>3</sup>/s.
- Portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto d'asta generata dal bacino residuo (compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche CA\_C e CA\_A). Tale contributo è funzionale a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica CA\_A pari a 26,69 m<sup>3</sup>/s, 32,44 m<sup>3</sup>/s, 36,23 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.

#### Condizioni al contorno "interne" di collegamento tra i due modelli MIKE11 e MIKE21:

- in corrispondenza di tutte le celle lungo la sponda destra e sinistra dei tratti a cielo aperto vengono applicate le equazioni tipiche dello stramazzo a larga soglia con le quote di sfioro pari ai valori maggiori tra quelli delle celle del modello bidimensionale e quelli corrispondenti delle quote di sponda delle sezioni dell'alveo del modello monodimensionale opportunamente interpolate.



A titolo di esempio si riportano in Figura 8 e in Figura 9 gli idrogrammi per tempo di ritorno 200 anni, assegnati in input lungo le aste fluviali del Fosso Cappelletto, del Fosso Rossano, del Fosso Andreino e del Rio Monte Pertico.

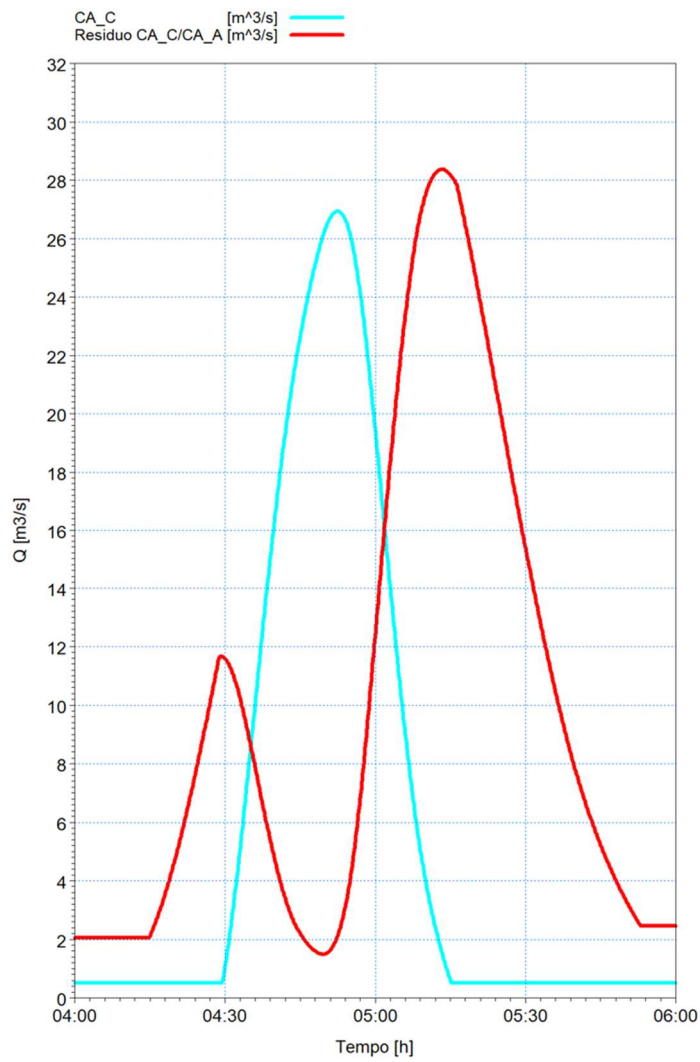


Figura 8 – Idrogrammi in input sul Fosso Cappelletto per tempo di ritorno 200 anni, condizione A.

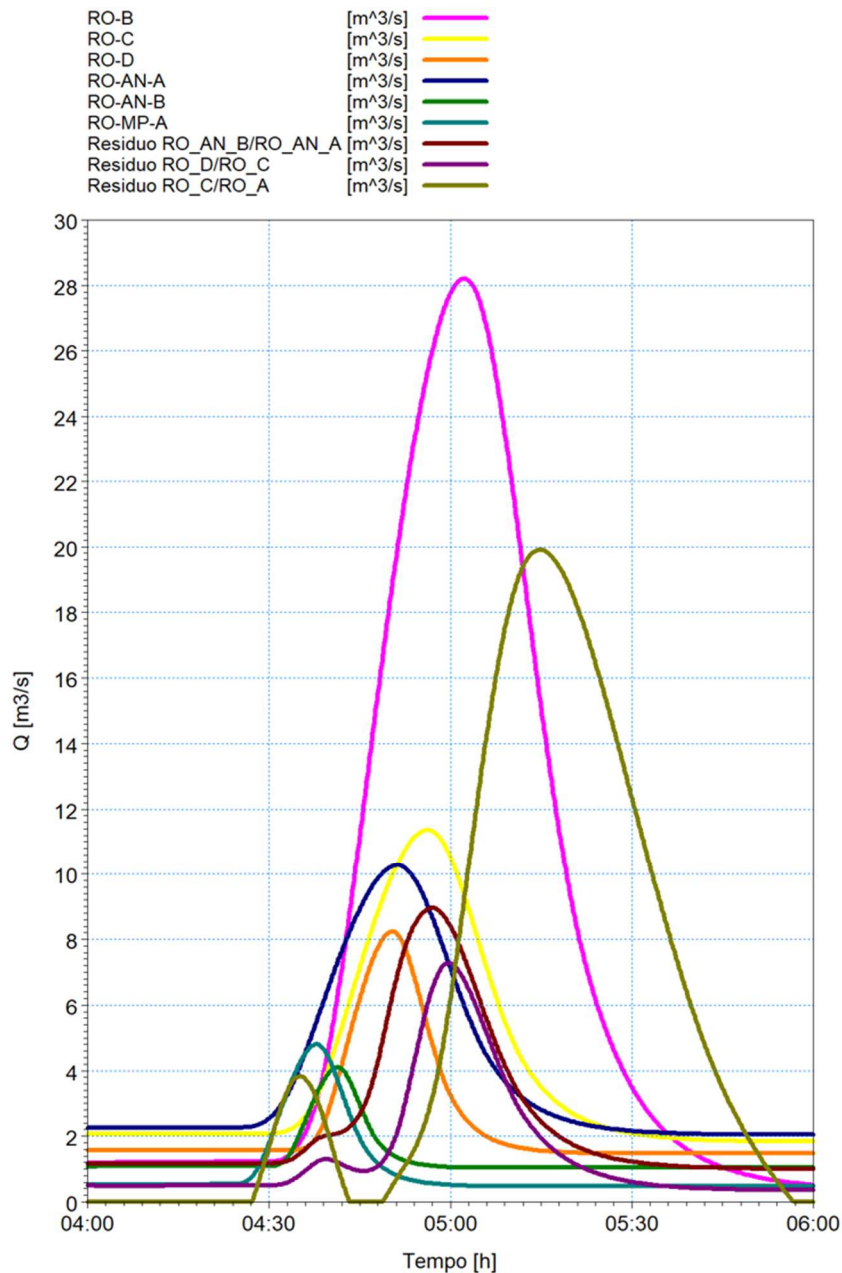


Figura 9 – Idrogrammi in input sul Fosso Rossano, Fosso Andreino e Rio Monte Pertico per tempo di ritorno 200 anni, condizione A.

#### 4.2 Scenari condizione B (in assenza di laminazione)

In questi scenari, simulati con il modello accoppiato 1D+2D e più gravosi per la porzione di modello di valle, si è rappresentato il funzionamento idrodinamico delle sole aste dei Fossi Cappelletto e Rossano a valle della ferrovia e delle confluenze degli affluenti, considerando che l'intera portata idrologica del bacino sotteso possa essere recapitata alla sezione in esame, indipendentemente dall'effettiva capacità di deflusso dei rami più a monte.

Condizione al contorno di monte del Fosso Rossano (nel modello MIKE11).

- portate in ingresso nella sezione SEZ\_61 secondo l'idrogramma di riferimento specifico per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni del bacino afferente a monte (RO\_A). Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 23,59 m<sup>3</sup>/s, 28,70 m<sup>3</sup>/s, 32,06 m<sup>3</sup>/s.
- condizione al contorno di valle (nel modello MIKE11): livello idrico costante (mare) pari a 0,50 m s.m.

Condizione al contorno di monte del Fosso Cappelletto (nel modello MIKE11).

- portate in ingresso nella sezione SEZ\_24 secondo l'idrogramma di riferimento specifico per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni del bacino afferente a monte. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 26,69 m<sup>3</sup>/s, 32,44 m<sup>3</sup>/s, 36,23 m<sup>3</sup>/s.
- condizione al contorno di valle (nel modello MIKE11): livello idrico costante (mare) pari a 0,50 m s.m.

Condizioni al contorno "interne" di collegamento tra i due modelli MIKE11 e MIKE21: in corrispondenza di tutte le celle lungo la sponda destra e sinistra dei tratti scoperti vengono applicate le equazioni tipiche dello stramazzo a larga soglia con le quote di sfioro pari ai valori maggiori tra quelli delle celle del modello bidimensionale e quelli corrispondenti delle quote di sponda delle sezioni dell'alveo del modello monodimensionale opportunamente interpolate.

A titolo di esempio si riportano in Figura 10 gli idrogrammi per tempo di ritorno 200 anni, assegnati in input lungo le aste fluviali del Fosso Cappelletto e del Fosso Rossano.

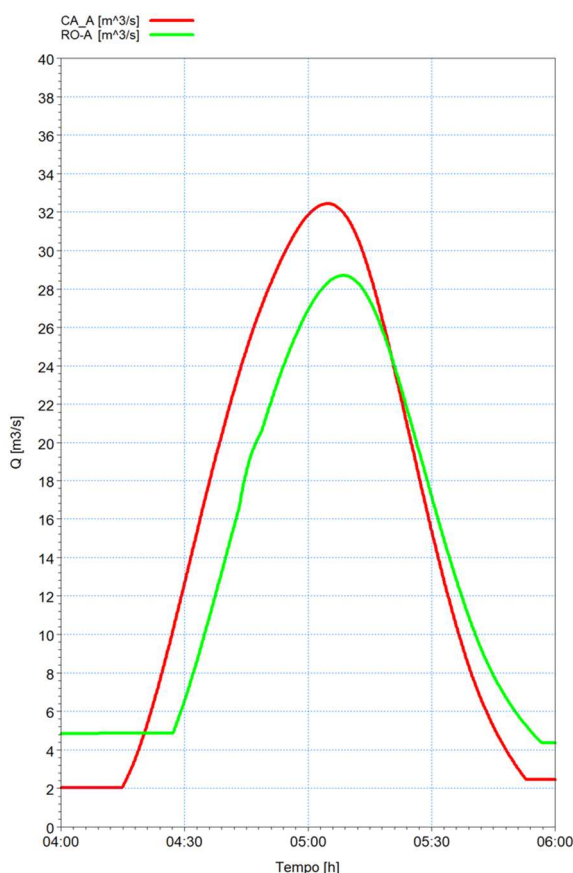


Figura 10 – Idrogrammi in input sul Fosso Rossano e sul Fosso Andreino per tempo di ritorno 200 anni, condizione B.

## 5. RISULTATI

I risultati delle simulazioni effettuate con i modelli integrati mono-bidimensionali sono illustrati nei capitoli seguenti mediante l'ausilio di rappresentazioni grafiche esplicative quali:

- mappe delle aree di esondazione (se presenti) con rappresentazione delle altezze idriche massime sul piano campagna e dei vettori delle velocità;
- profili longitudinali di inviluppo dei massimi livelli idrici lungo l'alveo inciso dei fossi.

I valori numerici dei principali parametri idrodinamici caratterizzanti i valori massimi di inviluppo del profilo di piena (relativi all'alveo inciso) sono indicati di seguito e riportati in specifiche tabelle:

- ID Sez. = identificativo sezione;
- Progr. = progressiva metrica lungo l'asta (m);
- Fondo = quota altimetrica del fondo alveo minimo (m s.m.);
- Q = portata massima (m<sup>3</sup>/s) – indicazione omessa per le simulazioni in moto permanente;
- P.L. = quota di pelo libero (m s.m.);
- h = altezza d'acqua sul fondo (m);
- v = velocità media della corrente (m/s);
- Fr = numero di Froude della corrente (-);
- H = carico idraulico totale (m s.m.).

Non sono restituiti i risultati sulle sezioni interpolate ed i parametri idraulici non sono definiti in corrispondenza delle strutture inserite all'interno dei modelli numerici (ad esempio i tombini o i salti di fondo), per queste si fa riferimento alla sezione immediatamente a monte (ad esempio per la valutazione del franco idraulico).

Per ogni corso d'acqua studiato sono state considerate le due condizioni A e B (descritte rispettivamente nei capitoli 4.1 e 4.2); per ciascuna sono state eseguite 3 simulazioni, associate a 3 scenari idrologici:

- TR50: evento di piena con tempo di ritorno pari a 50 anni;
- TR200: evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni;
- TR500: evento di piena con tempo di ritorno pari a 500 anni.

### 5.1 Risultati delle simulazioni: Fosso Rossano, Rio Monte Pertico e Fosso Andreino

#### 5.1.1 Condizione A - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

Nella Tabella 5 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Rossano, Rio Monte Pertico e Fosso Andreino (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi.

Nella Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
Rossano	SEZ_1	68,65	29,02	6,96	29,63	0,61	3,55	1,70	30,27
Rossano	SEZ_2	71,3	28,44	6,96	29,51	1,07	1,57	0,60	29,64
Rossano	SEZ_3	73,3	26,94	6,96	27,70	0,76	2,58	1,13	28,04
Rossano	SEZ_4	89,9	26,36	6,94	27,39	1,03	1,65	0,63	27,53
Rossano	SEZ_5	91,9	24,86	6,94	25,60	0,74	2,14	0,89	25,83
Rossano	SEZ_6	107,6	24,32	6,93	25,37	1,05	1,59	0,61	25,50
Rossano	SEZ_7	109,9	22,82	6,92	23,64	0,82	2,23	0,93	23,89
Rossano	SEZ_8	116,9	22,56	6,91	23,55	0,99	1,62	0,64	23,68
Rossano	SEZ_9	131	22,26	6,87	23,53	1,27	1,17	0,41	23,60
Rossano	SEZ_10	142,3	22,14	6,86	23,06	0,92	2,29	0,85	23,33
Rossano	SEZ_11	186,7	21,67	6,90	22,47	0,80	2,60	1,02	22,82
Rossano	SEZ_12	192,8	21,19	6,91	22,36	1,17	1,66	0,56	22,50
Rossano	SEZ_13	214,3	20,08	6,92	20,59	0,51	4,49	2,01	21,62
Rossano	SEZ_14	220,8	19,35	6,92	20,06	0,71	3,57	1,51	20,71
Rossano	SEZ_15	236,4	18,77	6,93	19,41	0,64	4,08	1,81	20,26
Rossano	SEZ_16	251,5	17,87	6,93	18,52	0,65	4,03	1,78	19,35
Rossano	SEZ_17	267	16,97	6,94	17,62	0,65	3,99	1,76	18,43
Rossano	SEZ_18	283	16,08	6,94	16,73	0,65	3,97	1,74	17,53
Rossano	SEZ_19	294	15,44	6,94	16,12	0,68	3,69	1,58	16,81
Rossano	SEZ_20	299,8	15,09	6,94	15,85	0,76	3,20	1,30	16,37
Rossano	SEZ_21	309,9	14,76	6,94	15,54	0,78	3,24	1,31	16,08
Rossano	SEZ_22	337,2	13,90	6,94	14,68	0,78	2,98	1,08	15,13
Rossano	SEZ_23	352,7	13,44	6,97	14,30	0,86	2,71	0,94	14,67
Rossano	SEZ_24	364,9	13,03	6,99	14,07	1,04	2,24	0,70	14,33
Rossano	SEZ_25	366,9	12,43	7,00	13,22	0,79	2,95	1,06	13,66
Rossano	SEZ_26	368,8	12,37	7,03	13,17	0,80	2,92	1,04	13,60
Rossano	SEZ_27	384,1	12,05	7,07	12,83	0,78	3,03	1,10	13,30
Rossano	SEZ_28	386,1	12,01	7,08	12,78	0,77	3,06	1,12	13,26
Rossano	SEZ_29	391,6	11,82	7,09	12,64	0,82	2,89	1,02	13,07
Rossano	SEZ_30	393,6	11,75	7,11	12,59	0,84	2,81	0,98	12,99
Rossano	SEZ_31	399,6	11,75	7,13	12,47	0,72	3,30	1,24	13,03
Rossano	SEZ_32	404,8	11,55	7,23	12,31	0,76	3,19	1,17	12,83
Rossano	SEZ_33	453,4	11,20	7,37	11,69	0,49	4,98	2,26	12,95
Rossano	SEZ_34	459,4	10,70	7,44	11,41	0,71	3,49	1,32	12,03
Rossano	SEZ_35	472,3	10,59	7,52	11,20	0,61	4,09	1,67	12,05
Rossano	SEZ_36	480	10,51	7,57	11,01	0,50	5,05	2,28	12,31
Rossano	SEZ_37	486	9,86	7,76	10,72	0,86	3,00	1,03	11,18
Rossano	SEZ_38	531,8	9,32	7,89	10,30	0,98	2,68	0,87	10,67
Rossano	SEZ_39	537,8	8,82	7,97	10,26	1,44	1,84	0,49	10,43
Rossano	SEZ_40	555,4	8,68	8,09	10,23	1,55	1,74	0,45	10,38

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
Rossano	SEZ_41	582,5	8,55	8,86	10,14	1,59	1,86	0,47	10,32
Rossano	SEZ_42	745	7,00	9,62	8,54	1,54	2,44	0,63	8,84
Rossano	SEZ_43	748,1	6,95	9,66	8,54	1,59	2,19	0,64	8,78
Rossano	SEZ_44	752,5	6,90	9,68	8,56	1,66	1,83	0,58	8,73
Rossano	SEZ_45	754,5	6,83	9,69	8,56	1,73	1,79	0,50	8,72
Rossano	SEZ_46	755,5	6,81	9,72	8,55	1,74	1,77	0,48	8,71
Rossano	SEZ_47	761,1	6,72	9,79	8,54	1,82	1,77	0,46	8,70
Rossano	SEZ_48	771,3	6,58	9,82	8,53	1,95	1,74	0,44	8,68
Rossano	SEZ_49	772,3	6,58	9,84	8,53	1,95	1,74	0,44	8,69
Rossano	SEZ_50	774,1	6,57	9,92	8,52	1,96	1,75	0,44	8,68
Rossano	SEZ_51	787,5	6,59	9,55	8,48	1,90	1,93	0,48	8,67
Rossano	SEZ_52	788	6,59	9,68	8,48	1,89	1,95	0,49	8,67
Rossano	SEZ_53	810,8	6,45	9,81	8,45	2,00	1,75	0,40	8,61
Rossano	SEZ_54	811,7	6,45	9,91	8,44	1,99	1,77	0,40	8,60
Rossano	SEZ_55	826	6,44	9,99	8,42	1,98	1,70	0,38	8,57
Rossano	SEZ_56	827	6,44	10,11	8,41	1,97	1,73	0,39	8,56
Rossano	SEZ_57	846	6,43	8,98	8,44	2,01	1,49	0,34	8,55
Rossano	SEZ_58	847,5	6,43	8,86	8,44	2,01	1,47	0,33	8,55
Rossano	SEZ_59	855,5	5,07	8,83	7,15	2,08	1,41	0,31	7,25
Rossano	SEZ_60	926,35	3,10	8,23	7,07	3,97	0,38	0,06	7,08
Rossano	SEZ_61	932,8	3,10	14,12	7,07	3,97	0,66	0,11	7,09
Rossano	SEZ_62	972,8	2,84	13,58	6,80	3,95	0,64	0,10	6,82
Rossano	SEZ_63	975,8	2,82	13,61	6,80	3,97	0,63	0,10	6,82
Rossano	SEZ_64	1009,6	2,62	13,30	6,58	3,97	0,62	0,10	6,60
Rossano	SEZ_65	1012,6	2,60	13,35	6,58	3,98	0,62	0,10	6,60
Rossano	SEZ_66	1046,7	2,40	13,10	6,36	3,96	0,61	0,10	6,38
Rossano	SEZ_67	1049,7	2,40	13,43	6,36	3,96	0,68	0,11	6,38
Rossano	SEZ_68	1157,8	2,20	12,57	5,83	3,63	0,69	0,12	5,85
Rossano	SEZ_69	1160,8	2,20	12,80	5,83	3,63	0,64	0,11	5,85
Rossano	SEZ_70	1235,9	2,05	12,26	5,65	3,60	0,62	0,10	5,67
Rossano	SEZ_71	1238,9	2,05	12,55	5,65	3,60	0,63	0,11	5,67
Rossano	SEZ_72	1334	1,86	12,04	5,39	3,53	0,62	0,11	5,41
Rossano	SEZ_73	1337	1,86	12,48	5,39	3,53	0,64	0,11	5,41
Rossano	SEZ_74	1445	1,66	12,04	5,01	3,35	0,65	0,11	5,03
Rossano	SEZ_75	1448	1,66	12,69	5,01	3,35	0,69	0,12	5,03
Rossano	SEZ_76	1578	1,40	12,39	4,45	3,05	0,74	0,14	4,48
Rossano	SEZ_77	1581	1,40	13,57	4,44	3,04	0,81	0,15	4,47
Rossano	SEZ_78	1778	1,00	13,47	3,44	2,44	0,69	0,14	3,46
Rossano	SEZ_79	1781,1	1,00	15,07	3,43	2,43	0,77	0,16	3,46
Rossano	SEZ_80	2026	0,07	16,27	1,02	0,95	2,38	0,78	1,31

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
Rossano	SEZ_81	2031,5	-1,50	16,34	0,50	2,00	1,02	0,22	0,55
Rossano	SEZ_82	2038,5	-1,50	16,77	0,50	1,99	1,07	0,23	0,55
Rossano	SEZ_83	2099,3	-2,57	17,48	0,50	3,07	0,72	0,12	0,53
Rossano	SEZ_84	2129,9	-2,98	17,91	0,50	3,48	0,65	0,11	0,52
Rossano	SEZ_85	2189,9	-4,03	44,14	0,50	4,53	1,23	0,17	0,58
Rossano	SEZ_86	2216,4	-4,50	44,52	0,50	5,00	1,12	0,15	0,56
Andreino	SEZA_1	0	24,60	3,5	25,29	0,69	1,68	0,65	25,43
Andreino	SEZA_2	14,22	24,50	2,57	25,28	0,78	1,10	0,40	25,34
Andreino	SEZA_3	42,08	20,80	0,77	22,37	1,57	0,76	0,24	22,40
Andreino	SEZA_4	44,08	20,80	1,01	22,34	1,54	1,00	0,32	22,39
Andreino	SEZA_5	70,11	19,00	2,42	21,89	2,89	1,97	0,59	22,09
Andreino	SEZA_6	72,11	19,00	4,6	21,89	2,89	3,74	1,13	22,60
Andreino	SEZA_7	453,67	7,50	6,71	14,02	6,52	2,88	0,74	14,44
Andreino	SEZA_8	455,67	7,50	6,71	14,00	6,5	2,88	0,74	14,42
Andreino	SEZA_9	560	3,79	6,71	11,41	7,62	2,87	0,73	11,83
Andreino	SEZA_10	562	3,79	6,71	11,39	7,6	2,87	0,73	11,81
Andreino	SEZA_11	715	3,49	6,7	8,23	4,74	2,45	0,58	8,53
Andreino	SEZA_12	716,3	3,49	6,7	8,22	4,73	2,45	0,58	8,52
Monte Pertico	SEZM_1	0	8,70	4,08	9,37	0,67	2,02	0,79	9,58
Monte Pertico	SEZM_2	33,64	8,00	4,06	8,99	0,99	1,37	0,44	9,09
Monte Pertico	SEZM_3	139,02	6,45	6,02	8,27	1,82	1,31	0,29	8,36
Monte Pertico	SEZM_4	143,02	6,45	6,05	8,27	1,82	2,68	0,70	8,64
Monte Pertico	SEZM_5	316,41	3,86	3,89	8,25	4,39	1,70	0,44	8,40
Monte Pertico	SEZM_6	320,41	3,85	3,89	8,25	4,39	1,70	0,44	8,40
Monte Pertico	SEZM_7	495,21	3,50	3,68	8,22	4,72	1,60	0,41	8,35
Monte Pertico	SEZM_8	498,6	3,50	3,67	8,22	4,72	1,60	0,41	8,35
Monte Pertico	SEZM_9	505,24	3,48	7,21	8,16	4,68	1,57	0,40	8,29
Monte Pertico	SEZM_10	690	3,10	7,19	7,1	4	1,57	0,41	7,23
Monte Pertico	SEZM_11	694,63	3,10	7,19	7,07	3,97	1,57	0,41	7,20

**Tabella 5 – Risultati di sintesi per lo Scenario A - TR50.**



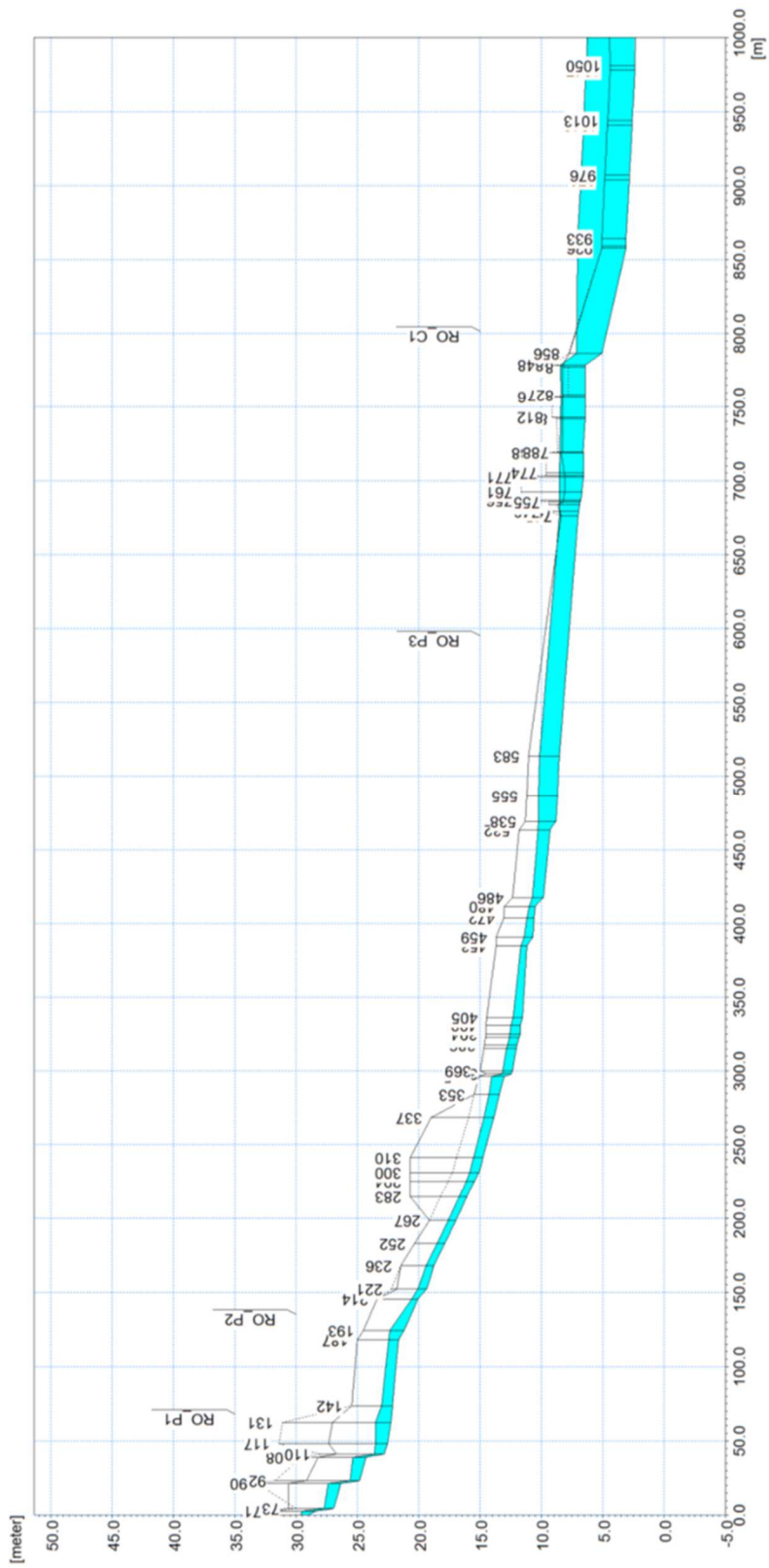


Figura 11 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del Fosso Rossano, Scenario A - TR50.

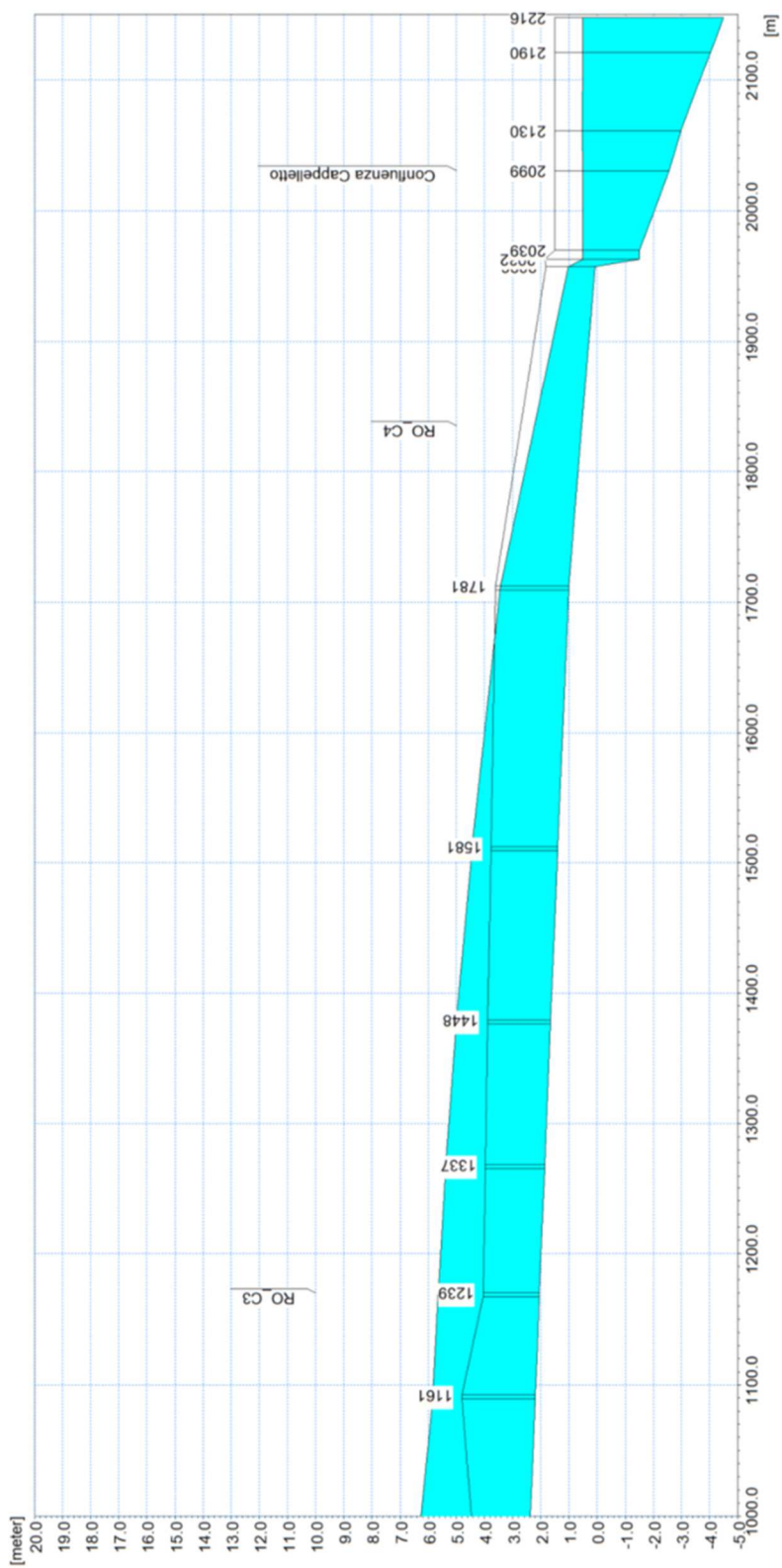


Figura 12 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Rossano, Scenario A - TR50.

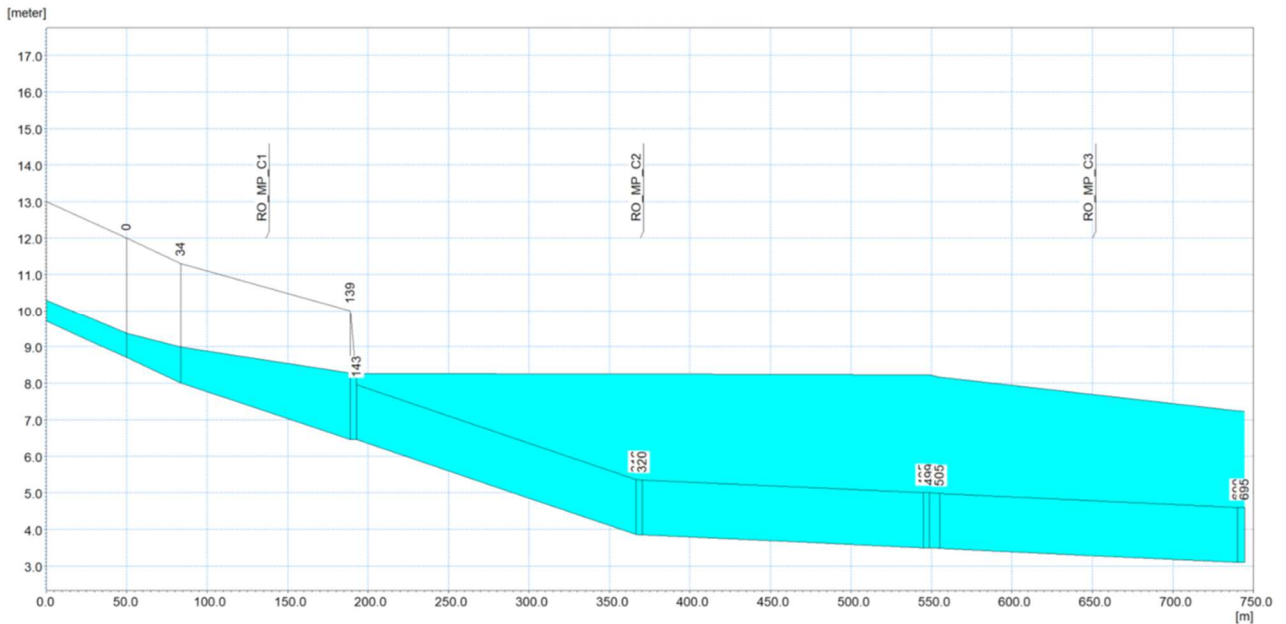


Figura 13 – Profilo longitudinale di corrente del Rio Monte Pertico, Scenario A - TR50.

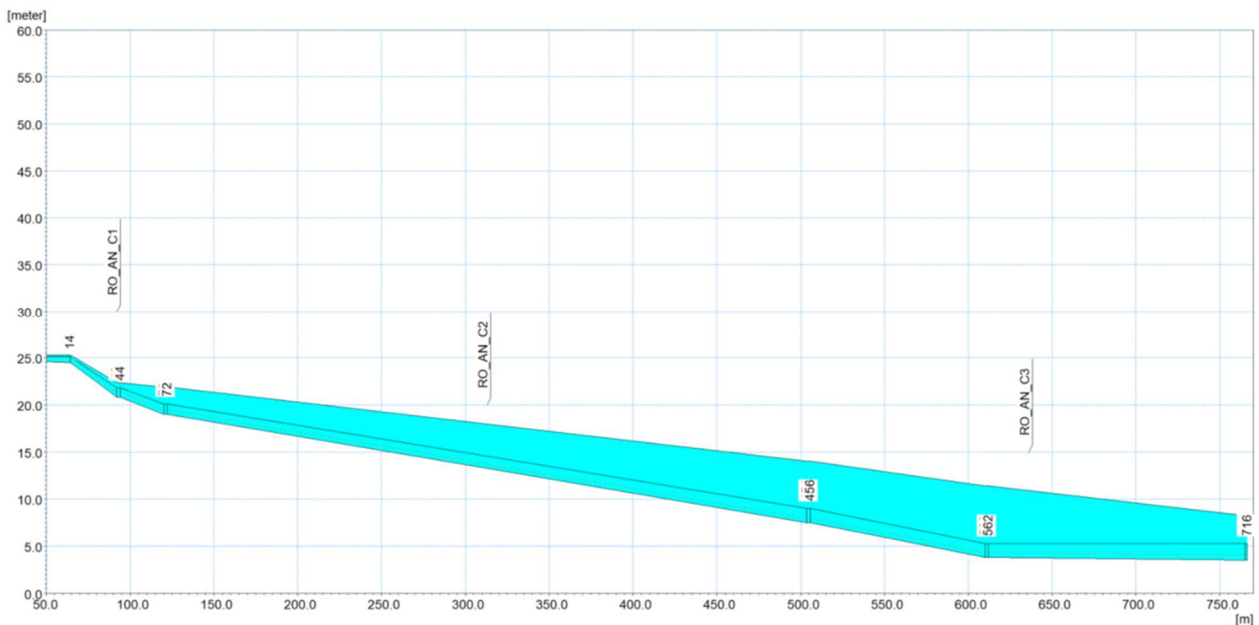


Figura 14 – Profilo longitudinale di corrente del Fosso Andreino, Scenario A - TR50.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dal modello monodimensionale si evince quanto segue per il Fosso Rossano.

- Il livello idrico massimo nella porzione di monte del tratto del Fosso Rossano a cielo aperto (da SEZ\_1 a SEZ\_22), nel tratto con copertura realizzata da griglie metalliche carrabili (da SEZ\_22 a SEZ\_31) e nel tratto tombato a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria (da SEZ\_31 a SEZ\_41) risulta contenuto nell'alveo inciso, con adeguato franco. Tale tratto si trova in corrispondenza dell'area dell'ex

raffineria IP, oggetto di opere di sistemazione fluviale nell'ambito di un recente intervento di riqualificazione urbanistica. Si evidenzia tuttavia come il tratto iniziale, nella porzione a cielo aperto a fianco della vasca, presenti una notevole crescita vegetale arborea che, se non gestita, potrà comportare un rilevante effetto di occlusione della sezione di deflusso (qui non considerato).

- L'attraversamento della linea ferroviaria (RO\_P3) nel suo tratto terminale manifesta un deflusso in pressione al transito del colmo di piena, legato al profilo di rigurgito dovuto al tratto di valle.
- Il livello idrico massimo nella porzione di tratto a cielo aperto (da SEZ\_43 a SEZ\_59) adiacente all'area di deposito mezzi dell'ATC supera le sommità spondali provocando allagamenti delle aree adiacenti. Le altezze d'acqua relativamente elevate che si generano in questo tratto sono causate dalla geometria delle sezioni e in buona parte dalla sezione di imbocco della tombinatura RO\_C1, protetta da una griglia (con tendenza all'intasamento) che induce una perdita di carico.
- A partire dall'imbocco della tombinatura RO\_C1 e fino all'altezza di via Carducci (da SEZ\_59 a SEZ\_79) si manifesta un deflusso in pressione al transito del colmo di piena. In questo tratto le altezze piezometriche risultano superiori alla quota del piano viabile soprastante a partire dal tratto che va dall'incrocio di Via Lunigiana e Via Ferrara. Lungo il percorso sono presenti alcuni pozzetti di ispezione, particolarmente in corrispondenza dei principali cambi di direzione, con chiusini e caditoie dai quali si verifica fuoriuscita di portata sul piano viabile.
- A partire dall'attraversamento di via Carducci (RO\_C3) e fino allo sbocco a mare in area portuale (SEZ\_86) il tratto tombato (con la geometria della sistemazione in progetto, che riceve anche le portate del Fosso Cappelletto) presenta funzionamento a pelo libero con adeguato franco. Il livello idrico nel tratto terminale (circa 200 m) è sostanzialmente orizzontale e condizionato dal livello imposto di mare.

Il Fosso Andreino, tombato dall'inizio del tratto di studio fino alla confluenza con il Fosso Rossano, presenta un deflusso fortemente in pressione al transito del colmo di piena (da SEZA\_2 a SEZ\_A\_11). Tale comportamento è atteso in quanto la tombinatura è realizzata con un collettore di tipo fognario (circolare DN800 in calcestruzzo che si amplia poi in una sezione quadrata di lato 1,1 m), con capacità di deflusso assai inferiore alla portata di piena del bacino sotteso.

In corrispondenza dell'inizio della tombinatura, nel tratto a cielo aperto compreso tra la SEZA\_1 e la SEZA\_2, il livello idrico massimo supera la quota del piano campagna provocandone l'esondazione. L'acqua fuoriesce inoltre dal pozzetto che si trova in corrispondenza dell'attraversamento del tratto tombato con via Vailunga, poiché le altezze piezometriche risultano superiori alla quota del piano viabile.

Il tratto tombato del Rio Monte Pertico ha un comportamento a pressione per tutto il suo sviluppo, sia a monte che a valle della confluenza con il Fosso Andreino. Nella breve porzione iniziale a cielo aperto, in prossimità del sottopasso viabile della ferrovia, il livello idrico massimo non supera le sommità spondali, dove l'alveo è approfondito di oltre 3,3 m rispetto al piano stradale.

In Figura 15, Figura 16 e Figura 17 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale rispettivamente per il Fosso Rossano, il Rio Monte Pertico e il Fosso Andreino.

In particolare per il Fosso Rossano: sezioni 1 (iniziale), 58 (tratto a cielo aperto presso ATC), 66 (incrocio via Lunigiana – via Ferrara, valle confluenza Andreino e Monte Pertico), 81 (monte viale S.Bartolomeo), 86 (sbocco in mare). Per Andreino e Monte Pertico: sezioni iniziale e di confluenza.

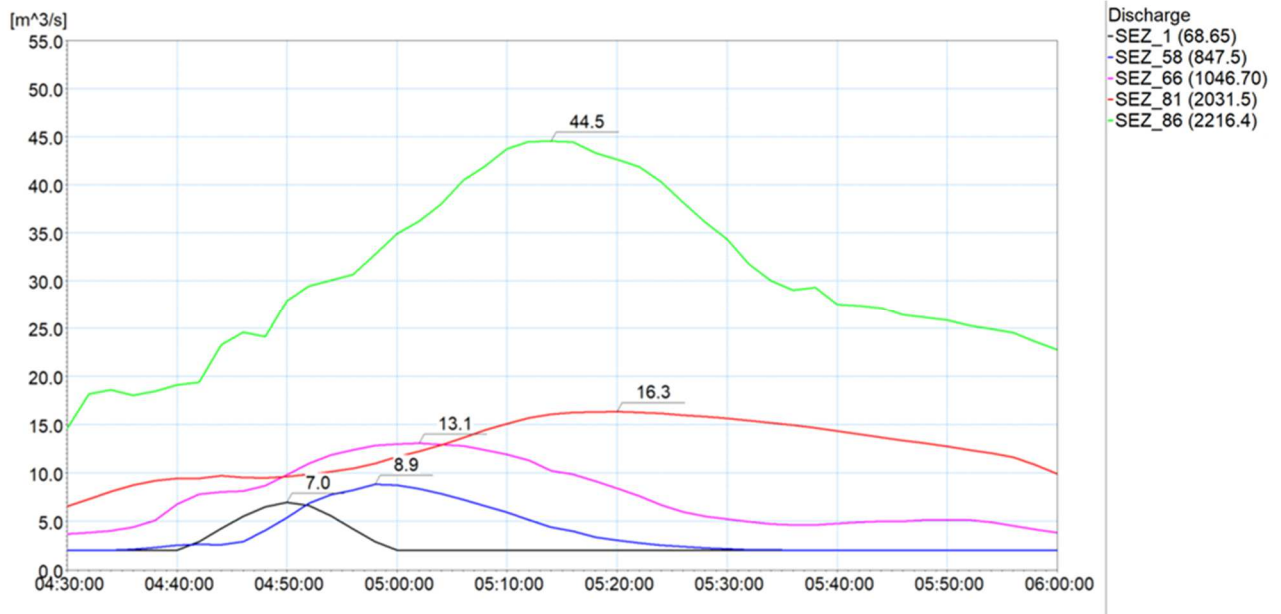


Figura 15 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Rossano, scenario A - TR50.

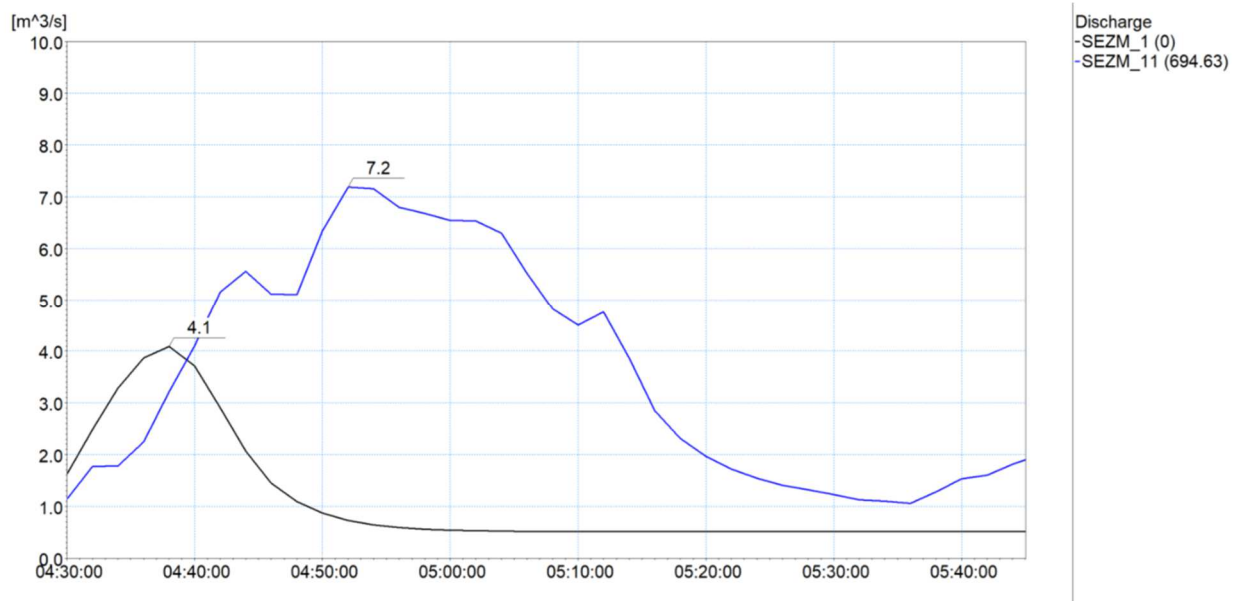
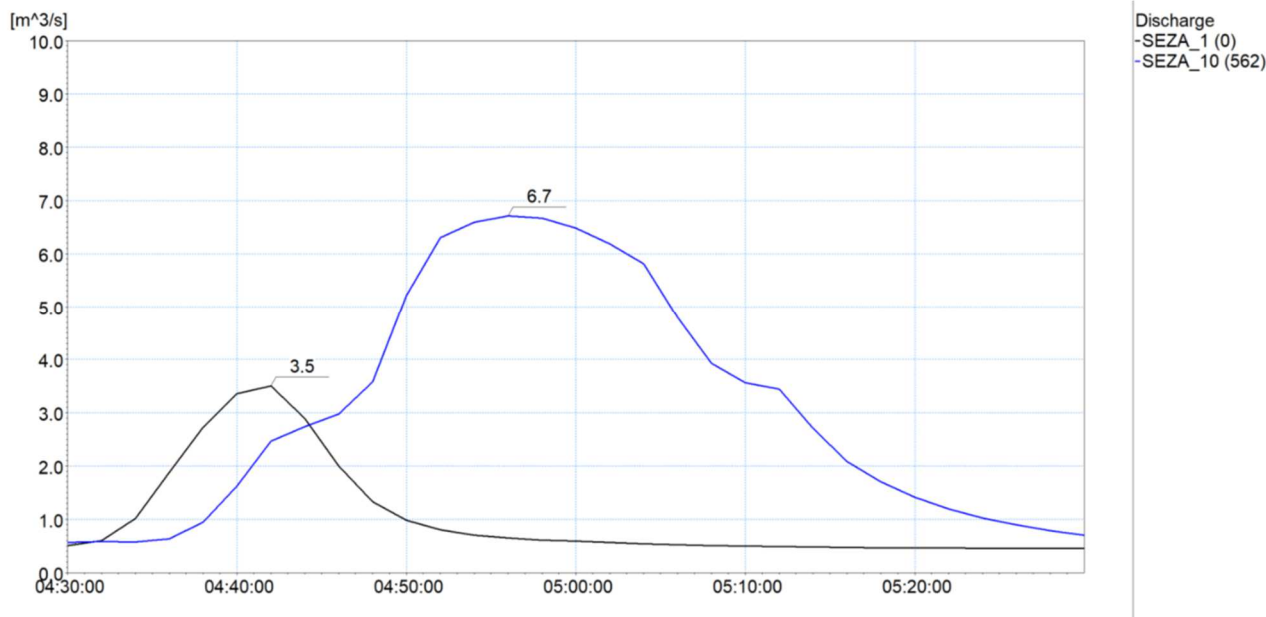


Figura 16 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Rio Monte Pertico, scenario A - TR50.



**Figura 17 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Andreino, scenario A - TR50.**

Per il Fosso Rossano, procedendo da monte verso valle, si vede come il picco di piena aumenti da 7,0 m<sup>3</sup>/s nella sezione iniziale SEZ\_1 a 16,3 m<sup>3</sup>/s poco a monte della confluenza del Fosso Cappelletto (Figura 15). Tale valore risulta significativamente inferiore a quello teorico determinato nell'analisi idrologica per la sezione di chiusura del bacino RO\_A (pari a 23,59 m<sup>3</sup>/s), a causa delle significative esondazioni che si verificano a monte e riducono le portate afferenti, particolarmente nel contributo degli affluenti.

L'aumento di portata massima dovuto a quest'ultimo apporto è visibile dal confronto tra la SEZ\_58 (8,9 m<sup>3</sup>/s) e la SEZ\_66 (13,1 m<sup>3</sup>/s). Il Rio Monte Pertico, dopo avere ricevuto il contributo del Fosso Andreino (6,7 m<sup>3</sup>/s di portata al colmo nella sezione SEZ\_A10, Figura 17) confluisce nel Fosso Rossano con un valore di portata al picco di 7,2 m<sup>3</sup>/s (SEZM\_11, Figura 16). La differenza tra questi valori di portata massima e l'incremento sul picco del Fosso Rossano è legata alle esondazioni e allo sfasamento temporale dei diversi colmi di piena.

L'aumento di portata lungo l'asta a valle è legato invece al contributo del bacino residuo distribuito uniformemente lungo l'intero tratto.

Il valore di picco a valle della confluenza con il Fosso Cappelletto (Figura 15) risulta pari a 44,5 m<sup>3</sup>/s, massima portata recapitata a mare: i due colmi di piena risultano pressoché contemporanei (cfr. capitolo 5.2.1). La somma dei due colmi idrologici sarebbe pari a circa 50 m<sup>3</sup>/s per TR=50 anni.

Come indicato nel capitolo 3.2.1, a valle della confluenza con il Fosso Cappelletto la sezione del Fosso Rossano ha larghezza di 8,0 m anziché di 12,40 m come da progetto. Questa assunzione, legata ad esigenze di stabilità numerica del modello, risulta irrilevante ai fini dell'analisi, essendo il tratto completamente rigurgitato dal livello imposto di mare. Le velocità restituite dal modello in tale tratto risultano quindi leggermente sovrastimate rispetto a quelle di progetto; il carico cinetico è in ogni caso assai modesto.

### 5.1.2 Condizione A - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

Nella Tabella 6 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Rossano, Rio Monte Pertico e Fosso Andreino (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. Nella Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_1	68,65	29,02	8,23	29,70	0,68	3,56	1,63	30,35
Rossano	SEZ_2	71,3	28,44	8,23	29,60	1,16	1,64	0,60	29,74
Rossano	SEZ_3	73,3	26,94	8,23	27,78	0,84	2,65	1,11	28,14
Rossano	SEZ_4	89,9	26,36	8,21	27,48	1,12	1,70	0,63	27,63
Rossano	SEZ_5	91,9	24,86	8,21	25,69	0,83	2,25	0,91	25,95
Rossano	SEZ_6	107,6	24,32	8,20	25,47	1,15	1,62	0,59	25,60
Rossano	SEZ_7	109,9	22,82	8,20	23,76	0,94	2,21	0,88	24,01
Rossano	SEZ_8	116,9	22,56	8,18	23,71	1,15	1,49	0,54	23,82
Rossano	SEZ_9	131	22,26	8,14	23,70	1,44	1,11	0,36	23,76
Rossano	SEZ_10	142,3	22,14	8,13	23,17	1,03	2,34	0,84	23,45
Rossano	SEZ_11	186,7	21,67	8,17	22,61	0,94	2,52	0,93	22,93
Rossano	SEZ_12	192,8	21,19	8,18	22,52	1,33	1,64	0,53	22,66
Rossano	SEZ_13	214,3	20,08	8,19	20,66	0,58	4,68	2,02	21,78
Rossano	SEZ_14	220,8	19,35	8,19	20,13	0,78	3,77	1,54	20,86
Rossano	SEZ_15	236,4	18,77	8,20	19,48	0,71	4,27	1,82	20,41
Rossano	SEZ_16	251,5	17,87	8,20	18,58	0,71	4,23	1,79	19,49
Rossano	SEZ_17	267	16,97	8,20	17,69	0,72	4,16	1,76	18,57
Rossano	SEZ_18	283	16,08	8,21	16,80	0,72	4,15	1,75	17,68
Rossano	SEZ_19	294	15,44	8,21	16,20	0,76	3,82	1,56	16,94
Rossano	SEZ_20	299,8	15,09	8,21	15,93	0,84	3,34	1,31	16,50
Rossano	SEZ_21	309,9	14,76	8,21	15,62	0,86	3,38	1,31	16,20
Rossano	SEZ_22	337,2	13,90	8,21	14,78	0,88	3,10	1,05	15,27
Rossano	SEZ_23	352,7	13,44	8,24	14,41	0,97	2,83	0,92	14,82
Rossano	SEZ_24	364,9	13,03	8,28	14,19	1,16	2,39	0,71	14,48
Rossano	SEZ_25	366,9	12,43	8,29	13,32	0,89	3,12	1,06	13,82
Rossano	SEZ_26	368,8	12,37	8,33	13,27	0,90	3,07	1,03	13,75
Rossano	SEZ_27	384,1	12,05	8,37	12,93	0,87	3,19	1,09	13,45
Rossano	SEZ_28	386,1	12,01	8,39	12,88	0,87	3,23	1,11	13,41
Rossano	SEZ_29	391,6	11,82	8,41	12,73	0,91	3,07	1,03	13,21
Rossano	SEZ_30	393,6	11,75	8,43	12,69	0,94	3,00	0,99	13,15
Rossano	SEZ_31	399,6	11,75	8,45	12,56	0,81	3,48	1,23	13,18
Rossano	SEZ_32	404,8	11,55	8,59	12,40	0,85	3,38	1,17	12,98



Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_33	453,4	11,20	8,75	11,76	0,56	5,18	2,20	13,13
Rossano	SEZ_34	459,4	10,70	8,83	11,50	0,80	3,69	1,32	12,20
Rossano	SEZ_35	472,3	10,59	8,92	11,29	0,70	4,25	1,62	12,21
Rossano	SEZ_36	480	10,51	8,98	11,10	0,59	5,04	2,09	12,40
Rossano	SEZ_37	486	9,86	9,20	10,86	1,00	3,06	0,97	11,34
Rossano	SEZ_38	531,8	9,32	9,36	10,48	1,16	2,69	0,80	10,85
Rossano	SEZ_39	537,8	8,82	9,45	10,45	1,63	1,94	0,48	10,64
Rossano	SEZ_40	555,4	8,68	9,61	10,41	1,73	1,86	0,45	10,59
Rossano	SEZ_41	582,5	8,55	10,50	10,32	1,77	1,98	0,48	10,52
Rossano	SEZ_42	745	7,00	11,40	8,64	1,64	2,71	0,68	9,01
Rossano	SEZ_43	748,1	6,95	11,44	8,64	1,69	2,39	0,67	8,93
Rossano	SEZ_44	752,5	6,90	11,47	8,66	1,76	1,96	0,62	8,86
Rossano	SEZ_45	754,5	6,83	11,48	8,65	1,82	1,98	0,53	8,85
Rossano	SEZ_46	755,5	6,81	11,52	8,65	1,84	1,97	0,52	8,85
Rossano	SEZ_47	761,1	6,72	11,60	8,63	1,91	1,98	0,50	8,83
Rossano	SEZ_48	771,3	6,58	11,65	8,61	2,03	1,96	0,48	8,81
Rossano	SEZ_49	772,3	6,58	11,67	8,61	2,03	1,96	0,48	8,81
Rossano	SEZ_50	774,1	6,57	11,77	8,60	2,04	1,97	0,49	8,80
Rossano	SEZ_51	787,5	6,59	11,34	8,56	1,98	2,18	0,53	8,80
Rossano	SEZ_52	788	6,59	11,48	8,56	1,97	2,20	0,54	8,81
Rossano	SEZ_53	810,8	6,45	11,64	8,51	2,06	2,01	0,45	8,72
Rossano	SEZ_54	811,7	6,45	11,75	8,51	2,06	2,03	0,46	8,72
Rossano	SEZ_55	826	6,44	11,85	8,48	2,04	1,96	0,44	8,67
Rossano	SEZ_56	827	6,44	11,99	8,47	2,03	1,99	0,45	8,67
Rossano	SEZ_57	846	6,43	9,86	8,53	2,10	1,57	0,35	8,66
Rossano	SEZ_58	847,5	6,43	9,62	8,54	2,11	1,52	0,33	8,66
Rossano	SEZ_59	855,5	5,07	9,44	7,41	2,34	1,34	0,28	7,50
Rossano	SEZ_60	926,35	3,10	8,70	7,38	4,28	0,38	0,06	7,39
Rossano	SEZ_61	932,8	3,10	14,95	7,38	4,28	0,65	0,10	7,40
Rossano	SEZ_62	972,8	2,84	14,41	7,02	4,18	0,64	0,10	7,04
Rossano	SEZ_63	975,8	2,82	14,45	7,02	4,19	0,64	0,10	7,04
Rossano	SEZ_64	1009,6	2,62	14,46	6,75	4,13	0,65	0,10	6,77
Rossano	SEZ_65	1012,6	2,60	14,65	6,75	4,15	0,65	0,10	6,77
Rossano	SEZ_66	1046,7	2,40	13,81	6,47	4,07	0,63	0,10	6,49
Rossano	SEZ_67	1049,7	2,40	14,14	6,46	4,06	0,70	0,11	6,48
Rossano	SEZ_68	1157,8	2,20	13,12	5,96	3,76	0,70	0,11	5,98
Rossano	SEZ_69	1160,8	2,20	13,28	5,96	3,76	0,64	0,11	5,98
Rossano	SEZ_70	1235,9	2,05	12,62	5,77	3,72	0,62	0,10	5,79
Rossano	SEZ_71	1238,9	2,05	12,89	5,77	3,72	0,63	0,10	5,79
Rossano	SEZ_72	1334	1,86	12,34	5,51	3,65	0,62	0,10	5,53



Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_73	1337	1,86	12,70	5,50	3,65	0,63	0,11	5,52
Rossano	SEZ_74	1445	1,66	12,20	5,11	3,45	0,64	0,11	5,13
Rossano	SEZ_75	1448	1,66	12,87	5,10	3,44	0,68	0,12	5,12
Rossano	SEZ_76	1578	1,40	12,50	4,54	3,14	0,72	0,13	4,57
Rossano	SEZ_77	1581	1,40	13,78	4,53	3,13	0,79	0,14	4,56
Rossano	SEZ_78	1778	1,00	13,53	3,57	2,56	0,66	0,13	3,59
Rossano	SEZ_79	1781,1	1,00	15,44	3,56	2,56	0,75	0,15	3,59
Rossano	SEZ_80	2026	0,07	16,98	1,05	0,98	2,41	0,78	1,35
Rossano	SEZ_81	2031,5	-1,50	17,08	0,50	2,00	1,07	0,23	0,56
Rossano	SEZ_82	2038,5	-1,50	17,64	0,50	2,00	1,12	0,24	0,56
Rossano	SEZ_83	2099,3	-2,57	18,73	0,51	3,08	0,77	0,13	0,54
Rossano	SEZ_84	2129,9	-2,98	19,31	0,50	3,48	0,70	0,11	0,53
Rossano	SEZ_85	2189,9	-4,03	48,08	0,50	4,53	1,34	0,19	0,59
Rossano	SEZ_86	2216,4	-4,50	48,76	0,50	5,00	1,23	0,17	0,58
Andreino	SEZA_1	0	24,60	4,11	25,33	0,73	1,87	0,70	25,51
Andreino	SEZA_2	14,22	24,50	3,02	25,31	0,81	1,25	0,44	25,39
Andreino	SEZA_3	42,08	20,80	0,88	22,77	1,97	0,87	0,28	22,81
Andreino	SEZA_4	44,08	20,80	1,17	22,75	1,95	1,16	0,37	22,82
Andreino	SEZA_5	70,11	19,00	2,83	22,05	3,05	2,30	0,69	22,32
Andreino	SEZA_6	72,11	19,00	5,37	22,03	3,03	4,37	1,32	23,00
Andreino	SEZA_7	453,67	7,50	6,98	15,12	7,62	2,98	0,76	15,57
Andreino	SEZA_8	455,67	7,50	6,98	15,09	7,59	2,98	0,76	15,54
Andreino	SEZA_9	560	3,79	6,97	12,29	8,5	2,97	0,76	12,74
Andreino	SEZA_10	562	3,79	6,97	12,27	8,48	2,97	0,76	12,72
Andreino	SEZA_11	715	3,49	6,96	8,63	5,14	2,53	0,60	8,96
Andreino	SEZA_12	716,3	3,49	6,96	8,62	5,13	2,53	0,60	8,95
Monte Pertico	SEZM_1	0	8,70	4,79	9,46	0,76	2,09	0,76	9,68
Monte Pertico	SEZM_2	33,64	8,00	4,77	9,20	1,2	1,33	0,39	9,29
Monte Pertico	SEZM_3	139,02	6,45	4,18	9,14	2,69	0,62	0,11	9,16
Monte Pertico	SEZM_4	143,02	6,45	4,16	9,10	2,65	1,83	0,48	9,27
Monte Pertico	SEZM_5	316,41	3,86	4,15	8,63	4,77	1,80	0,47	8,80
Monte Pertico	SEZM_6	320,41	3,85	4,15	8,63	4,78	1,80	0,47	8,80
Monte Pertico	SEZM_7	495,21	3,50	4,1	8,62	5,12	1,78	0,46	8,78
Monte Pertico	SEZM_8	498,6	3,50	4,5	8,62	5,12	1,96	0,50	8,82
Monte Pertico	SEZM_9	505,24	3,48	7,44	8,55	5,07	1,61	0,42	8,68
Monte Pertico	SEZM_10	690	3,10	7,43	7,42	4,32	1,62	0,42	7,55
Monte Pertico	SEZM_11	694,63	3,10	7,43	7,38	4,28	1,62	0,42	7,51

Tabella 6 – Risultati di sintesi per lo Scenario A - TR200.

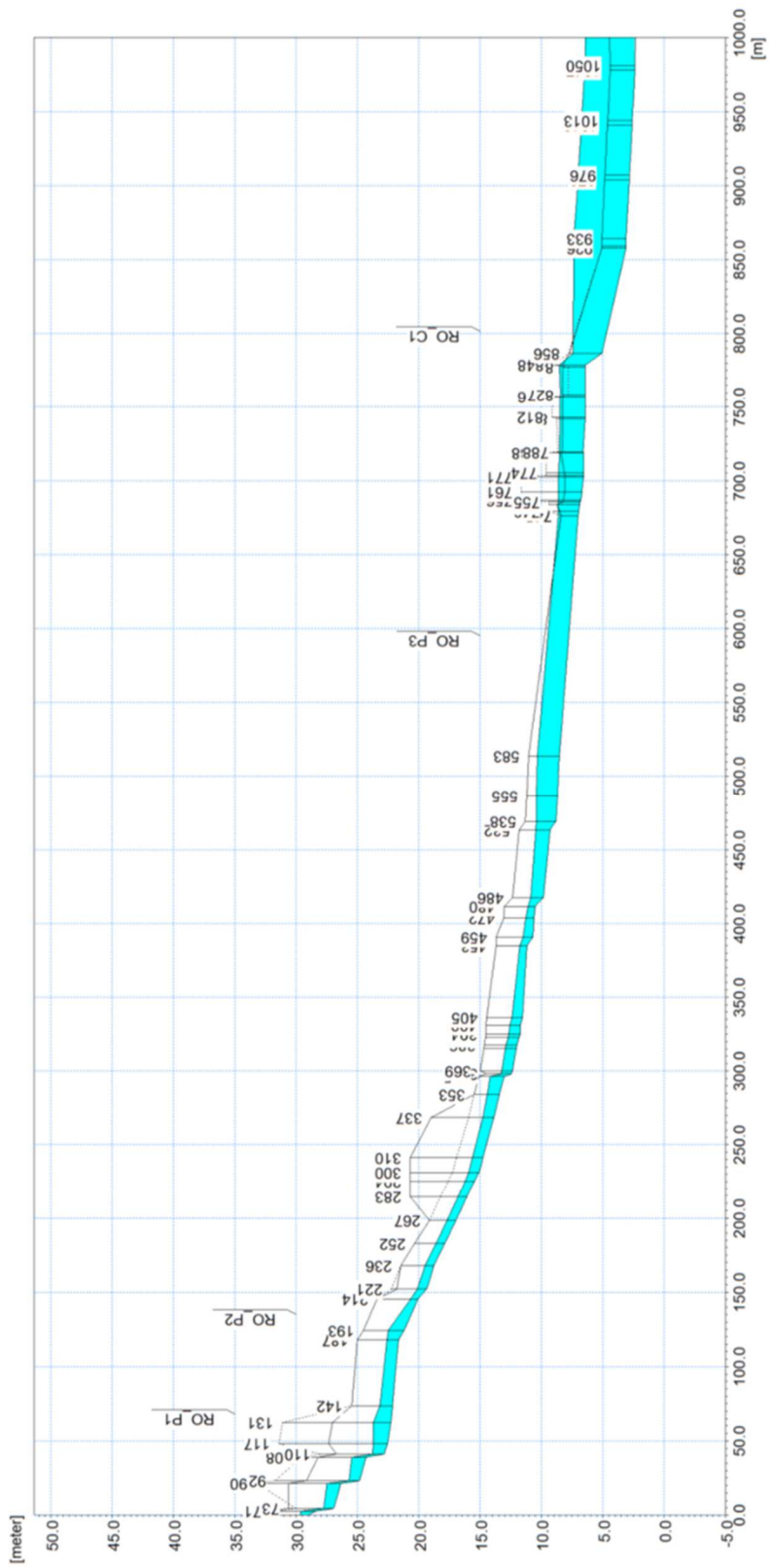


Figura 18 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del Fosso Rossano, Scenario A - TR200.

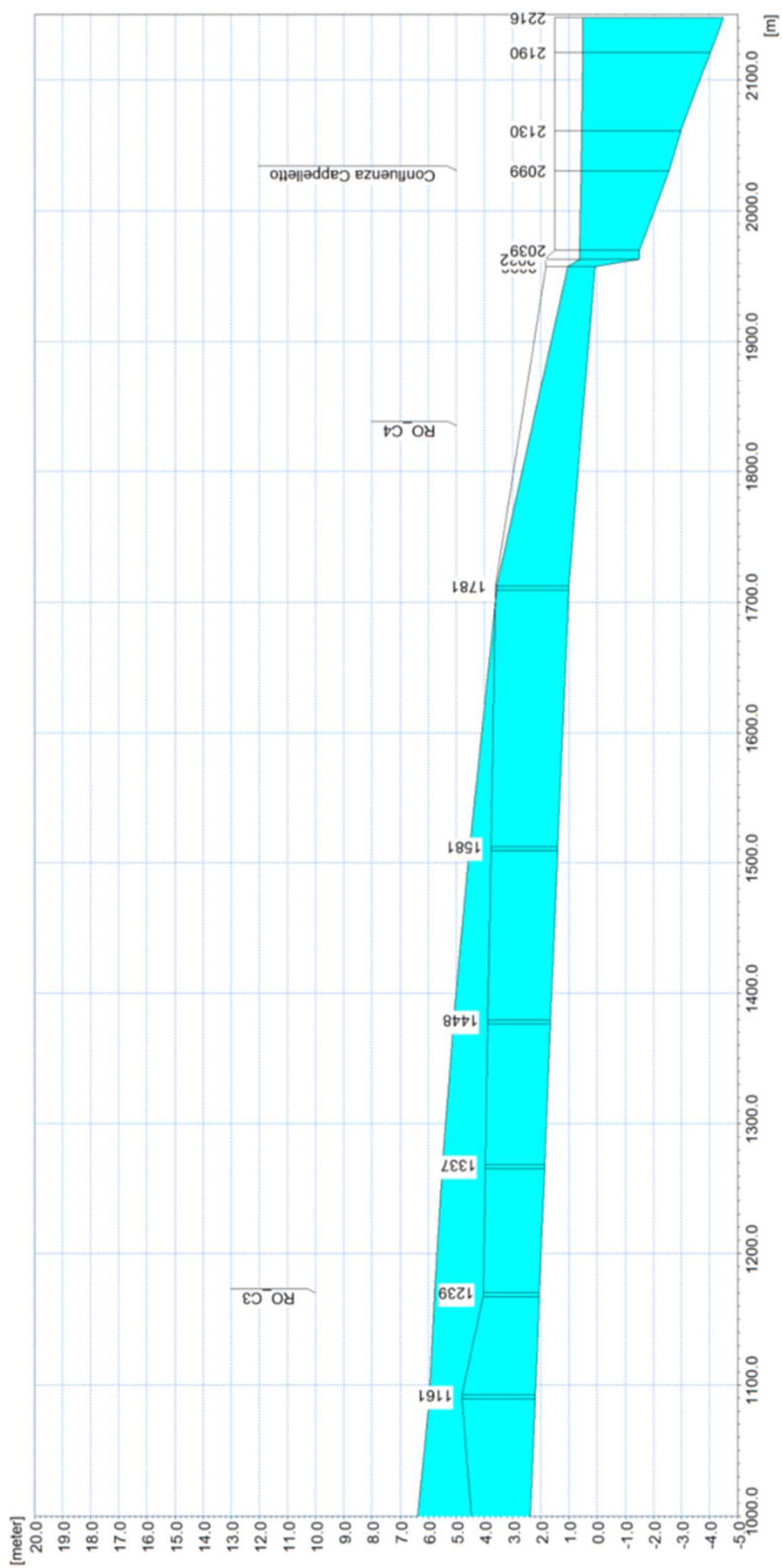


Figura 19 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Rossano, Scenario A - TR200.

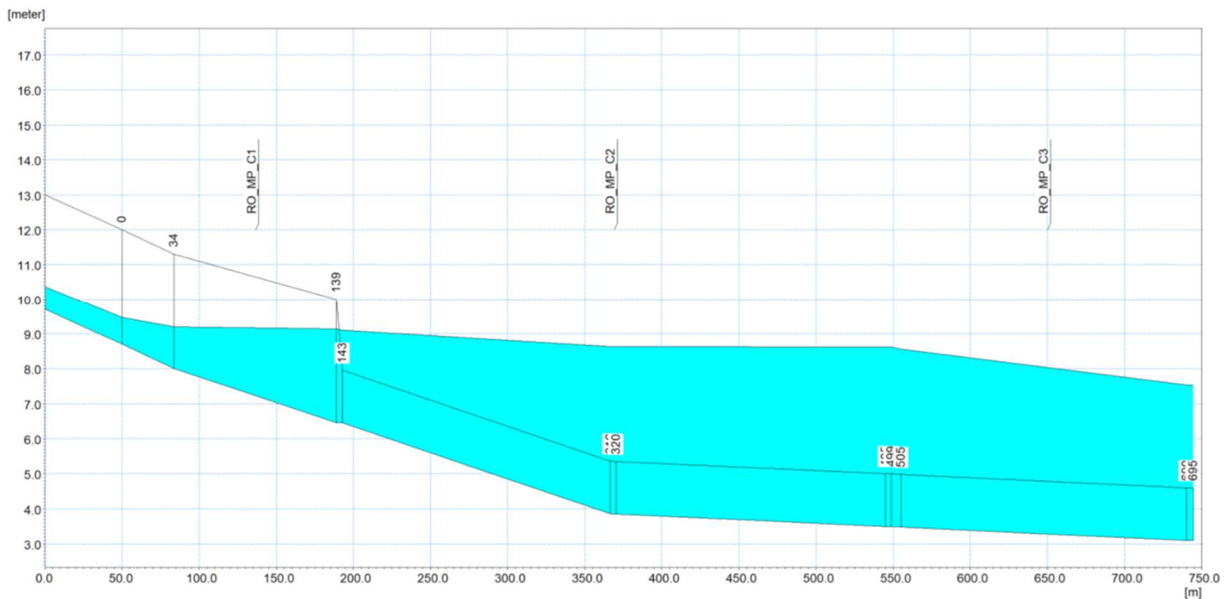


Figura 20 – Profilo longitudinale di corrente del Rio Monte Pertico, Scenario A - TR200.

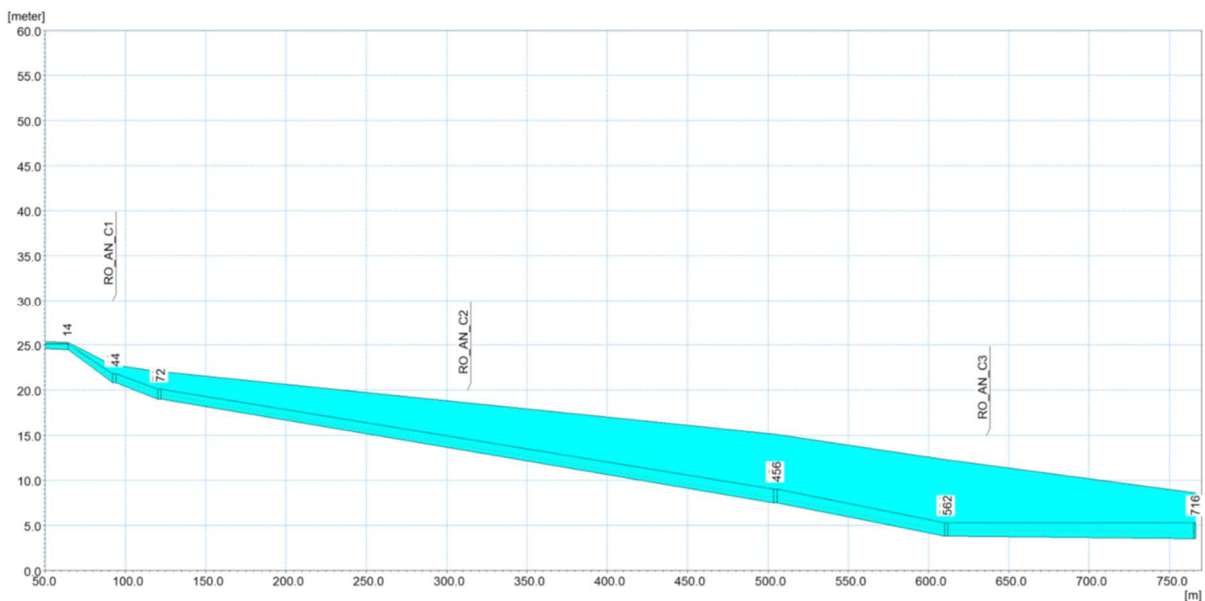


Figura 21 – Profilo longitudinale di corrente del Fosso Andreino, Scenario A - TR200.

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo sono analoghi a quelli commentati per lo scenario TR50, a meno di un limitato incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate.

In Figura 22, Figura 23 e Figura 24 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale (descritte nel capitolo 5.1.1) rispettivamente per il Fosso Rossano, il Rio Monte Pertico e il Fosso Andreino.

Anche per TR=200 anni si riscontra una portata al colmo del Fosso Rossano a monte della confluenza del Fosso Cappelletto significativamente inferiore al valore idrologico (17,1 m<sup>3</sup>/s a fronte di 28,70 m<sup>3</sup>/s) per l'effetto delle esondazioni nei tratti di monte. La portata massima alla foce è pari a 48,8 m<sup>3</sup>/s, a fronte di un valore della somma dei colmi idrologici di circa 61 m<sup>3</sup>/s.

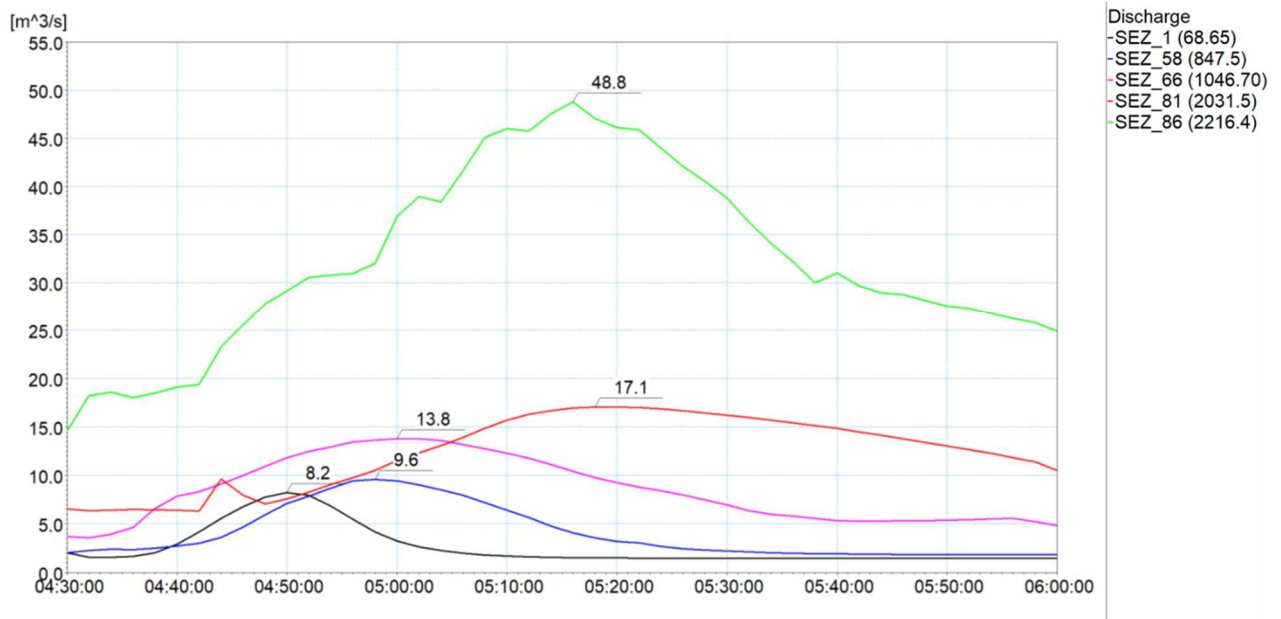


Figura 22 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Rossano - Scenario A.

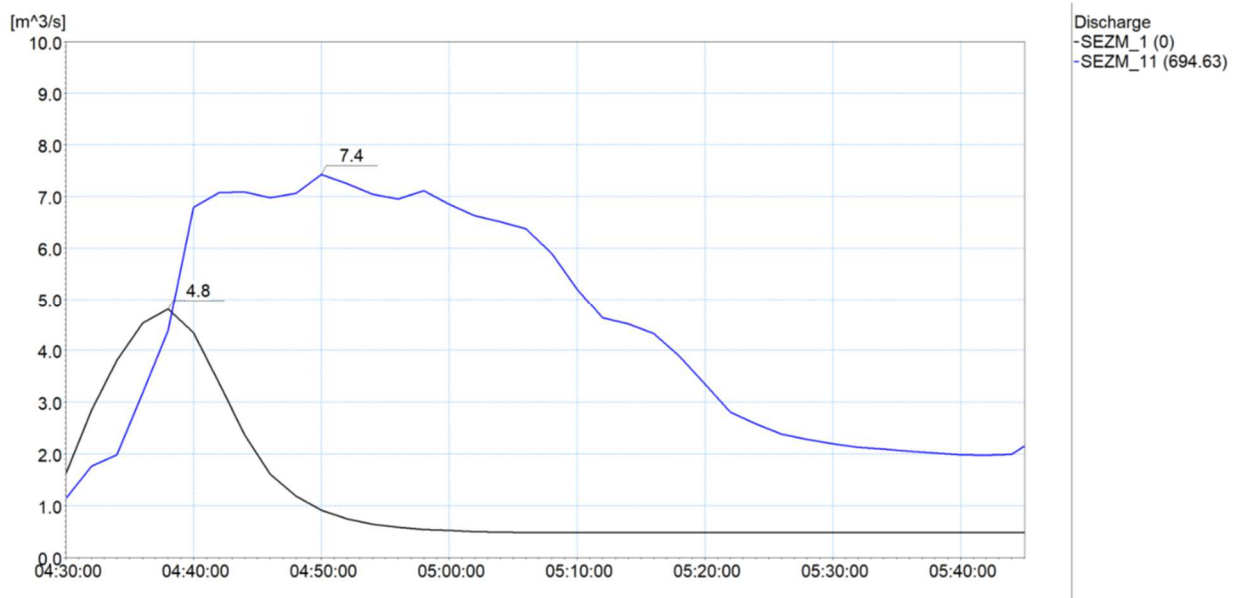


Figura 23 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Rio Monte Pertico - Scenario A.

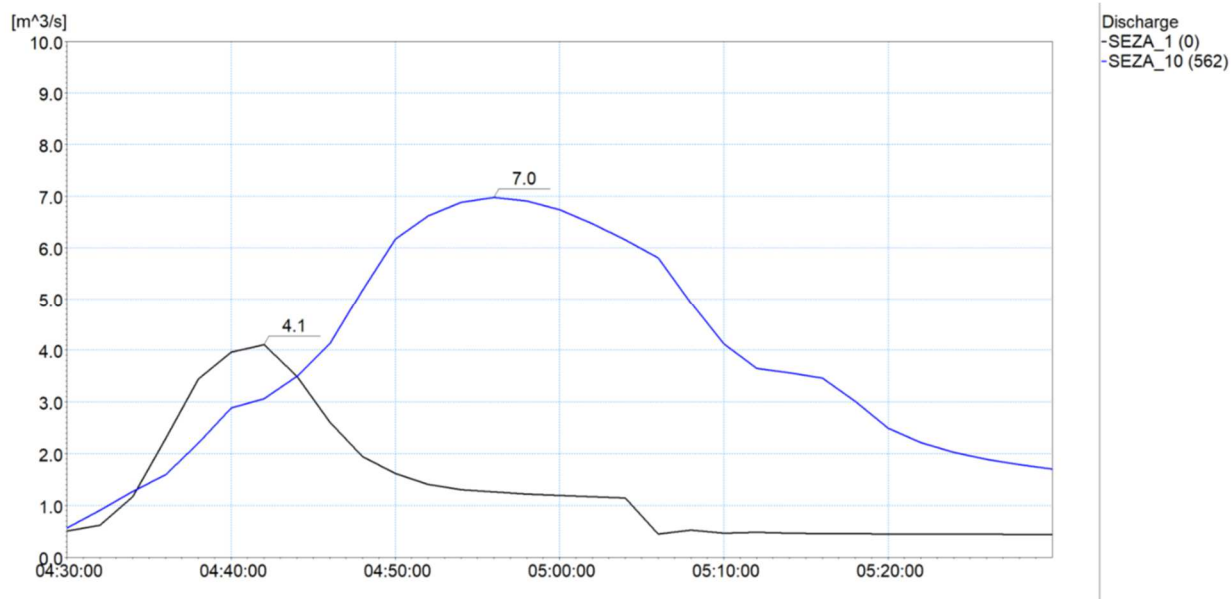


Figura 24 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Andreino - Scenario A.

Per i due affluenti i valori al colmo si discostano minimamente da quelli per TR=50 anni, in quanto circa pari alla massima capacità di portata delle tombinature.

### 5.1.3 Condizione A - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

Nella Tabella 7 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Rossano, Rio Monte Pertico e Fosso Andreino (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involuppo dei valori massimi. Nella Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_1	68,65	29,02	9,05	29,76	0,74	3,54	1,57	30,40
Rossano	SEZ_2	71,3	28,44	9,05	29,66	1,22	1,67	0,60	29,80
Rossano	SEZ_3	73,3	26,94	9,05	27,83	0,89	2,68	1,10	28,20
Rossano	SEZ_4	89,9	26,36	9,03	27,54	1,18	1,72	0,62	27,69
Rossano	SEZ_5	91,9	24,86	9,03	25,74	0,88	2,33	0,94	26,02
Rossano	SEZ_6	107,6	24,32	9,01	25,53	1,21	1,66	0,59	25,67
Rossano	SEZ_7	109,9	22,82	9,01	23,84	1,02	2,19	0,85	24,08
Rossano	SEZ_8	116,9	22,56	8,98	23,81	1,25	1,41	0,49	23,91
Rossano	SEZ_9	131	22,26	8,92	23,80	1,54	1,09	0,35	23,86
Rossano	SEZ_10	142,3	22,14	8,91	23,24	1,10	2,36	0,83	23,52
Rossano	SEZ_11	186,7	21,67	8,97	22,71	1,04	2,46	0,88	23,02

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_12	192,8	21,19	8,97	22,62	1,43	1,63	0,51	22,75
Rossano	SEZ_13	214,3	20,08	8,99	20,70	0,62	4,81	2,04	21,88
Rossano	SEZ_14	220,8	19,35	8,99	20,17	0,82	3,86	1,54	20,93
Rossano	SEZ_15	236,4	18,77	9,00	19,52	0,75	4,37	1,82	20,49
Rossano	SEZ_16	251,5	17,87	9,00	18,62	0,75	4,33	1,79	19,57
Rossano	SEZ_17	267	16,97	9,01	17,73	0,76	4,27	1,76	18,66
Rossano	SEZ_18	283	16,08	9,01	16,84	0,76	4,25	1,75	17,76
Rossano	SEZ_19	294	15,44	9,01	16,24	0,80	3,90	1,56	17,02
Rossano	SEZ_20	299,8	15,09	9,01	15,98	0,89	3,43	1,31	16,58
Rossano	SEZ_21	309,9	14,76	9,01	15,67	0,91	3,44	1,30	16,27
Rossano	SEZ_22	337,2	13,90	9,01	14,85	0,95	3,17	1,04	15,36
Rossano	SEZ_23	352,7	13,44	9,05	14,48	1,04	2,91	0,91	14,91
Rossano	SEZ_24	364,9	13,03	9,09	14,26	1,23	2,47	0,71	14,57
Rossano	SEZ_25	366,9	12,43	9,10	13,38	0,95	3,20	1,05	13,90
Rossano	SEZ_26	368,8	12,37	9,14	13,33	0,96	3,16	1,03	13,84
Rossano	SEZ_27	384,1	12,05	9,19	12,98	0,93	3,28	1,08	13,53
Rossano	SEZ_28	386,1	12,01	9,21	12,93	0,92	3,32	1,10	13,49
Rossano	SEZ_29	391,6	11,82	9,23	12,79	0,97	3,17	1,03	13,30
Rossano	SEZ_30	393,6	11,75	9,25	12,74	0,99	3,10	0,99	13,23
Rossano	SEZ_31	399,6	11,75	9,28	12,62	0,87	3,57	1,22	13,27
Rossano	SEZ_32	404,8	11,55	9,43	12,45	0,90	3,49	1,18	13,07
Rossano	SEZ_33	453,4	11,20	9,62	11,81	0,61	5,26	2,15	13,22
Rossano	SEZ_34	459,4	10,70	9,72	11,56	0,86	3,78	1,30	12,29
Rossano	SEZ_35	472,3	10,59	9,83	11,35	0,76	4,33	1,59	12,31
Rossano	SEZ_36	480	10,51	9,90	11,17	0,66	5,00	1,97	12,44
Rossano	SEZ_37	486	9,86	10,15	10,96	1,10	3,08	0,94	11,44
Rossano	SEZ_38	531,8	9,32	10,34	10,61	1,29	2,68	0,75	10,98
Rossano	SEZ_39	537,8	8,82	10,44	10,58	1,76	1,97	0,47	10,78
Rossano	SEZ_40	555,4	8,68	10,62	10,54	1,86	1,90	0,44	10,72
Rossano	SEZ_41	582,5	8,55	11,72	10,45	1,90	2,06	0,48	10,67
Rossano	SEZ_42	745	7,00	12,84	8,72	1,72	2,91	0,71	9,15
Rossano	SEZ_43	748,1	6,95	12,89	8,72	1,77	2,54	0,70	9,05
Rossano	SEZ_44	752,5	6,90	12,92	8,73	1,83	2,05	0,64	8,94
Rossano	SEZ_45	754,5	6,83	12,94	8,72	1,89	2,12	0,56	8,95
Rossano	SEZ_46	755,5	6,81	12,99	8,72	1,91	2,12	0,55	8,95
Rossano	SEZ_47	761,1	6,72	13,09	8,70	1,98	2,15	0,53	8,94
Rossano	SEZ_48	771,3	6,58	13,15	8,68	2,10	2,13	0,51	8,91
Rossano	SEZ_49	772,3	6,58	13,16	8,67	2,09	2,14	0,52	8,90
Rossano	SEZ_50	774,1	6,57	13,26	8,67	2,10	2,15	0,52	8,90
Rossano	SEZ_51	787,5	6,59	12,69	8,62	2,04	2,36	0,57	8,90



Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_52	788	6,59	12,87	8,62	2,03	2,39	0,57	8,91
Rossano	SEZ_53	810,8	6,45	13,07	8,56	2,11	2,20	0,49	8,81
Rossano	SEZ_54	811,7	6,45	13,20	8,55	2,10	2,23	0,49	8,80
Rossano	SEZ_55	826	6,44	13,33	8,52	2,08	2,16	0,48	8,76
Rossano	SEZ_56	827	6,44	13,50	8,51	2,07	2,20	0,49	8,76
Rossano	SEZ_57	846	6,43	10,50	8,59	2,16	1,62	0,35	8,72
Rossano	SEZ_58	847,5	6,43	10,16	8,60	2,17	1,56	0,34	8,72
Rossano	SEZ_59	855,5	5,07	9,90	7,58	2,51	1,32	0,27	7,67
Rossano	SEZ_60	926,35	3,10	9,03	7,54	4,44	0,38	0,06	7,55
Rossano	SEZ_61	932,8	3,10	15,31	7,53	4,43	0,64	0,10	7,55
Rossano	SEZ_62	972,8	2,84	14,93	7,12	4,28	0,65	0,10	7,14
Rossano	SEZ_63	975,8	2,82	15,13	7,12	4,29	0,65	0,10	7,14
Rossano	SEZ_64	1009,6	2,62	14,96	6,82	4,21	0,66	0,10	6,84
Rossano	SEZ_65	1012,6	2,60	15,15	6,82	4,23	0,66	0,10	6,84
Rossano	SEZ_66	1046,7	2,40	13,92	6,53	4,13	0,62	0,10	6,55
Rossano	SEZ_67	1049,7	2,40	14,34	6,52	4,12	0,70	0,11	6,54
Rossano	SEZ_68	1157,8	2,20	13,11	6,02	3,82	0,69	0,11	6,04
Rossano	SEZ_69	1160,8	2,20	13,33	6,02	3,82	0,63	0,10	6,04
Rossano	SEZ_70	1235,9	2,05	12,72	5,84	3,79	0,61	0,10	5,86
Rossano	SEZ_71	1238,9	2,05	13,01	5,84	3,79	0,62	0,10	5,86
Rossano	SEZ_72	1334	1,86	12,33	5,59	3,73	0,60	0,10	5,61
Rossano	SEZ_73	1337	1,86	12,81	5,59	3,73	0,62	0,10	5,61
Rossano	SEZ_74	1445	1,66	12,20	5,19	3,53	0,63	0,11	5,21
Rossano	SEZ_75	1448	1,66	12,96	5,18	3,53	0,67	0,11	5,20
Rossano	SEZ_76	1578	1,40	12,53	4,64	3,24	0,70	0,12	4,67
Rossano	SEZ_77	1581	1,40	13,96	4,62	3,23	0,78	0,14	4,65
Rossano	SEZ_78	1778	1,00	13,57	3,71	2,71	0,63	0,12	3,73
Rossano	SEZ_79	1781,1	1,00	15,94	3,70	2,70	0,74	0,14	3,73
Rossano	SEZ_80	2026	0,07	17,96	1,09	1,02	2,46	0,78	1,40
Rossano	SEZ_81	2031,5	-1,50	18,04	0,53	2,03	1,12	0,24	0,59
Rossano	SEZ_82	2038,5	-1,50	18,75	0,51	2,01	1,19	0,25	0,58
Rossano	SEZ_83	2099,3	-2,57	20,45	0,62	3,19	0,83	0,14	0,66
Rossano	SEZ_84	2129,9	-2,98	21,37	0,53	3,51	0,77	0,12	0,56
Rossano	SEZ_85	2189,9	-4,03	50,08	0,50	4,53	1,39	0,20	0,60
Rossano	SEZ_86	2216,4	-4,50	51,33	0,50	5,00	1,29	0,17	0,59
Andreino	SEZA_1	0	24,60	4,46	25,35	0,75	1,97	0,73	25,55
Andreino	SEZA_2	14,22	24,50	3,23	25,32	0,82	1,31	0,46	25,41
Andreino	SEZA_3	42,08	20,80	0,89	22,77	1,97	0,88	0,28	22,81
Andreino	SEZA_4	44,08	20,80	1,21	22,69	1,89	1,20	0,38	22,76
Andreino	SEZA_5	70,11	19,00	1,8	22,07	3,07	1,46	0,44	22,18



Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Andreino	SEZA_6	72,11	19,00	6,05	22,08	3,08	4,92	1,49	23,31
Andreino	SEZA_7	453,67	7,50	7,4	16,30	8,8	3,14	0,80	16,80
Andreino	SEZA_8	455,67	7,50	7,4	16,28	8,78	3,14	0,80	16,78
Andreino	SEZA_9	560	3,79	7,39	13,06	9,27	3,12	0,79	13,56
Andreino	SEZA_10	562	3,79	7,39	13,04	9,25	3,12	0,79	13,54
Andreino	SEZA_11	715	3,49	7,36	8,91	5,42	2,68	0,63	9,28
Andreino	SEZA_12	716,3	3,49	7,36	8,90	5,41	2,68	0,63	9,27
Monte Pertico	SEZM_1	0	8,70	5,25	9,56	0,86	2,03	0,70	9,77
Monte Pertico	SEZM_2	33,64	8,00	5,1	9,37	1,37	1,24	0,34	9,45
Monte Pertico	SEZM_3	139,02	6,45	4,65	9,32	2,87	0,64	0,11	9,34
Monte Pertico	SEZM_4	143,02	6,45	4,64	9,29	2,84	2,04	0,53	9,50
Monte Pertico	SEZM_5	316,41	3,86	4,64	8,92	5,06	2,02	0,52	9,13
Monte Pertico	SEZM_6	320,41	3,85	4,63	8,92	5,07	2,01	0,52	9,13
Monte Pertico	SEZM_7	495,21	3,50	4,61	8,90	5,4	2,00	0,51	9,10
Monte Pertico	SEZM_8	498,6	3,50	4,61	8,90	5,4	2,00	0,51	9,10
Monte Pertico	SEZM_9	505,24	3,48	7,68	8,83	5,35	1,66	0,43	8,97
Monte Pertico	SEZM_10	690	3,10	7,66	7,58	4,48	1,67	0,43	7,72
Monte Pertico	SEZM_11	694,63	3,10	7,66	7,54	4,44	1,67	0,43	7,68

**Tabella 7 – Risultati di sintesi della simulazione Scenario A - TR500.**

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo sono analoghi a quelli commentati per lo scenario TR50, a meno di un incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate.

In Figura 29, Figura 30 e Figura 31 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale rispettivamente per il Fosso Rossano, il Rio Monte Pertico e il Fosso Andreino.

Anche per TR=500 anni si riscontra una portata al colmo del Fosso Rossano a monte della confluenza del Fosso Cappelletto significativamente inferiore al valore idrologico (18,0 m<sup>3</sup>/s a fronte di circa 32,1 m<sup>3</sup>/s) per l'effetto delle esondazioni nei tratti di monte. La portata massima alla foce è pari a 51,3 m<sup>3</sup>/s, a fronte di un valore della somma dei colmi idrologici di circa 68 m<sup>3</sup>/s.

Per i due affluenti i valori al colmo si discostano minimamente da quelli per TR=50 anni, in quanto circa pari alla massima capacità di portata delle tombinate.

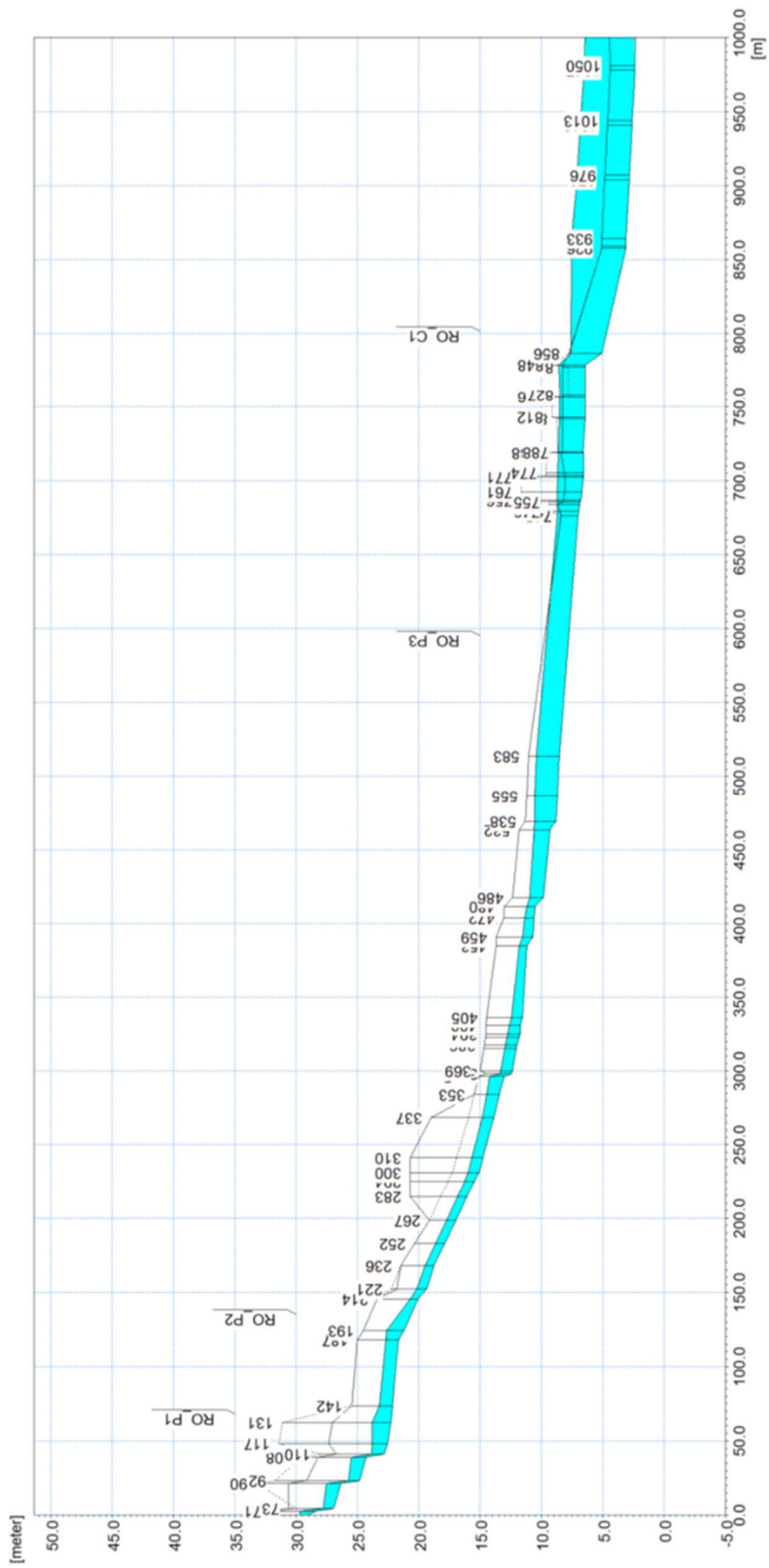


Figura 25 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del Fosso Rossano, Scenario A - TR500.

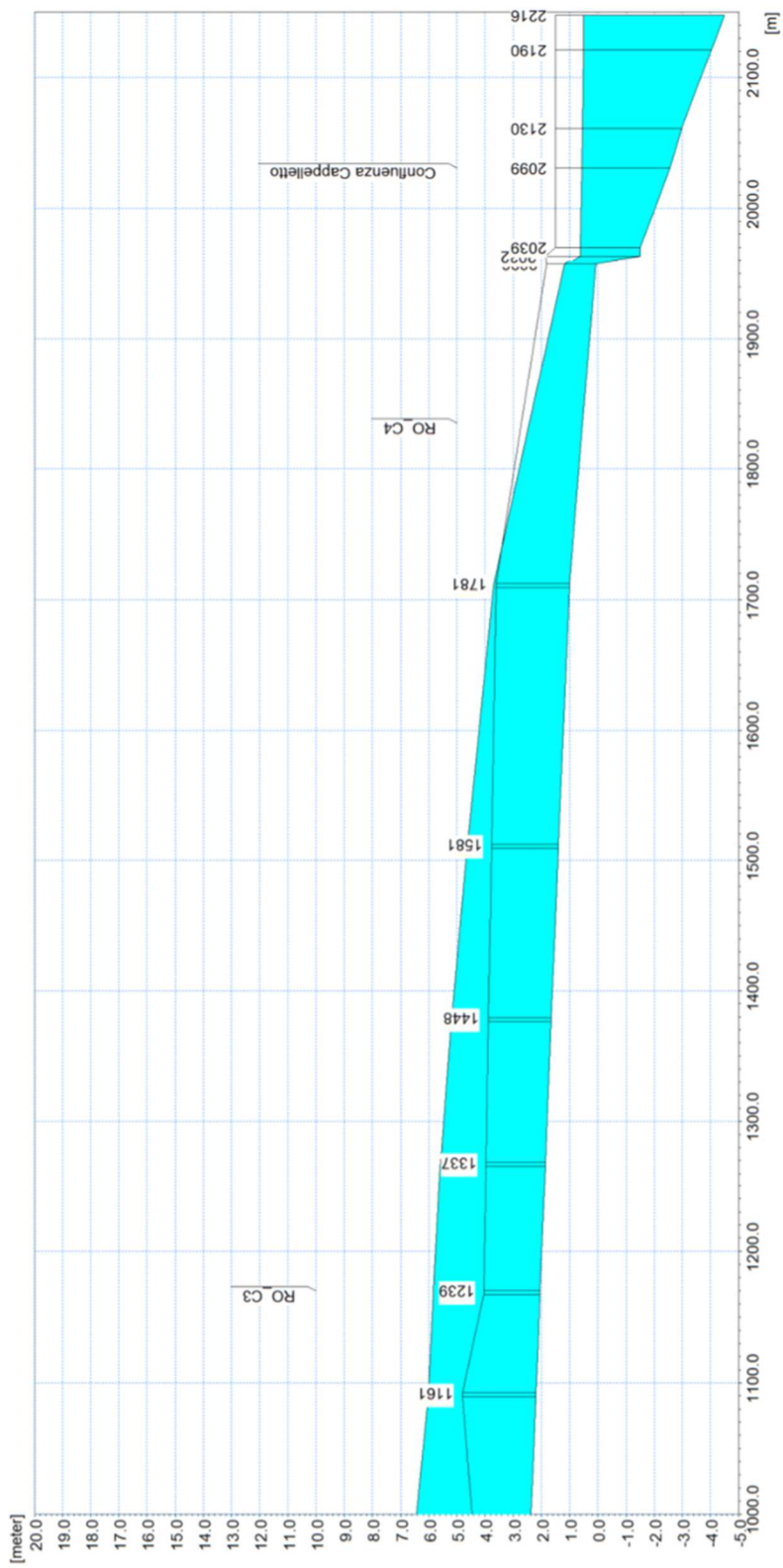


Figura 26 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Rossano, Scenario A - TR500.

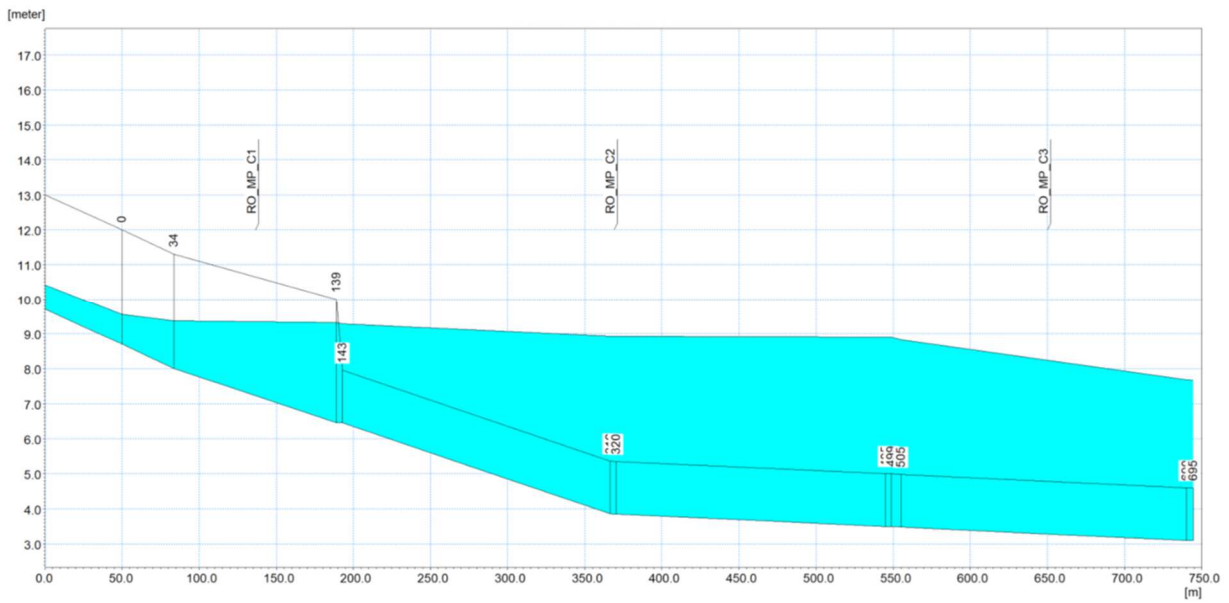


Figura 27 – Profilo longitudinale di corrente del Rio Monte Pertico, Scenario A - TR500.

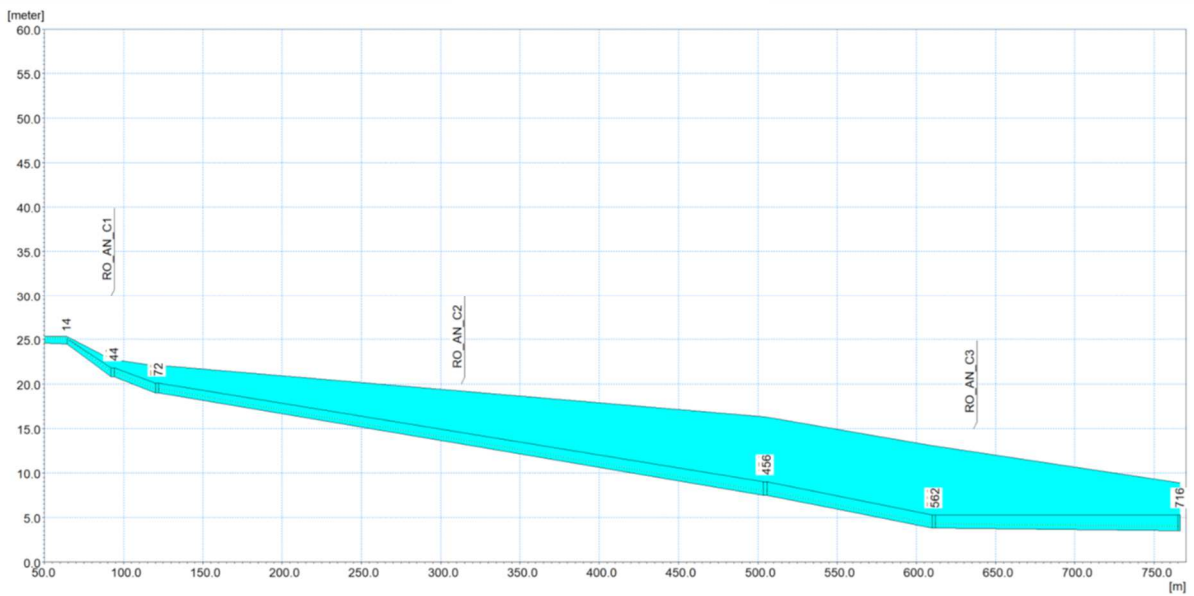


Figura 28 – Profilo longitudinale di corrente del Fosso Andreino, Scenario A - TR500.

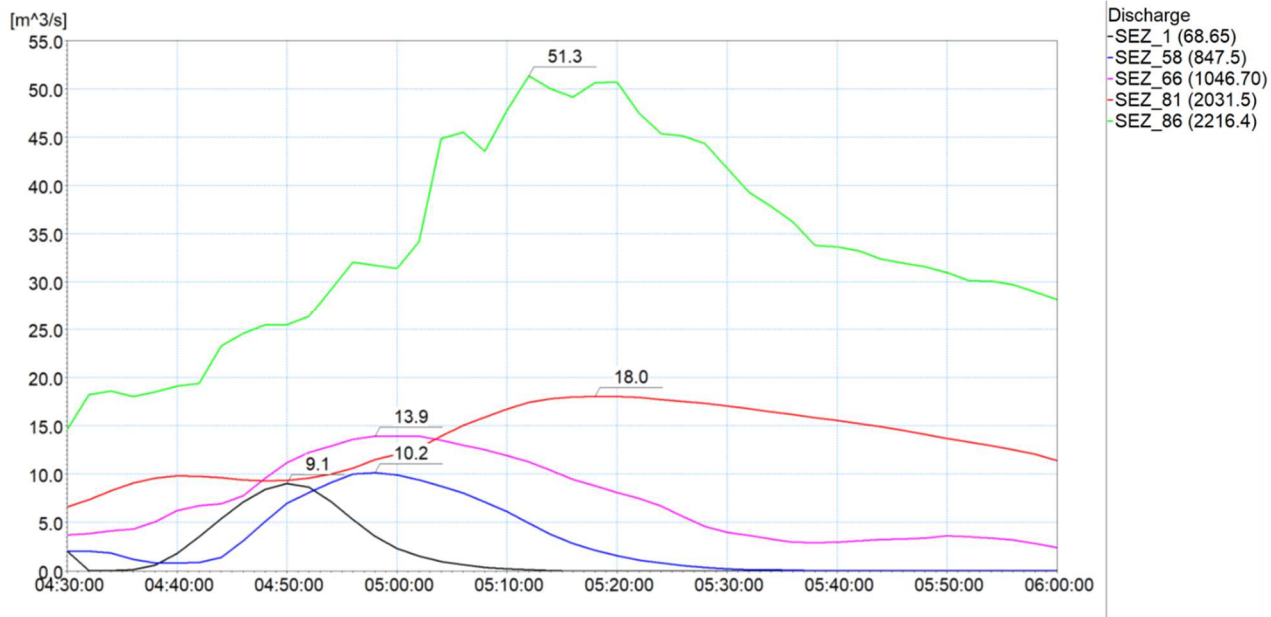


Figura 29 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Rossano, Scenario A - TR500.

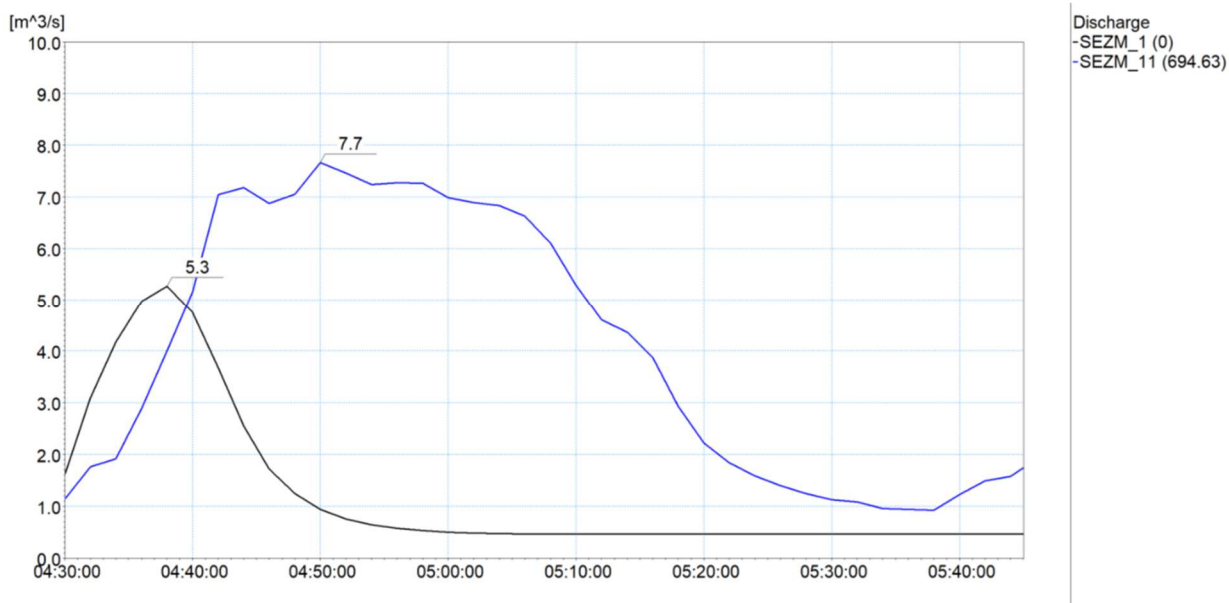
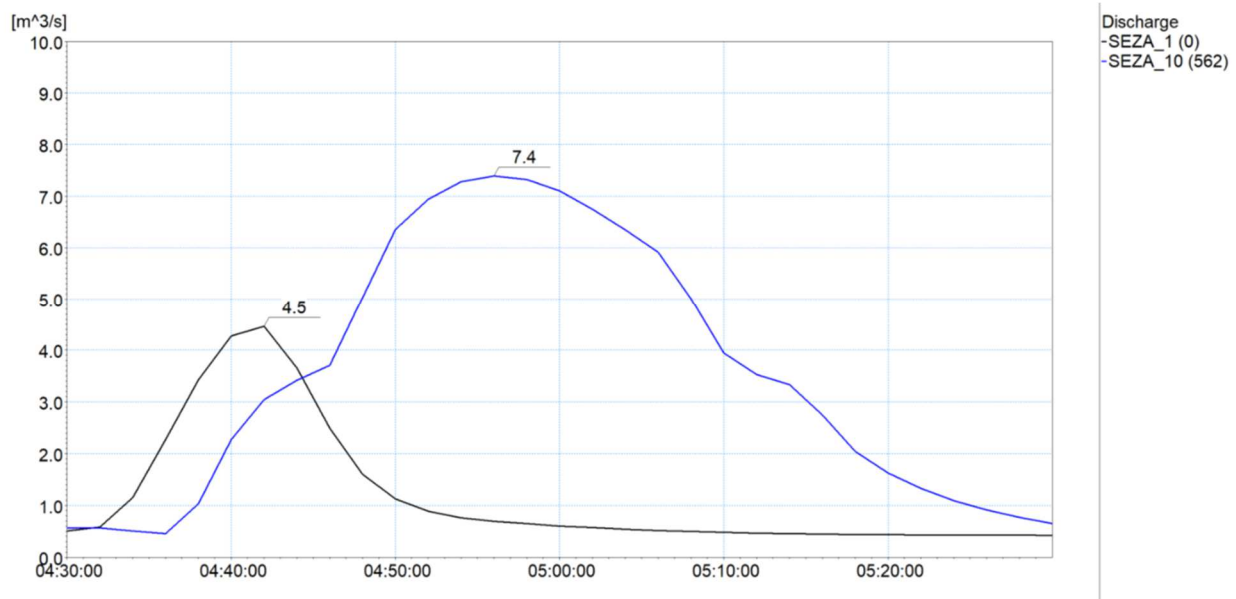


Figura 30 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Rio Monte Pertico, Scenario A - TR500.





**Figura 31 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Andreino, Scenario A - TR500.**

#### 5.1.4 Condizione B - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

Nella Tabella 8 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Rossano (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come involucro dei valori massimi. Nella Figura 32 è rappresentato graficamente il profilo di corrente del medesimo scenario.

I risultati sono forniti unicamente per il tratto a valle dell'immissione di portata (idrogramma idrologico che trascura gli effetti di esondazione nei rami di monte).

Dall'analisi dei risultati ottenuti dal modello monodimensionale si evince quanto segue per il Fosso Rossano.

- A partire dall'imbocco della tombinatura (SEZ\_61) e fin poco più a valle dell'intersezione del Fosso con viale Italia (SEZ\_71) si manifesta un deflusso in pressione al transito del colmo di piena. Le altezze piezometriche sono tali per cui si verifica fuoriuscita di portata sul piano viabile nei pozzetti che si trovano a monte dell'intersezione tra via Giuliani e via Foscolo (SEZ\_71).
- A partire dalla sezione SEZ\_71 e fino allo sbocco a mare in area portuale (SEZ\_86) il tratto tombato (interessato dalla sistemazione in progetto che comprende il conferimento delle portate del Fosso Cappelletto) presenta un funzionamento a pelo libero con adeguato franco.

La presenza di una maggior portata in questo tratto (23,6 m³/s anziché 14,1 m³/s nella SEZ\_61), che già mostrava un funzionamento in pressione nella condizione A, incrementa in modo rilevante i carichi piezometrici (superiori al piano stradale), aumentando l'entità delle esondazioni e risultando in definitiva in una minor portata alla confluenza con il Fosso Cappelletto (circa 12,5 m³/s anziché quasi 18,1 m³/s nella SEZ\_84).

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_61	932,8	3,10	23,58	9,08	5,98	0,73	0,10	9,11
Rossano	SEZ_62	972,8	2,84	23,56	7,95	5,11	0,85	0,12	7,99
Rossano	SEZ_63	975,8	2,82	23,55	7,95	5,13	0,85	0,12	7,99
Rossano	SEZ_64	1009,6	2,62	19,83	7,18	4,57	0,80	0,12	7,21
Rossano	SEZ_65	1012,6	2,60	19,50	7,18	4,59	0,79	0,12	7,21
Rossano	SEZ_66	1046,7	2,40	16,30	6,66	4,26	0,71	0,11	6,69
Rossano	SEZ_67	1049,7	2,40	16,23	6,66	4,26	0,76	0,12	6,69
Rossano	SEZ_68	1157,8	2,20	14,62	5,88	3,68	0,79	0,13	5,91
Rossano	SEZ_69	1160,8	2,20	14,57	5,88	3,68	0,72	0,12	5,91
Rossano	SEZ_70	1235,9	2,05	13,75	5,52	3,47	0,72	0,12	5,55
Rossano	SEZ_71	1238,9	2,05	13,72	5,52	3,47	0,72	0,12	5,55
Rossano	SEZ_72	1334	1,86	13,12	5,03	3,16	0,75	0,14	5,06
Rossano	SEZ_73	1337	1,86	13,10	5,03	3,17	0,75	0,13	5,06
Rossano	SEZ_74	1445	1,66	12,72	4,48	2,81	0,82	0,16	4,51
Rossano	SEZ_75	1448	1,66	12,72	4,48	2,82	0,82	0,16	4,51
Rossano	SEZ_76	1578	1,40	12,65	3,83	2,43	0,95	0,19	3,88
Rossano	SEZ_77	1581	1,40	12,65	3,83	2,43	0,94	0,19	3,87
Rossano	SEZ_78	1778	1,00	12,58	2,80	1,79	0,88	0,21	2,84
Rossano	SEZ_79	1781,1	1,00	12,57	2,80	1,80	0,87	0,21	2,84
Rossano	SEZ_80	2026	0,07	12,56	0,87	0,80	2,18	0,78	1,11
Rossano	SEZ_81	2031,5	-1,50	12,51	0,48	1,98	0,79	0,17	0,51
Rossano	SEZ_82	2038,5	-1,50	12,52	0,48	1,98	0,80	0,17	0,51
Rossano	SEZ_83	2099,3	-2,57	12,52	0,49	3,06	0,52	0,09	0,50
Rossano	SEZ_84	2129,9	-2,98	12,50	0,48	3,46	0,46	0,07	0,49
Rossano	SEZ_85	2189,9	-4,03	33,24	0,50	4,53	0,92	0,13	0,54
Rossano	SEZ_86	2216,4	-4,50	33,23	0,50	5,00	0,84	0,11	0,54

**Tabella 8 – Risultati di sintesi per lo Scenario B, TR50.**

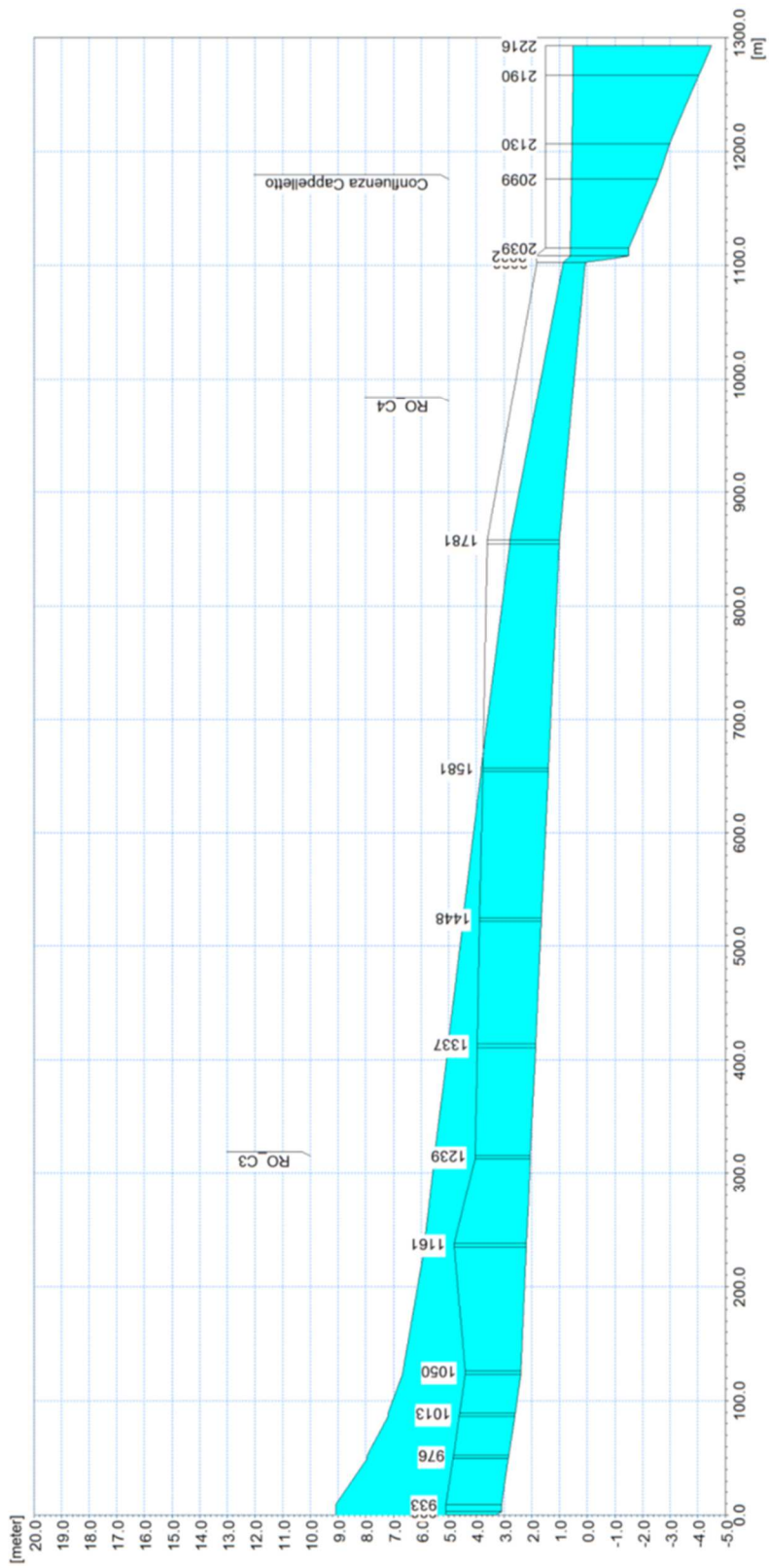


Figura 32 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Rossano, Scenario B, TR50.

Nella Figura 33 sono rappresentati gli idrogrammi osservati nella sezione di input di portata (SEZ\_61 a valle della confluenza del Rio Monte Pertico) e nella SEZ\_66 posta circa 100 m più a valle (presso l'incrocio via Lunigiana – via Ferrara). Si può notare come il valore del picco di piena diminuisca da 23,6 m<sup>3</sup>/s a 16,3 m<sup>3</sup>/s, con rilevante fuoriuscita di portata e volume idrico.

Rispetto allo Scenario A –TR50 si ha inizialmente una situazione più gravosa in termini di portata transitante nel primo tratto tombato (in SEZ\_61 valore al picco di 14,12 m<sup>3</sup>/s per lo Scenario A–TR50). Le più rilevanti fuoriuscite dai tombini stradali e l'assenza del contributo di portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto a valle provocano invece, come già detto, un minore valore al colmo alla confluenza con il Fosso Cappelletto.

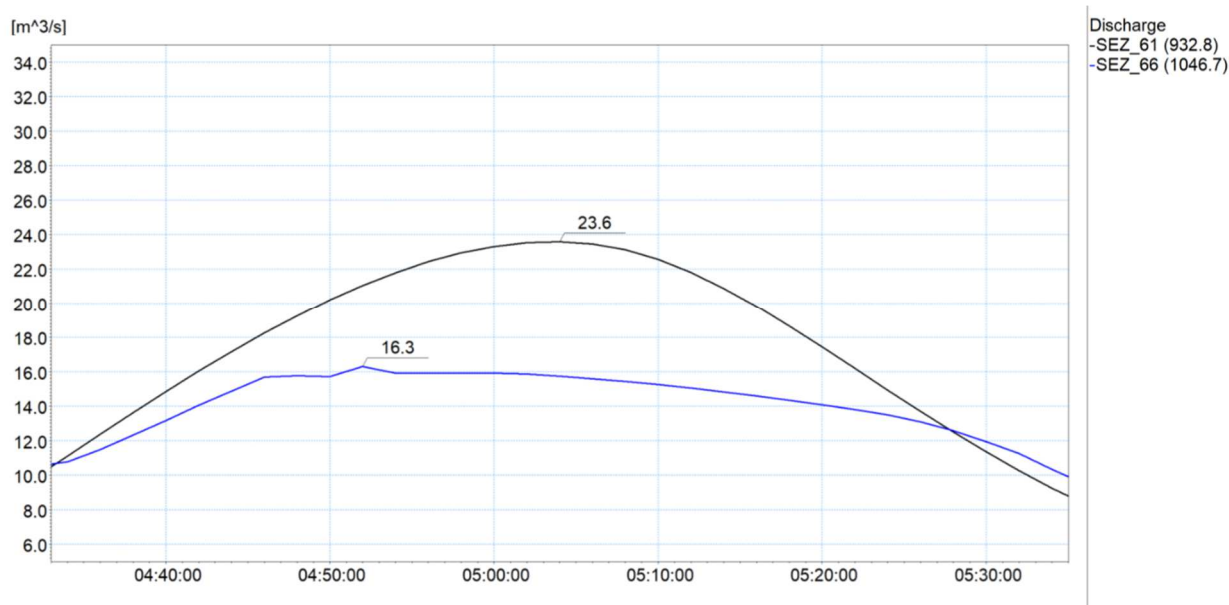


Figura 33 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale: Fosso Rossano - Scenario B – TR50.

### 5.1.5 Condizione B - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

Nella Tabella 9 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Rossano (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come involuppo dei valori massimi. Nella Figura 34 è rappresentato graficamente il profilo di corrente del medesimo scenario.

I risultati sono forniti unicamente per il tratto a valle dell'immissione di portata (idrogramma idrologico che trascura gli effetti di esondazione nei rami di monte).

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_61	932,8	3,10	28,67	10,31	7,21	0,74	0,09	10,34
Rossano	SEZ_62	972,8	2,84	28,66	8,60	5,75	0,92	0,12	8,64
Rossano	SEZ_63	975,8	2,82	28,66	8,60	5,77	0,92	0,12	8,64
Rossano	SEZ_64	1009,6	2,62	22,07	7,43	4,82	0,85	0,12	7,47
Rossano	SEZ_65	1012,6	2,60	21,49	7,44	4,84	0,82	0,12	7,47
Rossano	SEZ_66	1046,7	2,40	17,54	6,80	4,40	0,74	0,11	6,83
Rossano	SEZ_67	1049,7	2,40	17,48	6,80	4,40	0,79	0,12	6,83
Rossano	SEZ_68	1157,8	2,20	15,60	5,97	3,77	0,83	0,14	6,00
Rossano	SEZ_69	1160,8	2,20	15,54	5,97	3,77	0,75	0,12	6,00
Rossano	SEZ_70	1235,9	2,05	14,80	5,61	3,56	0,76	0,13	5,64
Rossano	SEZ_71	1238,9	2,05	14,76	5,61	3,56	0,75	0,13	5,64
Rossano	SEZ_72	1334	1,86	13,34	5,09	3,22	0,75	0,13	5,12
Rossano	SEZ_73	1337	1,86	13,32	5,09	3,23	0,75	0,13	5,12
Rossano	SEZ_74	1445	1,66	12,79	4,51	2,85	0,82	0,15	4,54
Rossano	SEZ_75	1448	1,66	12,79	4,51	2,85	0,81	0,15	4,54
Rossano	SEZ_76	1578	1,40	12,70	3,85	2,44	0,94	0,19	3,90
Rossano	SEZ_77	1581	1,40	12,70	3,85	2,45	0,94	0,19	3,89
Rossano	SEZ_78	1778	1,00	12,62	2,81	1,80	0,88	0,21	2,85
Rossano	SEZ_79	1781,1	1,00	12,62	2,81	1,81	0,87	0,21	2,85
Rossano	SEZ_80	2026	0,07	12,60	0,87	0,80	3,00	1,25	1,33
Rossano	SEZ_81	2031,5	-1,50	12,54	0,48	1,98	0,79	0,17	0,51
Rossano	SEZ_82	2038,5	-1,50	12,52	0,48	1,98	0,80	0,17	0,51
Rossano	SEZ_83	2099,3	-2,57	12,76	0,48	3,05	0,53	0,09	0,49
Rossano	SEZ_84	2129,9	-2,98	12,88	0,49	3,47	0,47	0,08	0,50
Rossano	SEZ_85	2189,9	-4,03	33,49	0,51	4,54	0,93	0,13	0,55
Rossano	SEZ_86	2216,4	-4,50	33,30	0,50	5,00	0,84	0,11	0,54

**Tabella 9 – Risultati di sintesi per lo Scenario B - TR200.**

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo sono analoghi a quelli commentati per lo scenario TR50, a meno di un incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate.

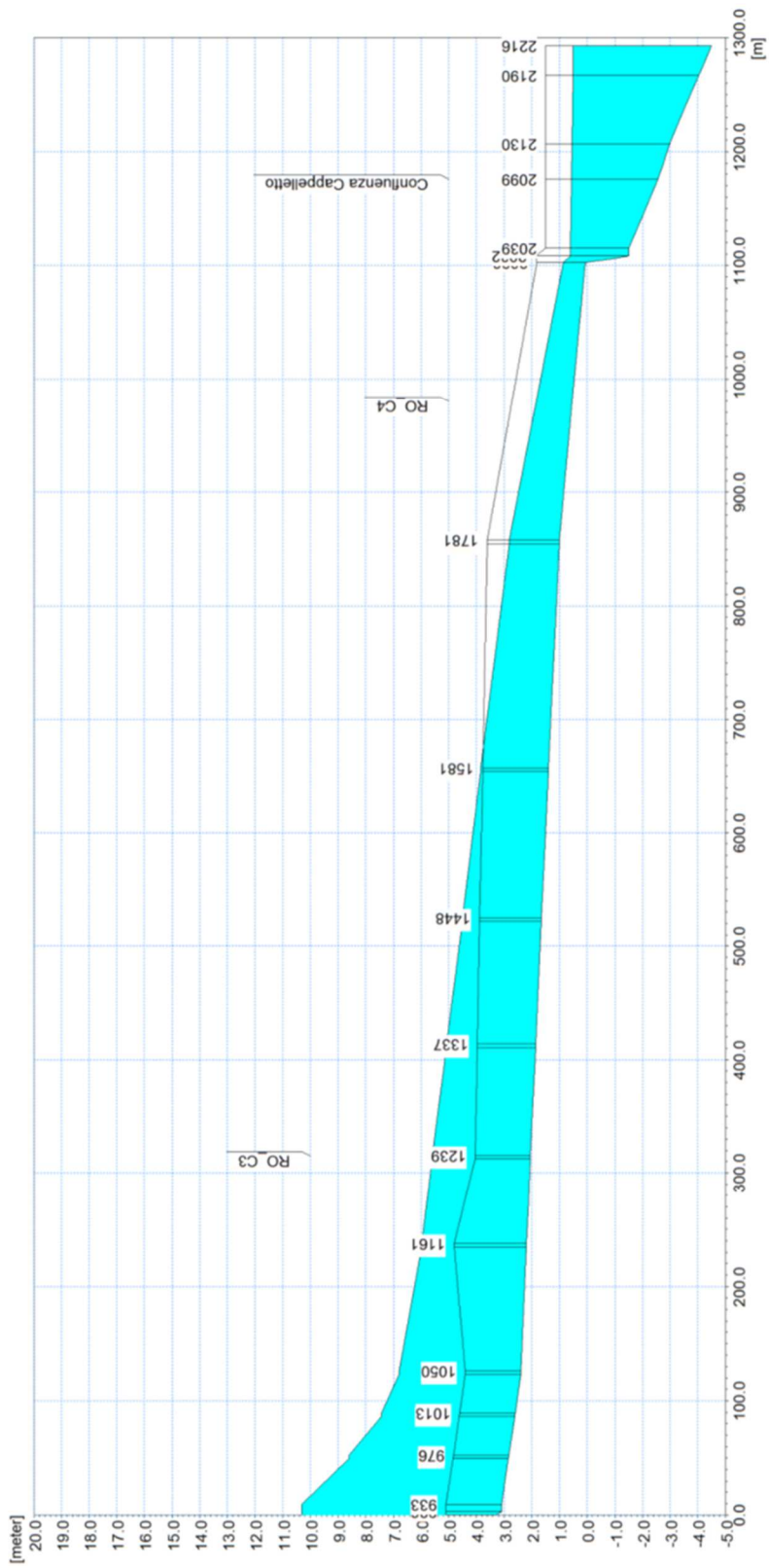
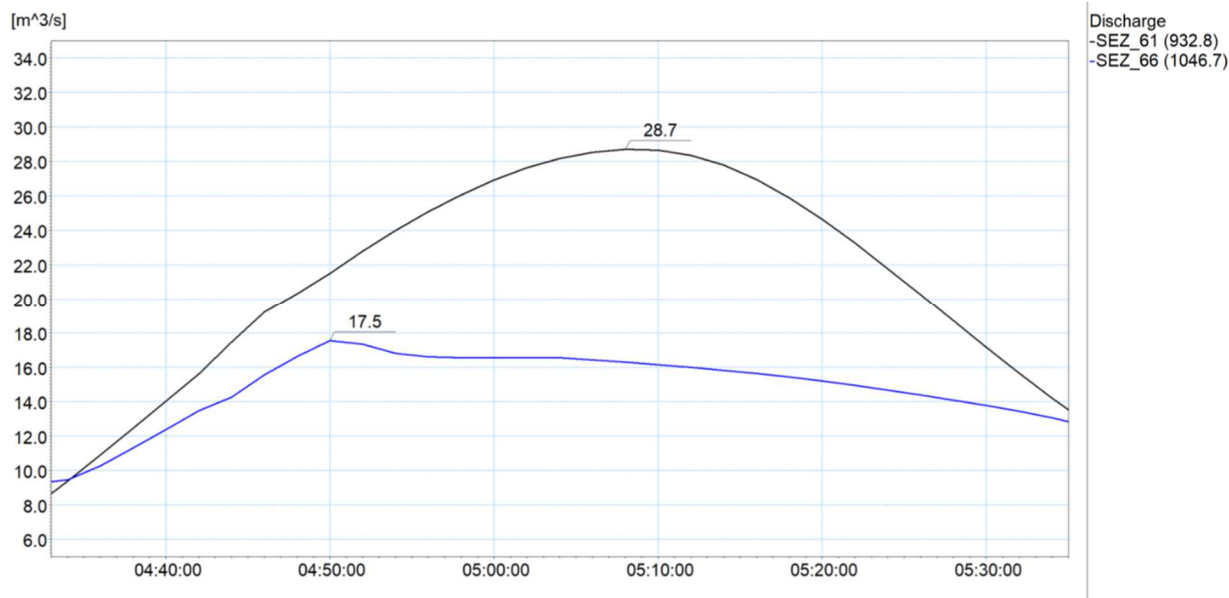


Figura 34 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Rossano, Scenario B - TR200.



In Figura 35 sono rappresentati gli idrogrammi nella sezione di input di portata (SEZ\_61 a valle della confluenza del Rio Monte Pertico) e nella SEZ\_66 posta circa 100 m più a valle (presso l'incrocio via Lunigiana – via Ferrara).



**Figura 35 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Fosso Rossano (condizione B).**

In questo caso il valore del picco di piena diminuisce dal valore di 28,7 m³/s (SEZ\_61) al valore di 17,5 m³/s (SEZ\_66). Valgono le stesse considerazioni già esposte per lo scenario TR50: rispetto alla condizione A la portata è inizialmente superiore (in SEZ\_61 valore al picco di 14,95 m³/s per lo Scenario A-TR200); le più rilevanti fuoriuscite dai pozzetti di ispezione e l'assenza del contributo di portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto a valle provocano invece un minore valore al colmo alla confluenza con il Fosso Cappelletto.

#### 5.1.6 Condizione B - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

Nella Tabella 10 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involuppo dei valori massimi. Nella Figura 36 è rappresentato graficamente il profilo di corrente del medesimo scenario.

I risultati sono forniti unicamente per il tratto a valle dell'immissione di portata (idrogramma idrologico che trascura gli effetti di esondazione nei rami di monte).

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Rossano	SEZ_61	932,8	3,10	32,02	11,21	8,11	0,73	0,08	11,24
Rossano	SEZ_62	972,8	2,84	32,01	9,05	6,20	0,96	0,12	9,10
Rossano	SEZ_63	975,8	2,82	32,01	9,05	6,22	0,95	0,12	9,10
Rossano	SEZ_64	1009,6	2,62	23,46	7,59	4,97	0,87	0,13	7,63
Rossano	SEZ_65	1012,6	2,60	22,71	7,59	4,99	0,84	0,12	7,63
Rossano	SEZ_66	1046,7	2,40	18,64	6,88	4,48	0,77	0,12	6,91
Rossano	SEZ_67	1049,7	2,40	18,55	6,88	4,48	0,83	0,13	6,92
Rossano	SEZ_68	1157,8	2,20	16,17	6,02	3,82	0,85	0,14	6,06
Rossano	SEZ_69	1160,8	2,20	16,10	6,02	3,82	0,77	0,13	6,05
Rossano	SEZ_70	1235,9	2,05	14,96	5,66	3,61	0,75	0,13	5,69
Rossano	SEZ_71	1238,9	2,05	14,91	5,66	3,61	0,75	0,13	5,69
Rossano	SEZ_72	1334	1,86	13,60	5,15	3,29	0,75	0,13	5,18
Rossano	SEZ_73	1337	1,86	13,57	5,15	3,30	0,75	0,13	5,18
Rossano	SEZ_74	1445	1,66	12,91	4,57	2,90	0,81	0,15	4,60
Rossano	SEZ_75	1448	1,66	12,91	4,57	2,91	0,81	0,15	4,60
Rossano	SEZ_76	1578	1,40	12,81	3,89	2,49	0,94	0,19	3,93
Rossano	SEZ_77	1581	1,40	12,81	3,89	2,49	0,93	0,19	3,93
Rossano	SEZ_78	1778	1,00	12,73	2,84	1,83	0,87	0,21	2,88
Rossano	SEZ_79	1781,1	1,00	12,73	2,84	1,84	0,87	0,20	2,88
Rossano	SEZ_80	2026	0,07	12,72	0,88	0,81	2,96	1,22	1,33
Rossano	SEZ_81	2031,5	-1,50	12,59	0,48	1,98	0,80	0,17	0,51
Rossano	SEZ_82	2038,5	-1,50	12,60	0,47	1,97	0,81	0,17	0,50
Rossano	SEZ_83	2099,3	-2,57	12,63	0,48	3,05	0,52	0,09	0,49
Rossano	SEZ_84	2129,9	-2,98	12,64	0,49	3,47	0,46	0,07	0,50
Rossano	SEZ_85	2189,9	-4,03	33,67	0,50	4,53	0,94	0,13	0,54
Rossano	SEZ_86	2216,4	-4,50	33,67	0,50	5,00	0,85	0,11	0,54

**Tabella 10 – Risultati di sintesi della simulazione TR500 (condizione B).**

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo sono analoghi a quelli commentati per lo scenario TR50, a meno di un incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate.

In Figura 37 sono rappresentati gli idrogrammi di portata nelle due sezioni già descritte del modello monodimensionale. Si riscontra nuovamente una rilevante fuoriuscita di portata e volume idrico, con valore al colmo che varia da 32 m<sup>3</sup>/s (SEZ\_61) a 18,6 m<sup>3</sup>/s (SEZ\_66).

Per il tratto più a valle valgono le medesime considerazioni già esposte per gli scenari precedenti.

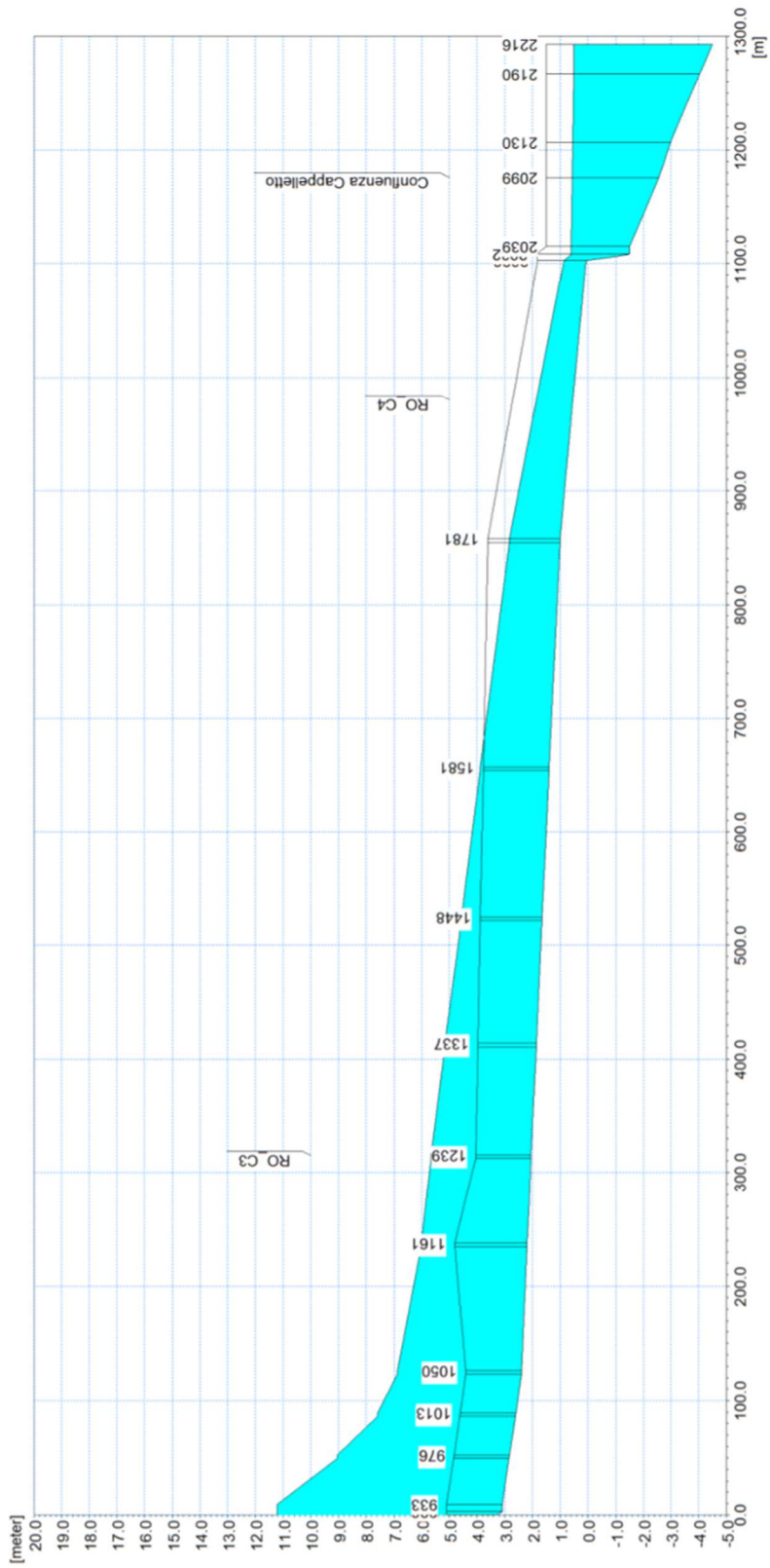


Figura 36 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Rossano, Scenario B - TR500.

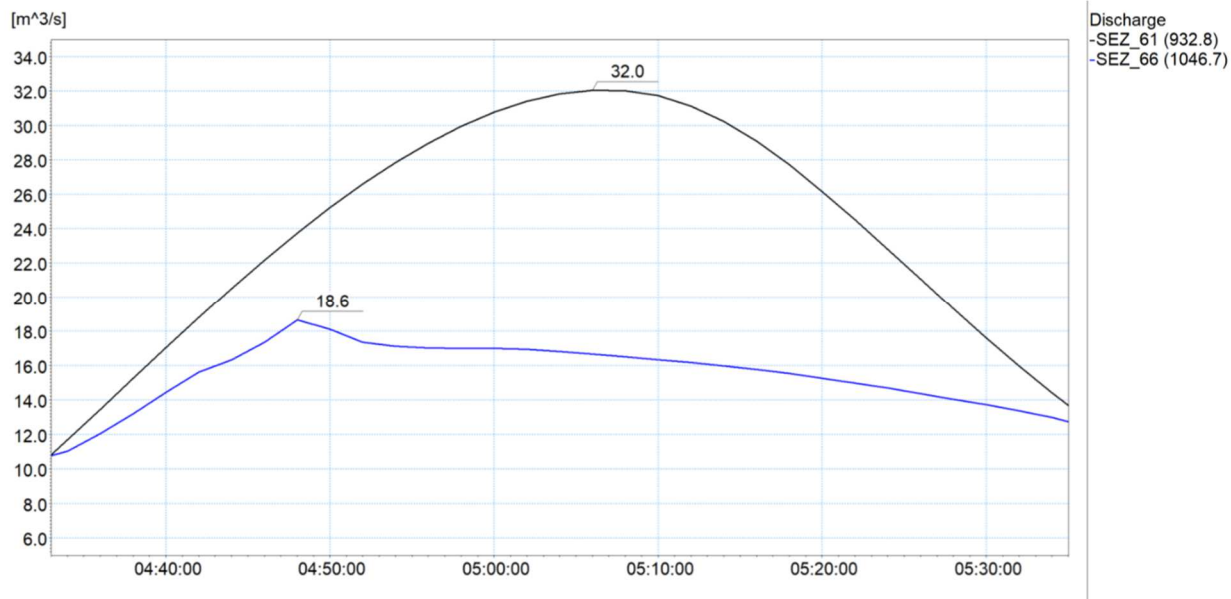


Figura 37 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Fosso Rossano, Scenario B – TR500.

## 5.2 Risultati delle simulazioni sul Fosso Cappelletto

### 5.2.1 Condizione A - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

Nella Tabella 11 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi.

In Figura 38 e Figura 39 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_7	-20,99	10,88	22,81	12,61	1,73	2,02	0,61	12,82
Cappelletto	SEZ_8	8,21	10,62	22,83	12,04	1,42	2,76	0,90	12,43
Cappelletto	SEZ_9	204,21	8,86	23,04	10,62	1,76	1,59	0,46	10,75
Cappelletto	SEZ_10	221,21	8,73	23,06	10,60	1,87	1,41	0,40	10,70
Cappelletto	SEZ_11	236,31	8,52	23,65	10,60	2,08	1,28	0,34	10,68
Cappelletto	SEZ_12	242,31	8,46	23,90	10,59	2,13	1,25	0,33	10,67
Cappelletto	SEZ_13	316,9	7,85	23,05	10,57	2,72	0,85	0,20	10,61
Cappelletto	SEZ_14	327,9	7,80	23,13	10,34	2,54	1,94	0,39	10,53
Cappelletto	SEZ_15	366,8	7,55	23,28	9,27	1,72	3,04	0,71	9,74
Cappelletto	SEZ_16	378,2	7,55	21,65	9,18	1,63	2,98	0,72	9,63
Cappelletto	SEZ_17	380,2	6,55	21,28	8,92	2,37	2,42	0,50	9,22
Cappelletto	SEZ_18	382,8	6,55	21,15	8,91	2,36	2,42	0,50	9,21
Cappelletto	SEZ_19	394,3	6,55	21,75	8,84	2,29	2,57	0,54	9,18
Cappelletto	SEZ_20	407,6	6,55	21,44	8,73	2,18	2,81	0,61	9,13
Cappelletto	SEZ_21	487,1	6,26	20,61	8,11	1,86	2,46	0,58	8,42
Cappelletto	SEZ_22	492,1	5,80	20,67	8,13	2,33	1,97	0,41	8,33
Cappelletto	SEZ_23	510,2	5,80	20,81	7,26	1,46	3,17	0,84	7,77
Cappelletto	SEZ_24	531,3	5,46	21,03	6,98	1,53	3,16	0,81	7,49
Cappelletto	SEZ_25	594,6	4,33	21,71	6,34	2,00	2,49	0,56	6,66
Cappelletto	SEZ_26	652,5	3,49	22,30	6,10	2,61	1,97	0,39	6,30
Cappelletto	SEZ_27	655	3,48	22,47	6,09	2,60	1,98	0,39	6,29
Cappelletto	SEZ_28	678,4	3,20	22,82	5,97	2,77	2,14	0,41	6,20
Cappelletto	SEZ_29	712,5	3,20	23,14	5,08	1,88	3,41	0,79	5,67
Cappelletto	SEZ_30	790,6	2,15	24,21	4,53	2,38	1,71	0,35	4,68
Cappelletto	SEZ_31	820,1	2,15	24,55	4,47	2,32	1,78	0,37	4,63
Cappelletto	SEZ_32	859,8	1,60	22,24	4,24	2,64	2,58	0,51	4,58
Cappelletto	SEZ_33	862,8	1,60	21,91	4,23	2,63	2,55	0,50	4,56
Cappelletto	SEZ_34	893,7	1,25	20,60	3,42	2,17	2,90	0,63	3,85
Cappelletto	SEZ_35	897,3	1,25	20,74	3,39	2,14	2,97	0,65	3,84
Cappelletto	SEZ_36	900,3	1,25	20,88	3,35	2,10	3,03	0,67	3,82
Cappelletto	SEZ_37	906,9	1,25	20,98	3,28	2,03	2,72	0,61	3,66
Cappelletto	SEZ_38	916,3	1,25	21,20	3,20	1,95	3,02	0,69	3,66
Cappelletto	SEZ_39	1015,9	0,50	22,39	1,79	1,29	2,90	0,82	2,22
Cappelletto	SEZ_40	1110,2	0,33	23,24	1,40	1,07	3,63	1,12	2,07
Cappelletto	SEZ_41	1145,2	-0,50	24,54	0,77	1,27	2,76	0,78	1,16
Cappelletto	SEZ_42	1166,6	-0,89	24,80	0,53	1,42	2,24	0,57	0,79
Cappelletto	SEZ_43	1226,5	-1,93	25,63	0,59	2,52	1,29	0,25	0,68
Cappelletto	SEZ_44	1287,26	-2,98	26,38	0,52	3,50	0,95	0,15	0,57

Tabella 11 – Risultati di sintesi per lo Scenario A - TR50.

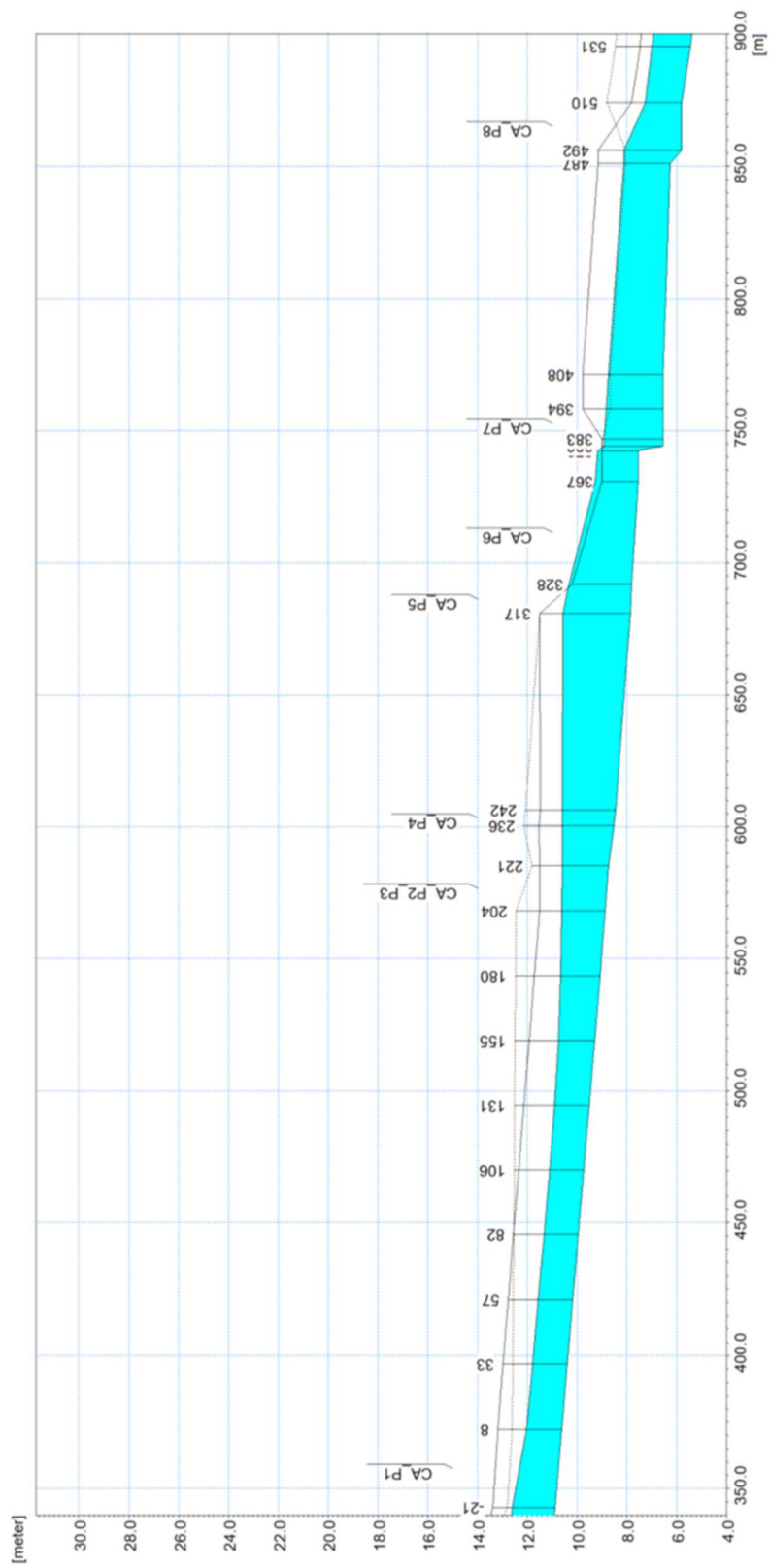


Figura 38 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del Fosso Cappelletto, scenario A - TR50.



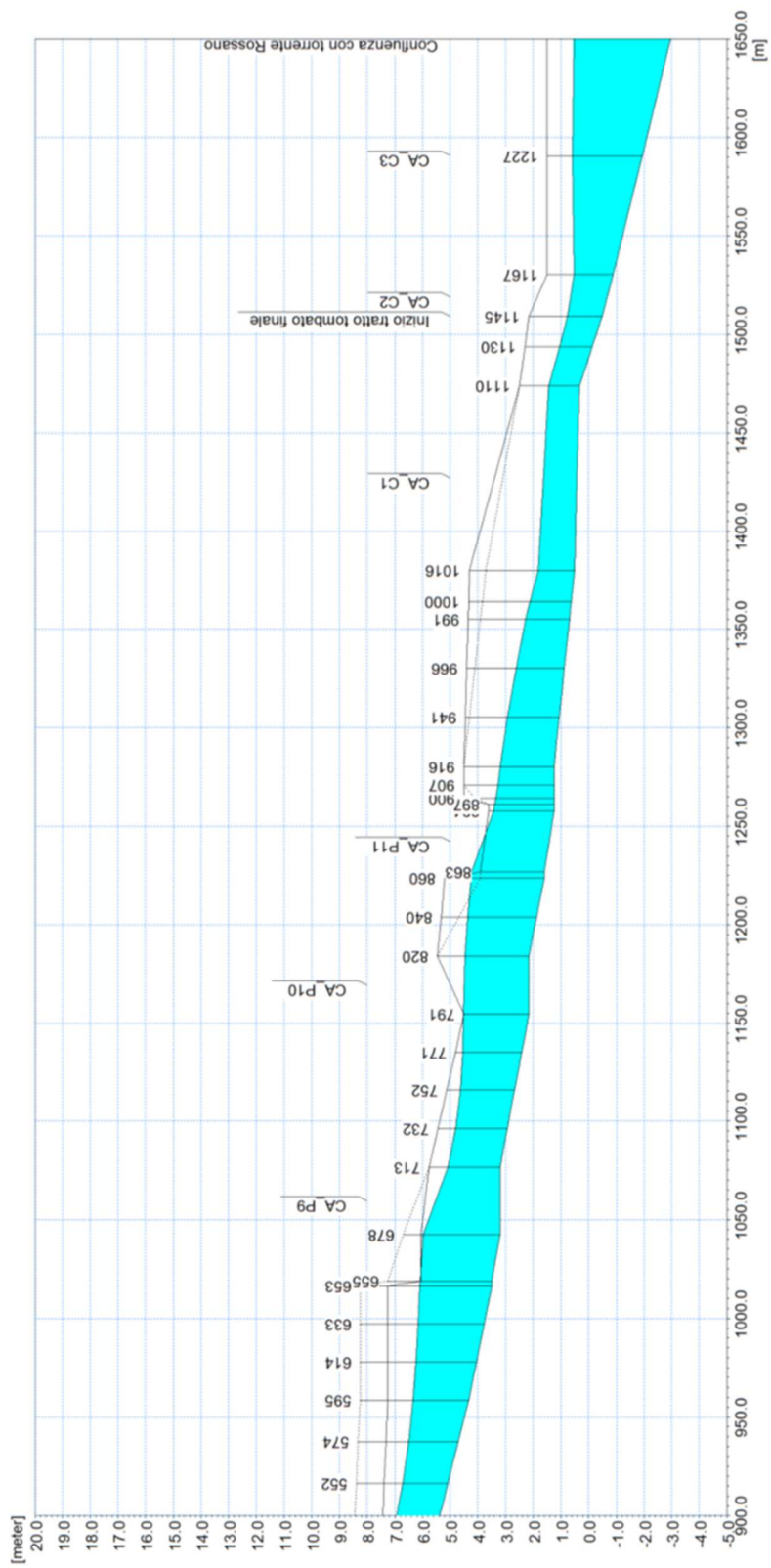


Figura 39 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Cappelletto, Scenario A - TR50.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dal modello monodimensionale per il Fosso Cappelletto si evince quanto segue.

- Il livello idrico massimo nel tratto a monte della ferrovia (da SEZ\_7 a SEZ\_13) risulta contenuto in alveo, con adeguato franco nonostante l'effetto di rigurgito prodotto dal ponte ferroviario più a valle (CA\_P5). Tale tratto si sviluppa in adiacenza al centro commerciale le Terrazze ed è stato di recente oggetto di sistemazione fluviale nell'ambito di un intervento di riqualificazione/bonifica e urbanizzazione dell'area dell'ex raffineria IP.
- L'attraversamento ferroviario (CA\_P6) e il muro di sostegno subito a monte, con luce di deflusso poco maggiore (CA\_P5), manifestano un deflusso in pressione al transito del colmo di piena, così come il successivo ponte di Via Cappelletto (CA\_P7). Il livello idrico massimo nella porzione di alveo tra CA\_P6 e CA\_P7 supera entrambe le sponde, mentre subito a valle di via Cappelletto l'esondazione avviene solo in sponda sinistra.
- A valle di via Cappelletto il Fosso omonimo risulta compreso tra alti muri di sponda (tranne nel primo tratto in sinistra in cui il muro è di minore quota e sormontato da una rete metallica), con alveo a tratti pensile rispetto al piano campagna circostante (particolarmente in sponda destra presso l'area depressa nella porzione Nord di Piazza San Domenico di Guzman). I livelli di massima piena a valle del ponte CA\_P7 (tranne come detto nel primo tratto in sinistra) sono contenuti dai muri spondali, generalmente con discreto franco idraulico. Si riscontrano due tratti critici con franco idraulico sostanzialmente nullo a monte degli attraversamenti di via Vittorio Veneto (CA\_P9) e via XXIV Maggio (CA\_P10), a causa dell'effetto di rigurgito prodotto da tali strutture.
- La luce di deflusso modesta dell'attraversamento di Viale Italia (CA\_P11) genera un innalzamento dei livelli a monte che superano le sommità spondali, provocando esondazioni laterali e dalla griglia metallica di copertura sul piano viabile
- A valle di viale Italia fino alla confluenza con il Fosso Rossano il deflusso di piena è contenuto nella sezione d'alveo con ampio franco, grazie alle sistemazioni eseguite e in progetto.

In Figura 40 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale: sezione iniziale di monte (SEZ\_1); sezione poco a monte di via Lunigiana (SEZ\_21, a valle di CA\_P7 e dei tratti di esondazione presso la ferrovia); sezione a monte di viale S. Bartolomeo (SEZ\_41, immissione nel tratto tombato terminale).

Si può osservare come, per effetto delle esondazioni descritte, il colmo di piena si riduca da 22,8 m<sup>3</sup>/s a 20,6 m<sup>3</sup>/s; l'entità di tali esondazioni, anche in termini di volume, non è quindi molto pronunciata.

L'aumento di portata lungo l'asta che si verifica tra la sezione SEZ\_21 e SEZ\_41, prossima alla sezione idrologica di chiusura del bacino (CA\_A), è legato invece al contributo di portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto, generata dal bacino residuo.

Il colmo di piena in corrispondenza della sezione SEZ\_41 risulta pari a 24,5 m<sup>3</sup>/s, a fronte di un valore teorico determinato nell'analisi idrologica pari a 26,7 m<sup>3</sup>/s. La simulazione in moto vario per TR=50 anni è quindi da ritenersi sufficientemente rappresentativa anche dell'assetto idraulico del tratto di valle.

Da notare come l'idrogramma in ingresso nel ramo di modello del Fosso Cappelletto presenti un valore leggermente superiore a quello teorico per la sezione idrologica CA\_C (22,4 m<sup>3</sup>/s), poiché tiene conto del contributo distribuito del bacino residuo lungo il tratto di circa 400 m che separa tale sezione idrologica dall'inizio del tratto analizzato con il modello.

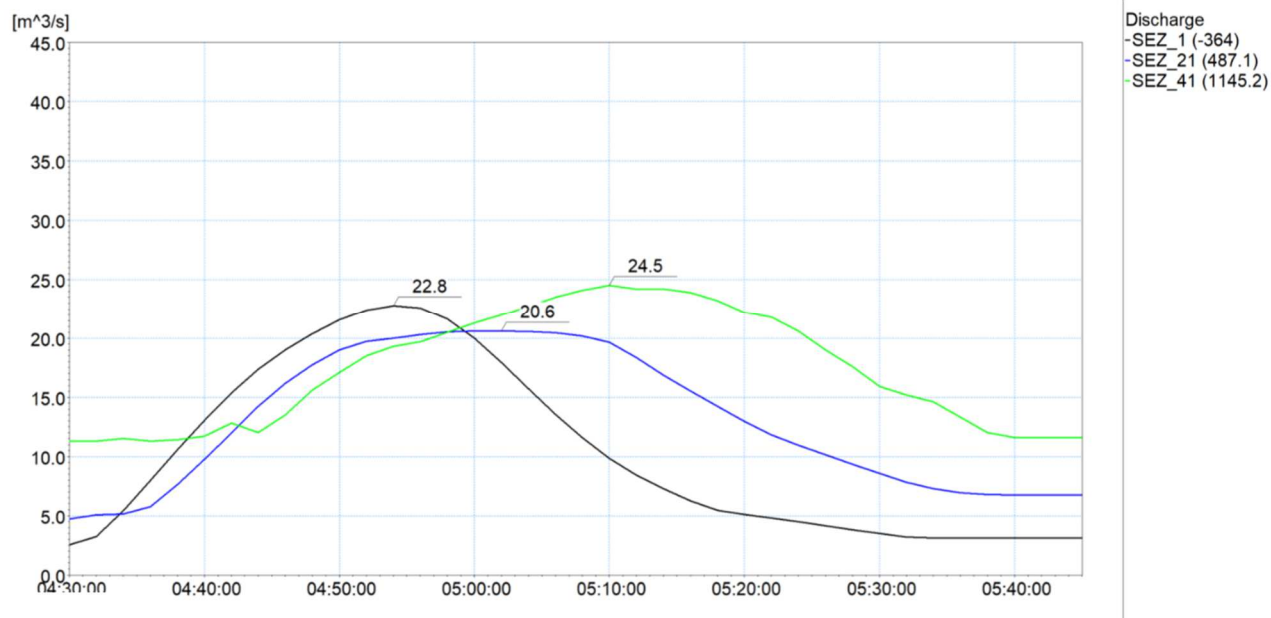


Figura 40 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale. Scenario A – TR50.

### 5.2.2 Condizione A - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

Nella Tabella 12 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi.

In Figura 41 e Figura 42 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_7	-20,99	10,88	27,81	12,78	1,90	2,11	0,61	13,01
Cappelletto	SEZ_8	8,21	10,62	27,88	12,19	1,57	2,90	0,91	12,62
Cappelletto	SEZ_9	204,21	8,86	28,58	10,89	2,03	1,61	0,44	11,02
Cappelletto	SEZ_10	221,21	8,73	28,64	10,88	2,15	1,43	0,38	10,98
Cappelletto	SEZ_11	236,31	8,52	28,66	10,87	2,35	1,30	0,33	10,96
Cappelletto	SEZ_12	242,31	8,46	28,75	10,86	2,40	1,26	0,32	10,94
Cappelletto	SEZ_13	316,9	7,85	30,15	10,84	2,99	0,96	0,22	10,89
Cappelletto	SEZ_14	327,9	7,80	30,06	10,54	2,74	2,33	0,45	10,82
Cappelletto	SEZ_15	366,8	7,55	28,65	9,42	1,87	3,46	0,78	10,03
Cappelletto	SEZ_16	378,2	7,55	24,86	9,31	1,76	3,17	0,74	9,82

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_17	380,2	6,55	23,98	8,99	2,44	2,66	0,54	9,35
Cappelletto	SEZ_18	382,8	6,55	23,99	8,96	2,41	2,68	0,55	9,33
Cappelletto	SEZ_19	394,3	6,55	24,66	8,90	2,35	2,84	0,59	9,31
Cappelletto	SEZ_20	407,6	6,55	23,94	8,77	2,22	3,08	0,66	9,25
Cappelletto	SEZ_21	487,1	6,26	20,75	8,13	1,87	2,46	0,57	8,44
Cappelletto	SEZ_22	492,1	5,80	20,85	8,14	2,34	1,98	0,41	8,34
Cappelletto	SEZ_23	510,2	5,80	21,02	7,29	1,49	3,13	0,82	7,79
Cappelletto	SEZ_24	531,3	5,46	21,38	7,03	1,57	3,13	0,80	7,53
Cappelletto	SEZ_25	594,6	4,33	22,40	6,40	2,07	2,49	0,55	6,72
Cappelletto	SEZ_26	652,5	3,49	23,24	6,16	2,67	2,00	0,39	6,36
Cappelletto	SEZ_27	655	3,48	23,46	6,14	2,66	2,03	0,40	6,35
Cappelletto	SEZ_28	678,4	3,20	23,61	6,04	2,84	2,16	0,41	6,28
Cappelletto	SEZ_29	712,5	3,20	23,70	5,13	1,93	3,41	0,79	5,72
Cappelletto	SEZ_30	790,6	2,15	25,00	4,58	2,43	1,73	0,36	4,73
Cappelletto	SEZ_31	820,1	2,15	25,26	4,50	2,35	1,80	0,38	4,67
Cappelletto	SEZ_32	859,8	1,60	22,59	4,27	2,67	2,59	0,51	4,61
Cappelletto	SEZ_33	862,8	1,60	22,22	4,26	2,66	2,55	0,50	4,59
Cappelletto	SEZ_34	893,7	1,25	20,79	3,46	2,21	2,88	0,62	3,88
Cappelletto	SEZ_35	897,3	1,25	20,97	3,42	2,17	2,96	0,64	3,87
Cappelletto	SEZ_36	900,3	1,25	21,16	3,39	2,14	3,03	0,66	3,86
Cappelletto	SEZ_37	906,9	1,25	21,31	3,31	2,06	2,72	0,61	3,69
Cappelletto	SEZ_38	916,3	1,25	21,60	3,23	1,98	3,03	0,69	3,70
Cappelletto	SEZ_39	1015,9	0,50	24,68	1,85	1,35	3,05	0,84	2,32
Cappelletto	SEZ_40	1110,2	0,33	25,82	1,49	1,16	3,70	1,10	2,19
Cappelletto	SEZ_41	1145,2	-0,50	25,62	0,81	1,31	2,79	0,78	1,21
Cappelletto	SEZ_42	1166,6	-0,89	26,28	0,55	1,44	2,34	0,60	0,83
Cappelletto	SEZ_43	1226,5	-1,93	27,28	0,67	2,61	1,33	0,25	0,76
Cappelletto	SEZ_44	1287,26	-2,98	28,09	0,54	3,52	1,01	0,16	0,59

**Tabella 12 – Risultati di sintesi per lo Scenario A - TR200.**

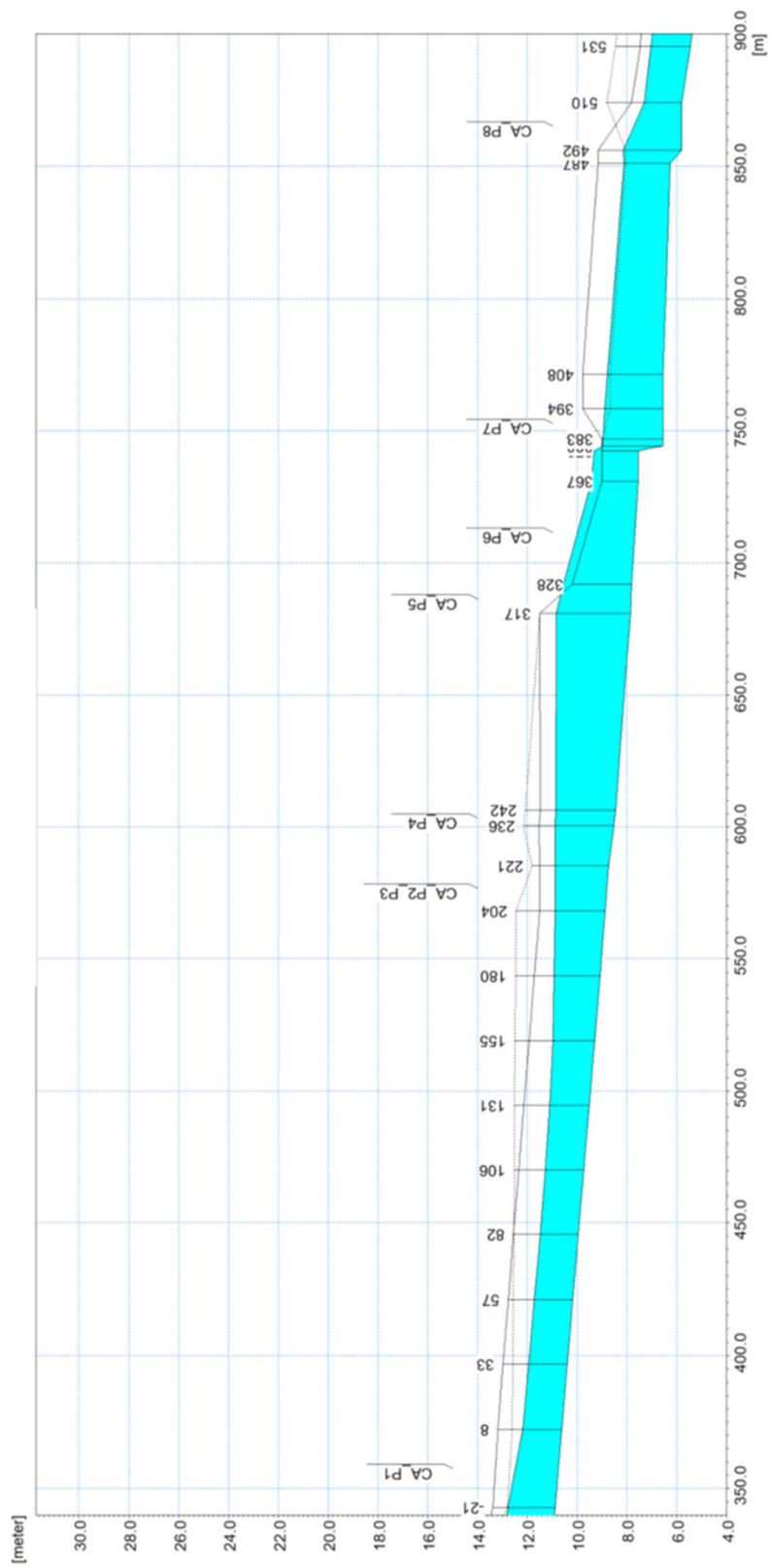


Figura 41 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del Fosso Cappelletto, Scenario A - TR200.

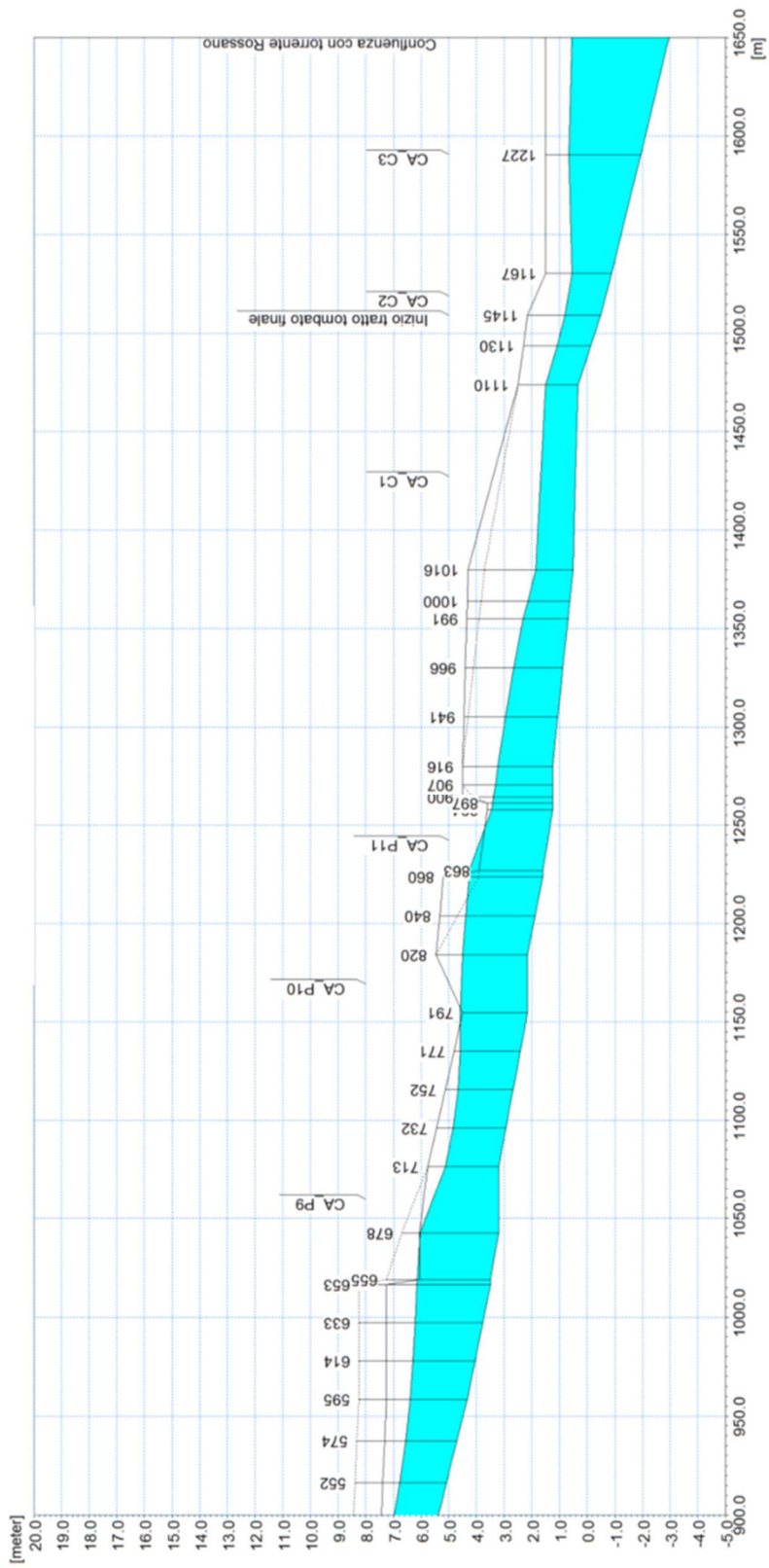


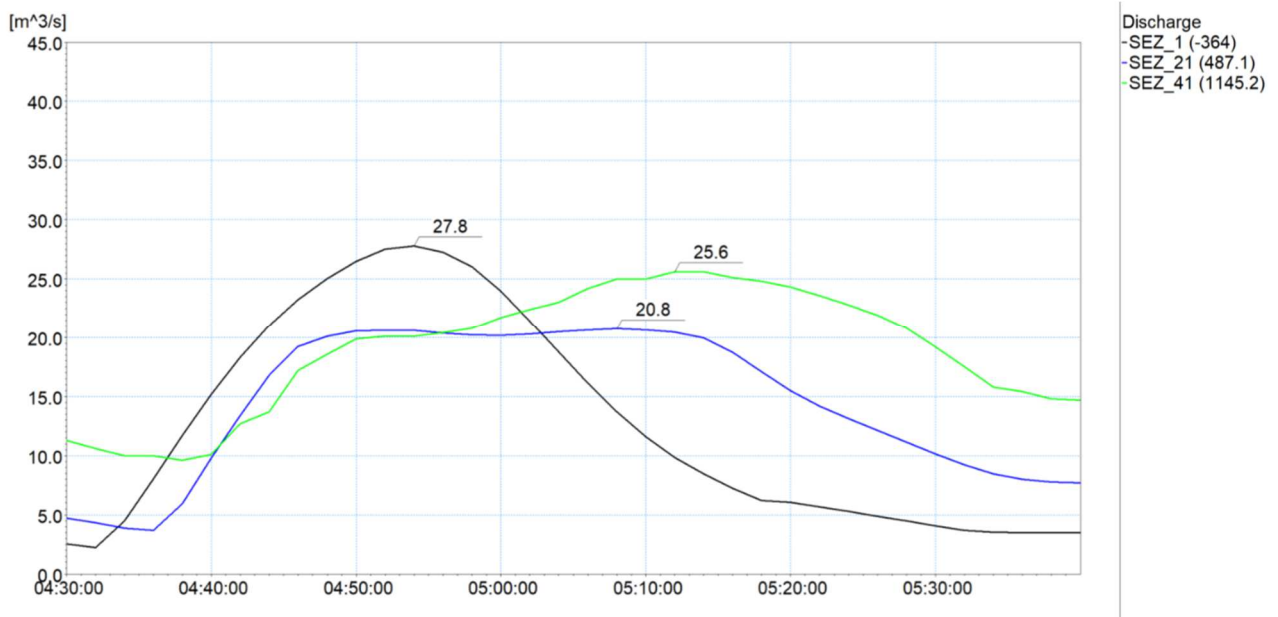
Figura 42 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Cappelletto, Scenario A - TR200.



Dall'analisi dei risultati ottenuti dal modello monodimensionale si osserva quanto segue.

- Il livello idrico massimo nel tratto a monte della ferrovia (da SEZ\_7 a SEZ\_13) è contenuto in alveo con adeguato franco, nonostante l'effetto di rigurgito degli attraversamenti più a valle.
- Come già osservato per l'evento TR=50 anni, L'attraversamento ferroviario (CA\_P6), il muro di sostegno subito a monte (CA\_P5) e il successivo ponte di Via Cappelletto (CA\_P7) manifestano un deflusso in pressione al transito del colmo di piena, con modalità di esondazione analoghe a quelle già descritte.
- L'innalzamento dei livelli a monte dell'attraversamento di via Vittorio Veneto (CA\_P9), di luce assai ridotta, determina per TR=200 anni esondazioni in corrispondenza della sponda destra, che mostra un ribassamento a monte del ponte. Si ha esondazione anche a monte dell'attraversamento di via XXIV Maggio (CA\_P10).
- La luce di deflusso modesta dell'attraversamento di Viale Italia (CA\_P11) genera un innalzamento dei livelli a monte che superano le sommità spondali provocando esondazioni, analogamente a quanto già descritto.

In Figura 43 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale, descritte nel capitolo 5.2.1..



**Figura 43 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Scenario A.**

Si può osservare come in corrispondenza della SEZ\_21, posta a monte dell'attraversamento di Via Lunigiana, il valore del picco di piena risulti inferiore a quello dell'idrogramma in ingresso nella sezione iniziale, per effetto delle esondazioni nel tratto di monte. Si nota come il valore di portata in alveo nella SEZ\_21 sia sostanzialmente identico a quello riscontrato per TR=50 anni, corrispondente al limite di capacità di deflusso

del tratto precedente. Poiché l'idrogramma in ingresso per TR=200 anni presenta maggiori portate e volumi, l'entità delle esondazioni è più cospicua.

L'aumento di portata che si verifica nel tratto successivo (tra la SEZ\_21 e la SEZ\_41) è legato al contributo del bacino residuo, distribuito uniformemente lungo l'intero tratto. Il colmo di piena all'imbocco del tratto tombato terminale risulta pari a 25,6 m<sup>3</sup>/s a fronte del valore teorico determinato nell'analisi idrologica di 32,4 m<sup>3</sup>/s, con scostamento maggiormente significativo rispetto allo scenario A – TR50.

### 5.2.3 Condizione A - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

Nella Tabella 13 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involucro dei valori massimi.

In Figura 45 e Figura 46 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

In Figura 44 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_7	-20,99	10,88	30,57	12,88	2,00	2,11	0,67	13,11
Cappelletto	SEZ_8	8,21	10,62	30,61	12,26	1,64	2,97	0,91	12,71
Cappelletto	SEZ_9	204,21	8,86	30,99	10,99	2,13	1,62	0,43	11,12
Cappelletto	SEZ_10	221,21	8,73	30,99	10,98	2,25	1,44	0,38	11,09
Cappelletto	SEZ_11	236,31	8,52	31,68	10,97	2,45	1,35	0,34	11,06
Cappelletto	SEZ_12	242,31	8,46	32,13	10,96	2,50	1,32	0,33	11,05
Cappelletto	SEZ_13	316,9	7,85	31,16	10,94	3,09	0,94	0,21	10,98
Cappelletto	SEZ_14	327,9	7,80	31,28	10,77	2,97	2,24	0,41	11,03
Cappelletto	SEZ_15	366,8	7,55	31,41	9,50	1,95	3,65	0,81	10,18
Cappelletto	SEZ_16	378,2	7,55	26,56	9,38	1,83	3,26	0,74	9,92
Cappelletto	SEZ_17	380,2	6,55	25,41	8,98	2,43	2,82	0,58	9,39
Cappelletto	SEZ_18	382,8	6,55	24,86	8,98	2,43	2,76	0,57	9,37
Cappelletto	SEZ_19	394,3	6,55	25,71	8,90	2,35	2,95	0,61	9,34
Cappelletto	SEZ_20	407,6	6,55	25,27	8,80	2,25	3,22	0,68	9,33
Cappelletto	SEZ_21	487,1	6,26	20,71	8,11	1,85	2,49	0,58	8,43
Cappelletto	SEZ_22	492,1	5,80	20,71	8,12	2,32	1,98	0,42	8,32
Cappelletto	SEZ_23	510,2	5,80	20,87	7,29	1,49	3,11	0,81	7,78
Cappelletto	SEZ_24	531,3	5,46	21,40	7,04	1,58	3,11	0,79	7,53
Cappelletto	SEZ_25	594,6	4,33	22,55	6,41	2,07	2,50	0,56	6,73
Cappelletto	SEZ_26	652,5	3,49	23,40	6,16	2,67	2,02	0,39	6,37
Cappelletto	SEZ_27	655	3,48	23,67	6,14	2,66	2,04	0,40	6,35

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_28	678,4	3,20	24,02	6,04	2,84	2,21	0,42	6,28
Cappelletto	SEZ_29	712,5	3,20	24,13	5,15	1,95	3,44	0,79	5,75
Cappelletto	SEZ_30	790,6	2,15	25,42	4,59	2,44	1,75	0,36	4,75
Cappelletto	SEZ_31	820,1	2,15	25,46	4,52	2,37	1,81	0,38	4,69
Cappelletto	SEZ_32	859,8	1,60	22,69	4,28	2,68	2,59	0,50	4,62
Cappelletto	SEZ_33	862,8	1,60	22,33	4,27	2,67	2,55	0,50	4,60
Cappelletto	SEZ_34	893,7	1,25	20,84	3,47	2,22	2,87	0,62	3,89
Cappelletto	SEZ_35	897,3	1,25	21,05	3,43	2,18	2,95	0,64	3,87
Cappelletto	SEZ_36	900,3	1,25	21,28	3,40	2,15	3,03	0,66	3,87
Cappelletto	SEZ_37	906,9	1,25	21,45	3,33	2,08	2,72	0,60	3,71
Cappelletto	SEZ_38	916,3	1,25	21,77	3,25	2,00	3,03	0,68	3,72
Cappelletto	SEZ_39	1015,9	0,50	24,68	1,87	1,37	3,00	0,82	2,33
Cappelletto	SEZ_40	1110,2	0,33	25,38	1,47	1,14	3,72	1,11	2,17
Cappelletto	SEZ_41	1145,2	-0,50	26,56	0,85	1,35	2,82	0,78	1,26
Cappelletto	SEZ_42	1166,6	-0,89	27,42	0,57	1,46	2,42	0,61	0,87
Cappelletto	SEZ_43	1226,5	-1,93	28,68	0,54	2,47	1,49	0,29	0,65
Cappelletto	SEZ_44	1287,26	-2,98	29,07	0,53	3,51	1,05	0,17	0,59

Tabella 13 – Risultati di sintesi della simulazione per lo Scenario A - TR500.

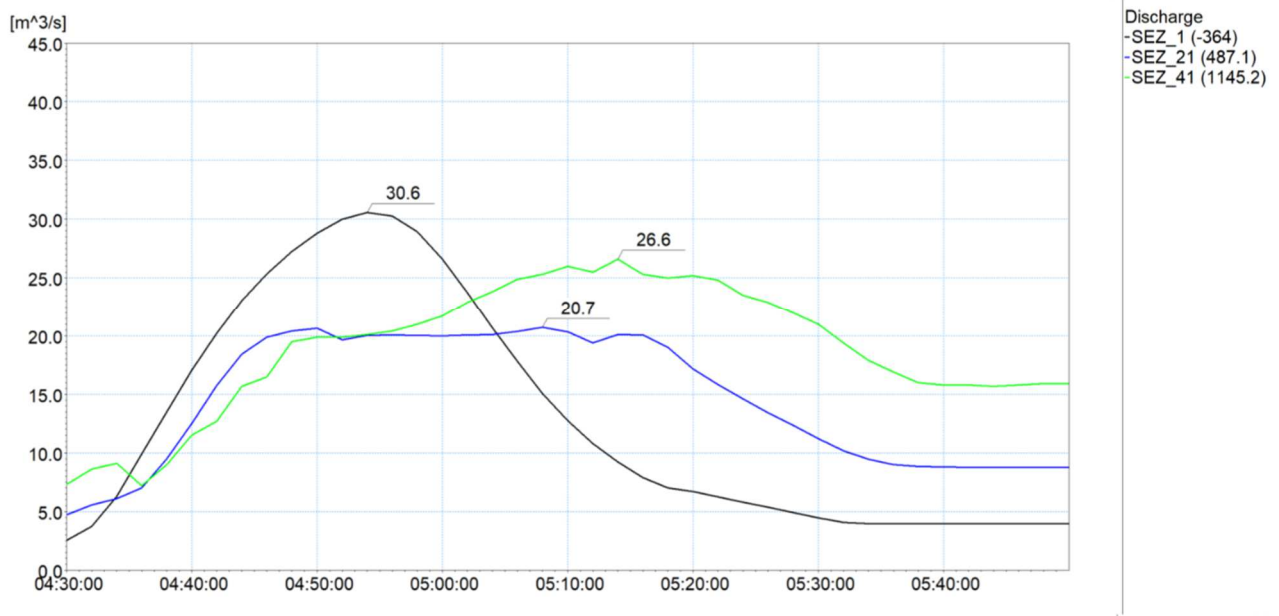


Figura 44 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Scenario A.

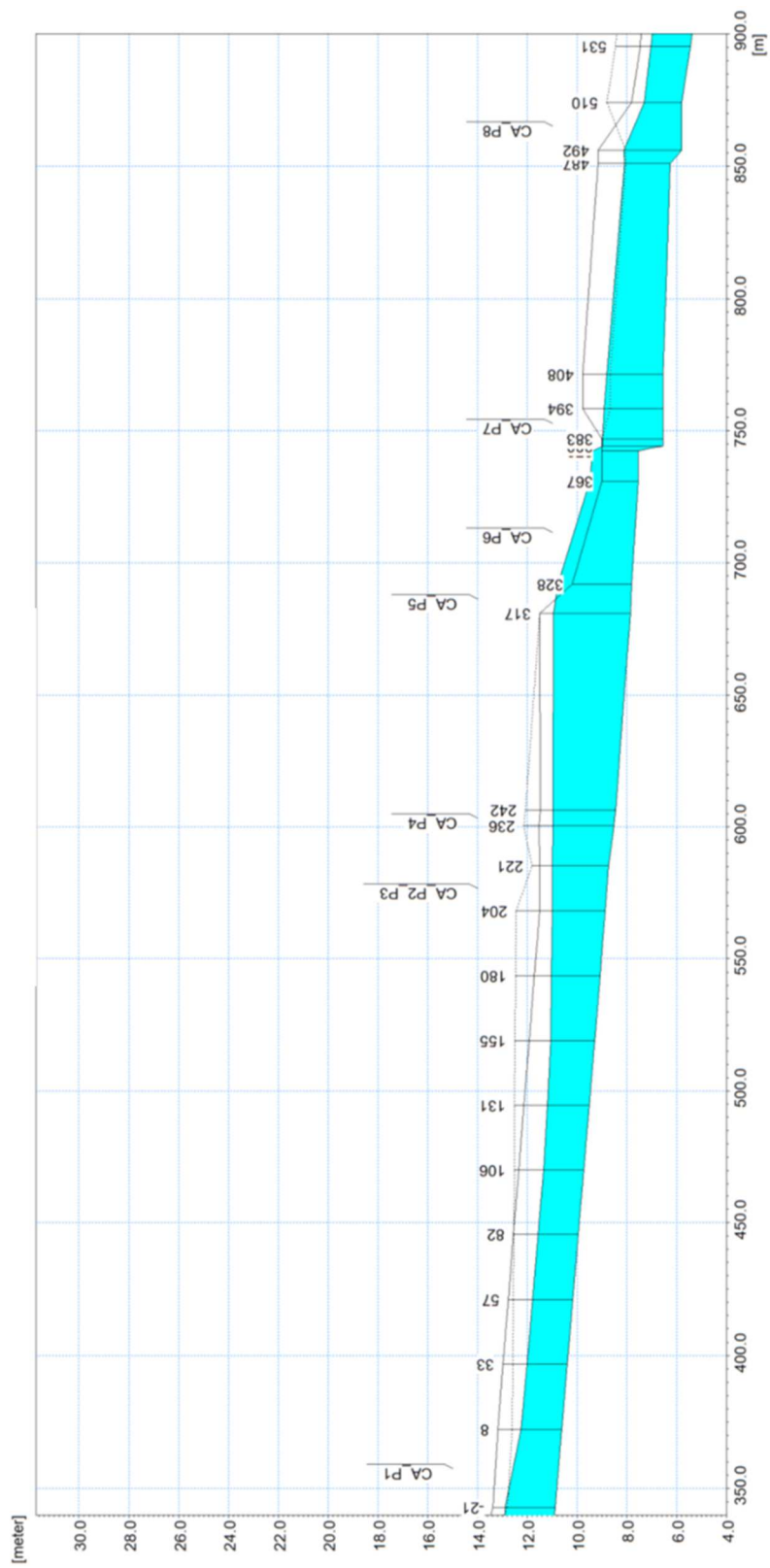


Figura 45 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del Fosso Cappelletto, Scenario A - TR500.

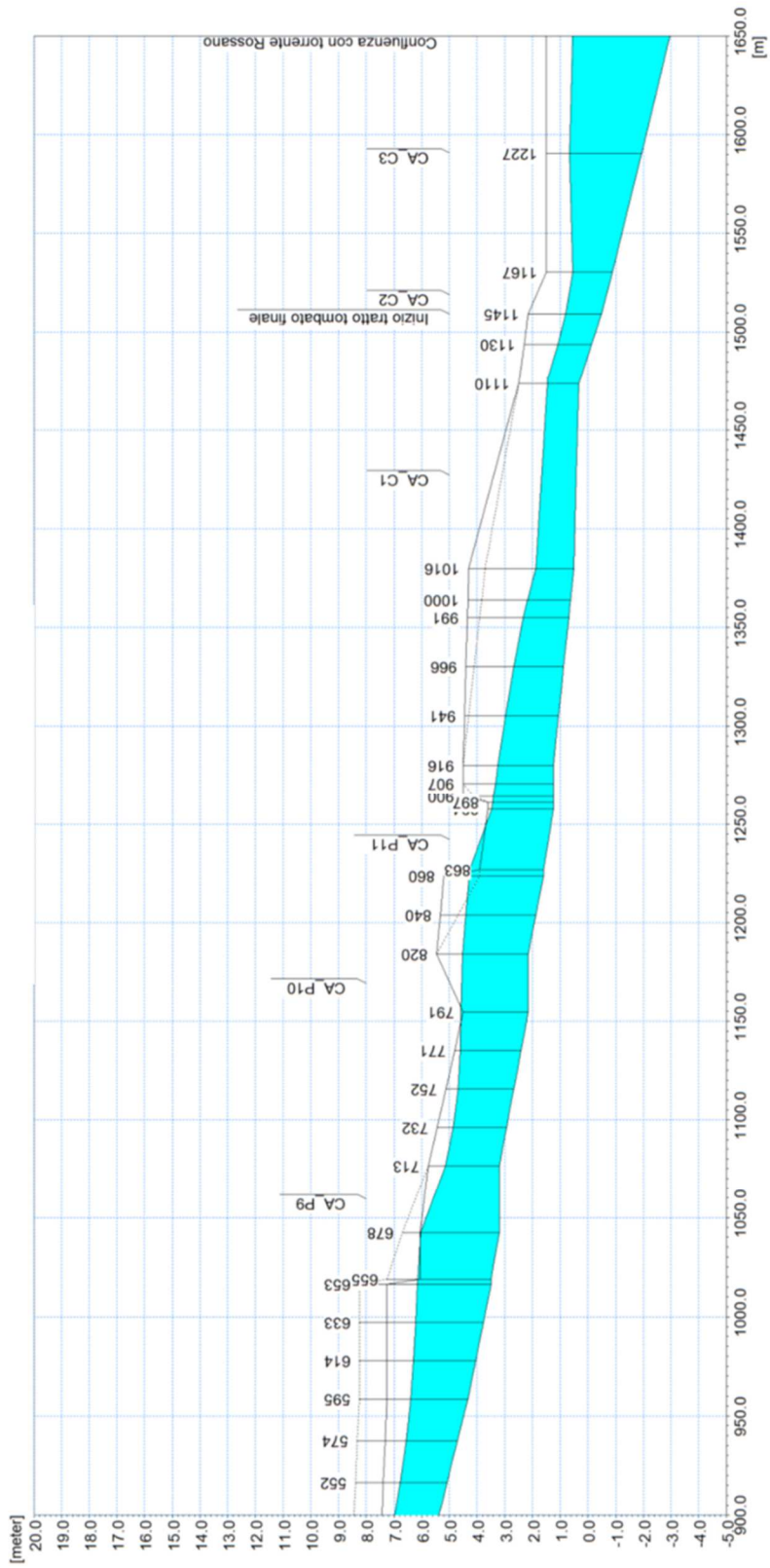


Figura 46 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Cappelletto, Scenario A - TR500.

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo e di esondazione sono analoghi a quelli commentati per lo scenario A-TR200, a meno di un incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate.

Nuovamente in corrispondenza della SEZ\_21, posta a monte dell'attraversamento di Via Lunigiana, il valore del picco di piena risulta inferiore a quello dell'idrogramma in ingresso nella sezione iniziale, per effetto delle esondazioni nel tratto di monte. Anche in questo caso il valore di portata in alveo nella SEZ\_21 è sostanzialmente identico a quello riscontrato negli scenari precedenti, corrispondente al limite di capacità di deflusso del tratto precedente. Poiché l'idrogramma in ingresso per TR=500 anni presenta maggiori portate e volumi, l'entità delle esondazioni è più cospicua.

L'aumento di portata che si verifica nel tratto successivo (tra la SEZ\_21 e la SEZ\_41) è legato al contributo del bacino residuo, distribuito uniformemente lungo l'intero tratto. Il colmo di piena all'imbocco del tratto tombato terminale risulta pari a 26,6 m<sup>3</sup>/s a fronte del valore teorico determinato nell'analisi idrologica di 36,2 m<sup>3</sup>/s, con scostamento maggiormente significativo rispetto agli scenari precedenti.

#### 5.2.4 Condizione B - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

Nella Tabella 14 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 48 è rappresentato graficamente il profilo di corrente del medesimo scenario.

I risultati sono forniti unicamente per il tratto a valle dell'immissione di portata (idrogramma idrologico che trascura gli effetti di esondazione nei rami di monte).

Rispetto allo scenario A – TR50, la maggior portata defluente in alveo provoca esondazioni a monte dell'attraversamento di via Vittorio Veneto (CA\_P9), in corrispondenza della sponda destra che mostra un ribassamento, mentre resta a franco circa nullo il tratto a monte del ponte CA\_P10. Si confermano le esondazioni a monte del ponte di Viale Italia (CA\_P11).

In Figura 47 sono rappresentati gli idrogrammi di portata nella sezione di input della portata (SEZ\_24) e a valle del ponte CA\_P11 (SEZ\_35). Il picco di piena tra queste due sezioni diminuisce dal valore di 27,3 m<sup>3</sup>/s a 20,8 m<sup>3</sup>/s.

Rispetto allo Scenario A –TR50 si riscontra quindi una situazione più gravosa in termini di portata transitante nel tratto a valle della SEZ\_24 (per lo Scenario A–TR50 il picco in questa sezione era pari a 21 m<sup>3</sup>/s). Come si vedrà nel capitolo 5.4, la fuoriuscita di portata risulta maggiore in tale tratto, andando ad allagare in maniera più ampia le aree a valle della ferrovia.

L'assenza del contributo di portata distribuito uniformemente lungo il tratto a valle comporta, come già osservato per il Fosso Rossano, un minore valore al colmo nel tratto terminale, che si mantiene pari a circa 20,8 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza della sezione SEZ\_44 (a fronte di 26,38 m<sup>3</sup>/s per lo Scenario A –TR50).



Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_24	531,3	5,46	27,29	7,30	1,85	3,39	0,80	7,89
Cappelletto	SEZ_25	594,6	4,33	27,05	6,55	2,22	2,81	0,60	6,95
Cappelletto	SEZ_26	652,5	3,49	26,70	6,22	2,73	2,25	0,43	6,48
Cappelletto	SEZ_27	655	3,48	26,63	6,21	2,73	2,24	0,43	6,47
Cappelletto	SEZ_28	678,4	3,20	26,12	6,09	2,89	2,35	0,44	6,37
Cappelletto	SEZ_29	712,5	3,20	25,06	5,15	1,95	3,57	0,82	5,80
Cappelletto	SEZ_30	790,6	2,15	25,04	4,52	2,37	1,78	0,37	4,68
Cappelletto	SEZ_31	820,1	2,15	24,99	4,45	2,30	1,83	0,38	4,62
Cappelletto	SEZ_32	859,8	1,60	22,61	4,22	2,62	2,64	0,52	4,58
Cappelletto	SEZ_33	862,8	1,60	22,11	4,20	2,60	2,60	0,51	4,54
Cappelletto	SEZ_34	893,7	1,25	20,71	3,38	2,13	2,98	0,65	3,83
Cappelletto	SEZ_35	897,3	1,25	20,77	3,34	2,09	3,04	0,67	3,81
Cappelletto	SEZ_36	900,3	1,25	20,83	3,30	2,05	3,10	0,69	3,79
Cappelletto	SEZ_37	906,9	1,25	20,83	3,22	1,97	2,85	0,66	3,63
Cappelletto	SEZ_38	916,3	1,25	20,83	3,14	1,89	3,06	0,71	3,62
Cappelletto	SEZ_39	1015,9	0,50	20,83	1,58	1,08	4,36	1,34	2,55
Cappelletto	SEZ_40	1110,2	0,33	20,83	1,38	1,05	3,21	0,99	2,11
Cappelletto	SEZ_41	1145,2	-0,50	20,76	0,64	1,14	2,60	0,78	0,99
Cappelletto	SEZ_42	1166,6	-0,89	20,72	0,48	1,37	1,93	0,50	0,67
Cappelletto	SEZ_43	1226,5	-1,93	20,78	0,47	2,41	1,09	0,21	0,53
Cappelletto	SEZ_44	1287,26	-2,98	20,81	0,48	3,46	0,76	0,12	0,51

Tabella 14 – Risultati di sintesi per lo Scenario B, TR50.

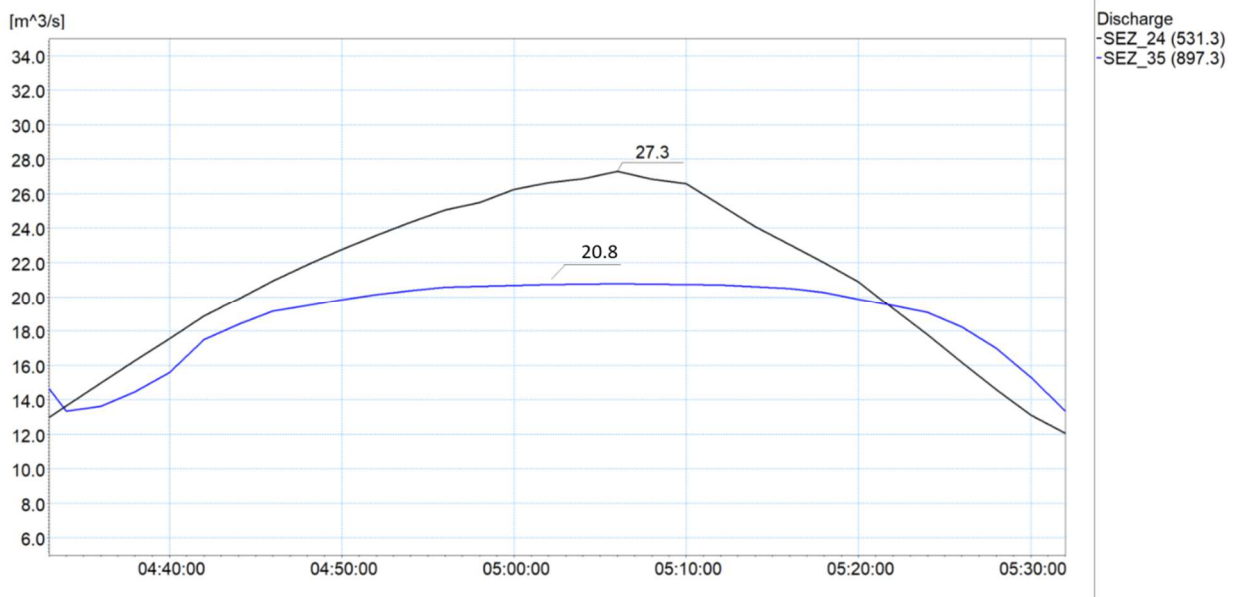


Figura 47 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Scenario B – TR50.

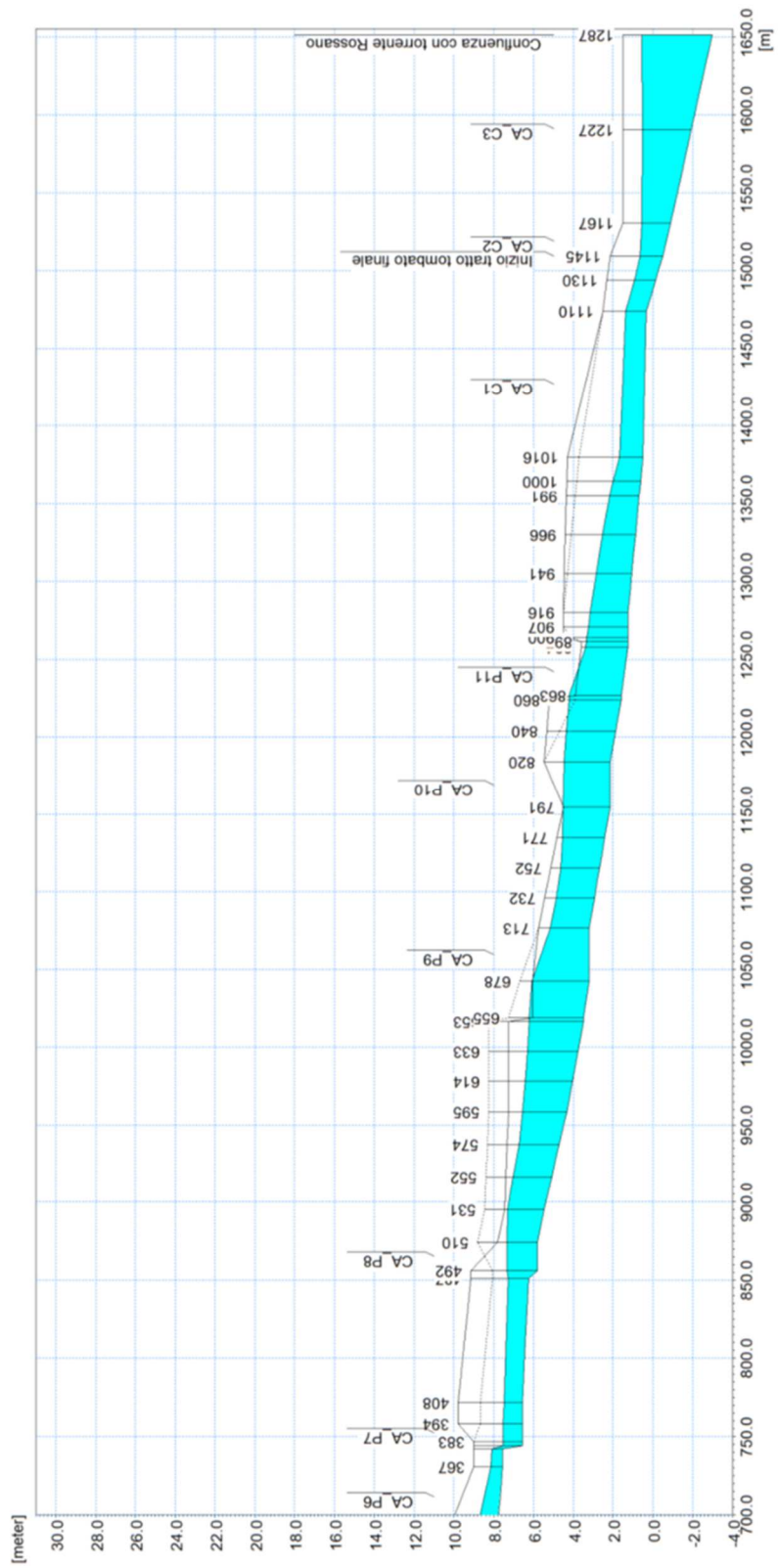


Figura 48 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Cappelletto, Scenario B - TR50.

### 5.2.5 Condizione B - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

Nella Tabella 15 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 49 è rappresentato graficamente il profilo di corrente del medesimo scenario.

I risultati sono forniti unicamente per il tratto a valle dell'immissione di portata (idrogramma idrologico che trascura gli effetti di esondazione nei rami di monte).

In Figura 50 sono rappresentati gli idrogrammi di portata nelle due sezioni già descritte del modello monodimensionale.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m <sup>3</sup> /s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_24	531,3	5,46	32,89	7,55	2,10	3,60	0,79	8,21
Cappelletto	SEZ_25	594,6	4,33	32,24	6,75	2,42	3,07	0,63	7,23
Cappelletto	SEZ_26	652,5	3,49	32,33	6,33	2,84	2,62	0,50	6,68
Cappelletto	SEZ_27	655	3,48	32,22	6,32	2,84	2,61	0,49	6,67
Cappelletto	SEZ_28	678,4	3,20	29,36	6,20	3,00	2,55	0,47	6,53
Cappelletto	SEZ_29	712,5	3,20	26,35	5,22	2,02	3,63	0,82	5,89
Cappelletto	SEZ_30	790,6	2,15	26,26	4,57	2,42	1,82	0,37	4,74
Cappelletto	SEZ_31	820,1	2,15	26,06	4,49	2,34	1,87	0,39	4,67
Cappelletto	SEZ_32	859,8	1,60	23,18	4,25	2,65	2,68	0,53	4,62
Cappelletto	SEZ_33	862,8	1,60	22,58	4,24	2,64	2,62	0,51	4,59
Cappelletto	SEZ_34	893,7	1,25	20,96	3,40	2,15	2,98	0,65	3,85
Cappelletto	SEZ_35	897,3	1,25	21,07	3,36	2,11	3,05	0,67	3,84
Cappelletto	SEZ_36	900,3	1,25	21,16	3,33	2,08	3,12	0,69	3,82
Cappelletto	SEZ_37	906,9	1,25	21,16	3,24	1,99	2,79	0,63	3,64
Cappelletto	SEZ_38	916,3	1,25	21,16	3,16	1,91	3,08	0,71	3,64
Cappelletto	SEZ_39	1015,9	0,50	21,16	1,58	1,08	3,04	0,93	2,05
Cappelletto	SEZ_40	1110,2	0,33	21,25	1,39	1,06	3,27	1,00	2,12
Cappelletto	SEZ_41	1145,2	-0,50	21,32	0,66	1,16	2,63	0,78	1,01
Cappelletto	SEZ_42	1166,6	-0,89	21,21	0,49	1,38	1,97	0,51	0,69
Cappelletto	SEZ_43	1226,5	-1,93	21,23	0,47	2,41	1,12	0,22	0,53
Cappelletto	SEZ_44	1287,26	-2,98	21,16	0,49	3,47	0,77	0,12	0,52

**Tabella 15 – Risultati di sintesi per lo Scenario B, TR200.**

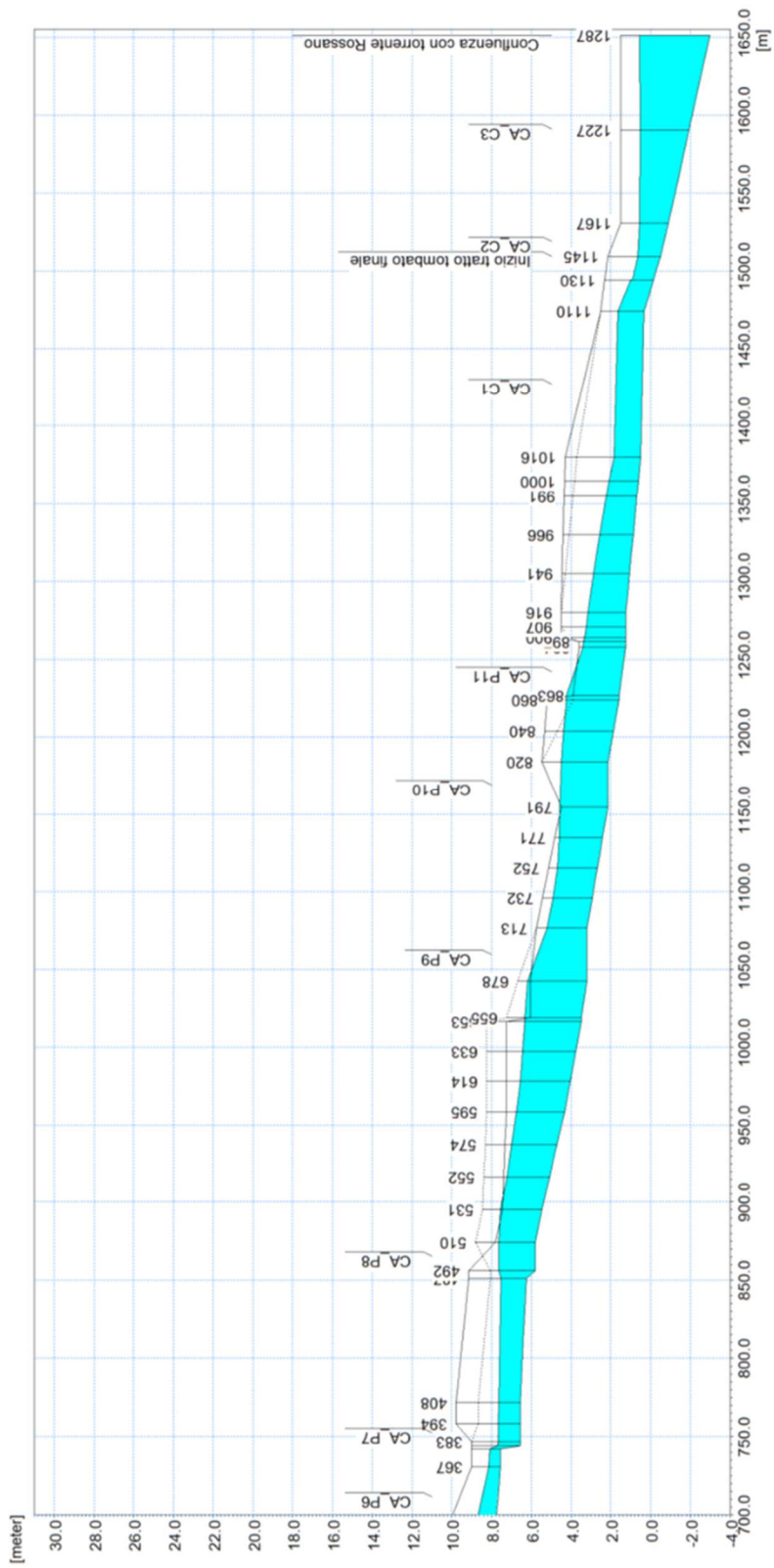
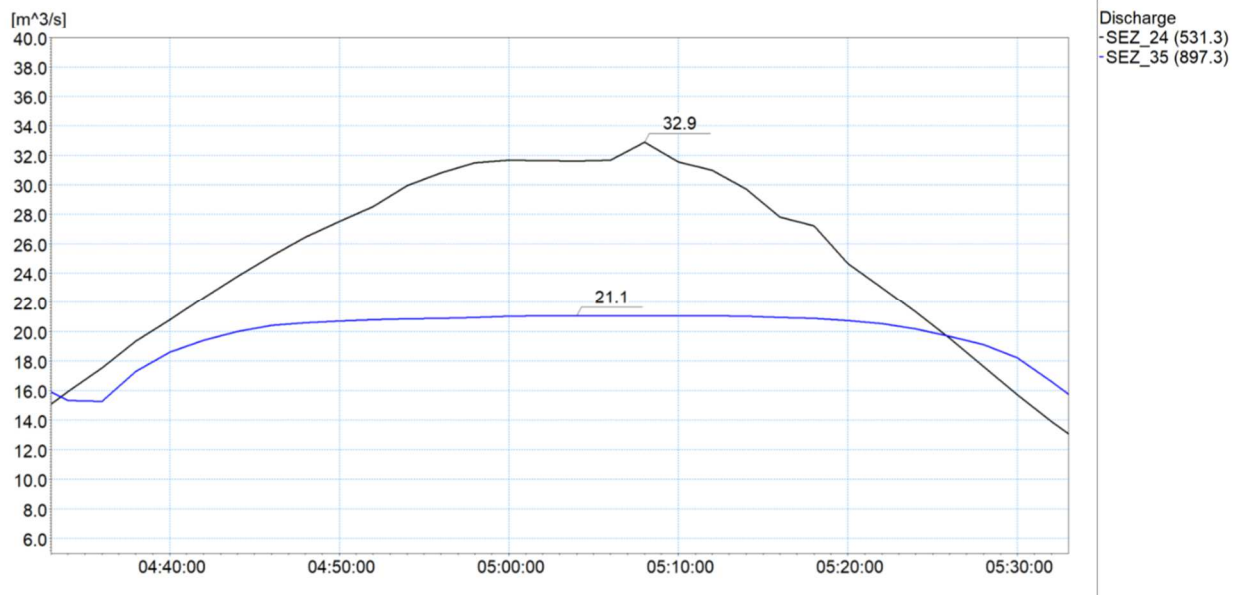


Figura 49 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Cappelletto, Scenario B - TR200.



**Figura 50 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale.**

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo e modalità di esondazione sono analoghi a quelli esposti per lo scenario TR50, a meno di un incremento delle altezze d’acqua conseguente alle maggiori portate. Si osserva in particolare una maggiore estensione del tratto interessato da sormonto delle sponde a monte dell’attraversamento di via Vittorio Veneto (CA\_P9).

Il picco di piena diminuisce da 32,9 m<sup>3</sup>/s nella sezione iniziale (SEZ\_24) a 21,1 m<sup>3</sup>/s a valle di viale Italia (SEZ\_35). Rispetto allo Scenario A –TR200 si ha quindi una situazione più gravosa in termini di portata transitante nel tratto a valle della SEZ\_24 (in cui si aveva un valore al picco di 21 m<sup>3</sup>/s). Tale maggior portata provoca più estese esondazioni, ma come già osservato per lo scenario B – TR50 l’assenza di un contributo distribuito più a valle fa sì che tale portata massima si mantenga costante fino al tratto terminale (a fronte di 28,1 m<sup>3</sup>/s riscontrabili nella SEZ\_44 per lo Scenario A –TR200).

#### 5.2.6 Condizione B - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

Nella Tabella 16 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all’alveo inciso del Fosso Cappelletto (output del modello monodimensionale) per l’evento di piena con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 52 è rappresentato graficamente il profilo di corrente del medesimo scenario.

In Figura 51 sono rappresentati gli idrogrammi di portata nelle due sezioni già descritte del modello monodimensionale.

Ramo	ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.l.m.)	Q (m³/s)	P.L. (m s.l.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.l.m.)
Cappelletto	SEZ_24	531,3	5,46	36,11	7,63	2,17	3,83	0,83	8,38
Cappelletto	SEZ_25	594,6	4,33	34,37	6,83	2,50	3,16	0,64	7,34
Cappelletto	SEZ_26	652,5	3,49	34,20	6,37	2,88	2,73	0,51	6,75
Cappelletto	SEZ_27	655	3,48	34,02	6,36	2,87	2,72	0,51	6,74
Cappelletto	SEZ_28	678,4	3,20	30,88	6,23	3,03	2,64	0,48	6,59
Cappelletto	SEZ_29	712,5	3,20	26,80	5,24	2,04	3,66	0,82	5,92
Cappelletto	SEZ_30	790,6	2,15	26,57	4,58	2,43	1,83	0,38	4,75
Cappelletto	SEZ_31	820,1	2,15	26,25	4,49	2,34	1,88	0,39	4,67
Cappelletto	SEZ_32	859,8	1,60	23,28	4,26	2,66	2,68	0,53	4,63
Cappelletto	SEZ_33	862,8	1,60	22,67	4,25	2,65	2,62	0,51	4,60
Cappelletto	SEZ_34	893,7	1,25	21,01	3,40	2,15	2,98	0,65	3,85
Cappelletto	SEZ_35	897,3	1,25	21,13	3,36	2,11	3,06	0,67	3,84
Cappelletto	SEZ_36	900,3	1,25	21,22	3,33	2,08	3,12	0,69	3,83
Cappelletto	SEZ_37	906,9	1,25	21,23	3,25	2,00	2,80	0,63	3,65
Cappelletto	SEZ_38	916,3	1,25	21,23	3,16	1,91	3,08	0,71	3,64
Cappelletto	SEZ_39	1015,9	0,50	21,25	1,71	1,21	2,93	0,85	2,15
Cappelletto	SEZ_40	1110,2	0,33	21,27	1,27	0,94	3,76	1,24	1,99
Cappelletto	SEZ_41	1145,2	-0,50	21,32	0,66	1,16	2,63	0,78	1,01
Cappelletto	SEZ_42	1166,6	-0,89	21,23	0,48	1,37	1,98	0,51	0,68
Cappelletto	SEZ_43	1226,5	-1,93	21,05	0,47	2,41	1,11	0,22	0,53
Cappelletto	SEZ_44	1287,26	-2,98	21,00	0,49	3,47	0,76	0,12	0,52

Tabella 16 – Risultati di sintesi della simulazione Scenario B, TR500.

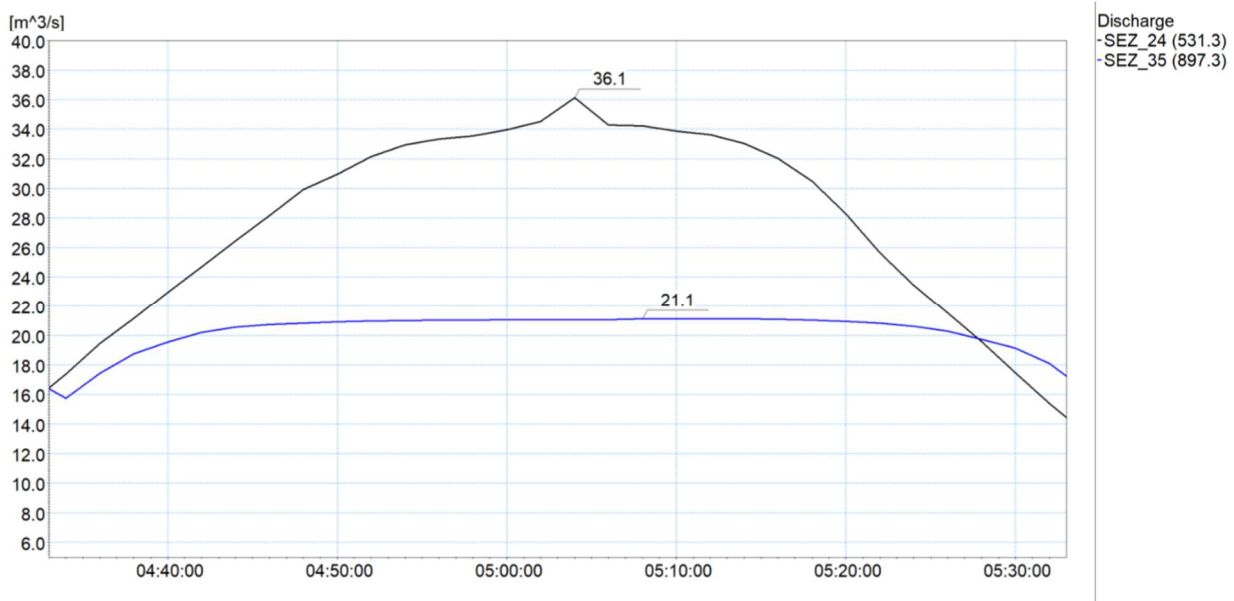


Figura 51 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Scenario B – TR500.



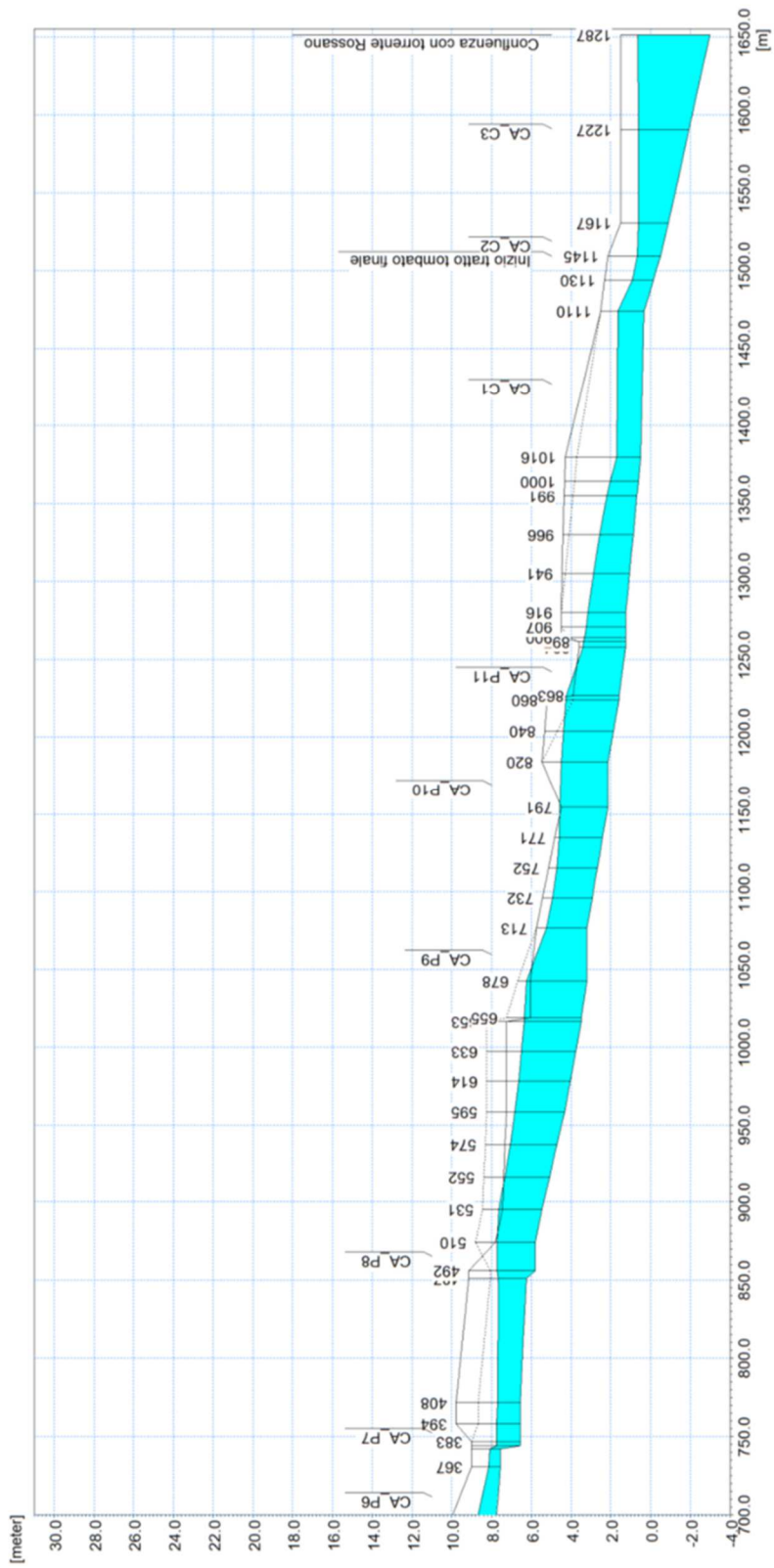


Figura 52 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del Fosso Cappelletto, Scenario B - TR500.

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo sono analoghi a quelli commentati per lo scenario B-TR200, a meno di un incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate.

Il picco di piena diminuisce da 36,1 m<sup>3</sup>/s nella sezione iniziale (SEZ\_24) a 21,1 m<sup>3</sup>/s a valle di viale Italia (SEZ\_35), valore quest'ultimo identico a quello dello scenario B-TR200 (corrispondente alla massima capacità di deflusso del tratto). Rispetto allo Scenario A –TR200 si ha quindi una situazione più gravosa in termini di portata transitante a valle della SEZ\_24 (in cui si aveva un valore al picco di 21,4 m<sup>3</sup>/s). Tale maggior portata provoca più estese esondazioni, ma come già osservato per lo scenario B – TR50 l'assenza di un contributo distribuito più a valle fa sì che tale portata massima si mantenga costante fino al tratto terminale (a fronte di circa 29 m<sup>3</sup>/s riscontrabili nella SEZ\_44 per lo Scenario A –TR500).

### 5.3 Analisi dei franchi idraulici sui manufatti interferenti

In Tabella 17 e Tabella 18 sono sintetizzati (rispettivamente per il Fosso Rossano e il Fosso Cappelletto) i franchi minimi di sicurezza rispetto alle quote di intradosso degli attraversamenti, estratti dai risultati dei tre scenari simulati.

Essi sono indicati con valore negativo nel caso in cui il moto sia in pressione; nel caso delle tombinate identificano la differenza tra le altezze del cielo del tombino e le altezze piezometriche del tratto. I franchi idraulici di sicurezza non sono definiti in corrispondenza delle strutture inserite all'interno dei modelli numerici; per queste si è fatto riferimento alla sezione posta immediatamente a monte.

Ramo	ID Sezione	ID Struttura	TR50	TR200	TR500
			FR_INTR [m]	FR_INTR [m]	FR_INTR [m]
Rossano	SEZ_9	RO_P1	0,73	0,56	0,46
Rossano	SEZ_12	RO_P2	1,23	1,07	0,97
Rossano	SEZ_40	RO_C0	0,95	0,77	0,64
Rossano	SEZ_41	RO_P3	1,06	0,88	0,75
Rossano	SEZ_60	RO_C1	-1,47	-1,78	-1,94
Rossano	SEZ_61	RO_C2	-1,98	-2,28	-2,43
Rossano	SEZ_79	RO_C3	-0,93	-1,06	-1,20
Rossano	SEZ_81	RO_C4	1,00	0,99	0,88
Andreino	SEZA_5	RO_AN_C1	-2,09	-2,25	-2,27
Andreino	SEZA_7	RO_AN_C2	-5,02	-6,12	-7,30
Andreino	SEZA_9	RO_AN_C3	-6,12	-7,00	-7,77
Monte Pertico	SEZM_3	RO_MP_C1	0,93	0,06	-0,12
Monte Pertico	SEZM_7	RO_MP_C2	-3,22	-3,62	-3,90
Monte Pertico	SEZM_9	RO_MP_C3	-3,18	-3,57	-3,85

Tabella 17 – Franco disponibile dalla quota del pelo libero simulato (per gli scenari TR50, TR200 e TR500 – condizione A) alla quota di intradosso degli attraversamenti e delle tombinate del Fosso Rossano, Rio Monte Pertico e Fosso Andreino.

Ramo	ID Sezione	ID Struttura	TR50	TR200	TR500
			FR_INTR [m]	FR_INTR [m]	FR_INTR [m]
Cappelletto	SEZ_7	CA_P1	1,37	1,20	1,10
Cappelletto	SEZ_9	CA_P2	0,94	0,67	0,57
Cappelletto	SEZ_10	CA_P3	0,83	0,55	0,45
Cappelletto	SEZ_12	CA_P4	0,57	0,30	0,20
Cappelletto	SEZ_13	CA_P5	-0,32	-0,59	-0,69
Cappelletto	SEZ_14	CA_P6	-0,74	-0,74	-1,17
Cappelletto	SEZ_18	CA_P7	0,04	-0,01	-0,03
Cappelletto	SEZ_20	CA_P8	-0,48	-0,52	-0,55
Cappelletto	SEZ_28	CA_P9	-1,37	-1,44	-1,43
Cappelletto	SEZ_30	CA_P10	-0,63	-0,68	-0,69
Cappelletto	SEZ_33	CA_P11	-1,05	-1,08	-1,09
Cappelletto	SEZ_39	CA_C1	0,71	0,65	0,63
Cappelletto	SEZ_41	CA_C2	0,73	0,69	0,65
Cappelletto	SEZ_43	CA_C3	0,91	0,83	0,96

**Tabella 18 – Franco disponibile dalla quota del pelo libero simulato (per gli scenari TR50, TR200 e TR500, condizione A) alla quota di intradosso degli attraversamenti e delle tombature del Fosso Cappelletto.**

I valori dei franchi riportati nelle tabelle sono relativi alla condizione A, che risulta generalmente più gravosa per questo aspetto. La condizione B comporta infatti la presenza di maggiori portate in un tratto relativamente limitato a valle della sezione di immissione (SEZ\_61 per il Rossano e SEZ\_24 per il Cappelletto), dal quale ha origine un rilevante effetto di esondazione; la portata residua nell'alveo a valle, sostanzialmente pari alla massima capacità di deflusso, si propaga fino alla foce senza ulteriori apporti (mentre nella condizione A è presente ancora un contributo distribuito del bacino residuo che provoca un ulteriore incremento del colmo).

La condizione B pertanto risulta più gravosa in termini di franco idraulico unicamente:

- nel tratto tombato RO\_C2 del Fosso Rossano (imbocco alla SEZ\_61) che presenta un funzionamento in pressione con un rilevante incremento dell'altezza piezometrica rispetto alla condizione A, pari rispettivamente per tempi di ritorno di 50/200/500 anni a +2,01/+2,93/+3,68 m (franco idraulico pari a -3,98/-5,21/-6,11 m);
- presso l'attraversamento CA\_P9 del Fosso Cappelletto su via Vittorio Veneto, con incremento del pelo libero rispetto alla condizione A pari rispettivamente per tempi di ritorno di 50/200/500 anni a +0,12/+0,16/+0,19 m (franco idraulico pari a -1,49/-1,60/-1,63 m); da questo attraversamento fuoriesce tutta la maggior portata della condizione B rispetto alla A, per cui a valle (per quanto già esposto) la A è maggiormente gravosa.

Il vigente Piano di Bacino definisce le caratteristiche idrauliche che le opere di ritenuta e gli attraversamenti puntuali o i tratti tombinati devono possedere per poter essere considerati adeguati al deflusso della piena di riferimento a tempo di ritorno 200 anni; in particolare sono definiti i franchi idraulici di sicurezza che devono essere rispettati in funzione della dimensione del bacino del corso d'acqua interferito (Tabella 19).

Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b)			
		Reticolo principale e secondario	Reticolo minore
<b>(a)</b>		$U^2/2g_s$	$0,5 U^2/2g_s$
<b>(b)</b>	I) argini e difese spondali	cm. 50/100	cm 50
	II) ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150	cm 75
	III) coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m. 12	cm. 150/200	cm 100

**Tabella 19 – Franchi idraulici di sicurezza che devono essere rispettati in funzione della dimensione del bacino del corso d’acqua interferito (Piano di Bacino Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico – Ambito 20 – Golfo della Spezia).**

I due valori del range definito per il reticolo principale e quello secondario corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati con previsione di modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con previsione di forte trasporto solido in caso di piena, e/o a bacini di maggiore o minore estensione; in particolare il reticolo principale e secondario viene definito in base alla seguente dimensione di bacino:

- a. corsi d’acqua di primo livello o principali sono le aste fluviali con bacino sotteso > 1 km<sup>2</sup>;
- b. corsi d’acqua di secondo livello o secondari sono le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 1 e 0,25 km<sup>2</sup>;
- c. corsi d’acqua di terzo livello o minori sono le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 0,25 e 0,1 km<sup>2</sup>, con l’aggiunta delle aste con bacini inferiori a 0,1 km<sup>2</sup> con fasce di inondabilità perimetrate nel Piano.

Il Fosso Rossano e il Fosso Cappelletto presentano un bacino sotteso di estensione maggiore di 1 km<sup>2</sup> e quindi, secondo il PdB, ricadono nell’ambito del reticolo principale. Il bacino può essere considerato poco dissestato nell’area in studio, con previsione di contenuto trasporto solido in caso di piena, per cui si ritiene applicabile il valore minimo tra quelli indicati.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC2018), applicabili però ai ponti di nuova costruzione, definiscono inoltre vincoli sui franchi idraulici maggiormente stringenti (1,5 m rispetto all’evento di piena duecentennale); in questo caso le tombinature e attraversamenti sui corsi d’acqua in esame rientrerebbero però nelle disposizioni specifiche per i “tombini” ai sensi di quanto indicato dalla Circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n.7/2019, in ragione della portata massima inferiore a 50 m<sup>3</sup>/s. Essendo tali norme meno stringenti di quelle definite nel PdB, si fa riferimento a queste ultime.

Tutto il primo tratto del Fosso Rossano fino all’attraversamento della ferrovia compreso (RO\_P3) presenta per l’evento di piena duecentennale franchi idraulici compresi tra 0,8 m e 1,1 m, ad eccezione del primo attraversamento di via Taviani (RO\_P1) in cui il franco è pari a 0,6 m ed è condizionabile dalla significativa

presenza di vegetazione. La capacità di smaltimento dell'evento di piena di riferimento per questo tratto è dunque discreta, per quanto ai sensi del PdB i manufatti debbano essere ritenuti tutti idraulicamente inadeguati in quanto di estensione longitudinale superiore ai 12 m (richiedendo pertanto un franco minimo di 1,5 m rispetto all'evento TR200).

La porzione tombata intermedia del Fosso presenta un funzionamento marcatamente in pressione, ed è pertanto idraulicamente inadeguata. Il tratto terminale interessato dalla sistemazione in progetto nell'area portuale (RO\_C4) presenta un franco idraulico di 1,0 m, con quindi una discreta capacità di smaltimento della piena; nuovamente ai sensi del PdB l'opera è da ritenersi inadeguata in quanto il franco è inferiore a 1,5 m.

Nei tratti in esame di Fosso Andreino e rio Monte Pertico i tratti d'alveo tombati (larga prevalenza) sono costituiti da collettori di tipo fognario, con funzionamento marcatamente in pressione, e sono pertanto tutti inadeguati.

Per il Fosso Cappelletto risulta pienamente adeguato il solo ponte di via Pertini. I recenti attraversamenti viabili e pedonale di collegamento con il centro commerciale delle Terrazze mostrano un franco ridotto ( $0,3 \div 0,7$  m) a causa dell'effetto di rigurgito del ponte ferroviario più a valle. Il franco idraulico rispetto alle sponde in questo tratto è relativamente ampio, ma l'impalcato degli attraversamenti è ribassato rispetto ai piani spondali.

Tutti gli attraversamenti del tratto intermedio mostrano un funzionamento in pressione e sono pertanto idraulicamente inadeguati. Il tratto terminale (CA\_C1, CA\_C2, CA\_C3), interessato dal progetto di sistemazione in area portuale, mostra un discreto funzionamento idraulico, con franchi di  $0,7 \div 0,8$  m rispetto all'evento duecentennale, ma è comunque da ritenersi inadeguato ai sensi del vigente PdB, dovendo rispettare un franco idraulico di 1,5 m.

Si precisa come le valutazioni esposte sul tratto terminale dei due corsi d'acqua siano ovviamente influenzate dalla condizione di valle imposta nel modello (livello di mare a +0,50 m s.m.), che condiziona il profilo idrico di piena nella tombatura.

## **5.4 Risultati delle simulazioni MIKE 21**

### **5.4.1 Condizione A - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)**

In Figura 53 e Figura 54 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquantennale.

In Figura 53 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 54 la colorazione blu indica le velocità minori mentre quella rossa le maggiori.

Le aree interne all'alveo inciso non sono rappresentate perché, come già detto, il loro contributo al deflusso viene considerato nell'ambito del modello MIKE11.



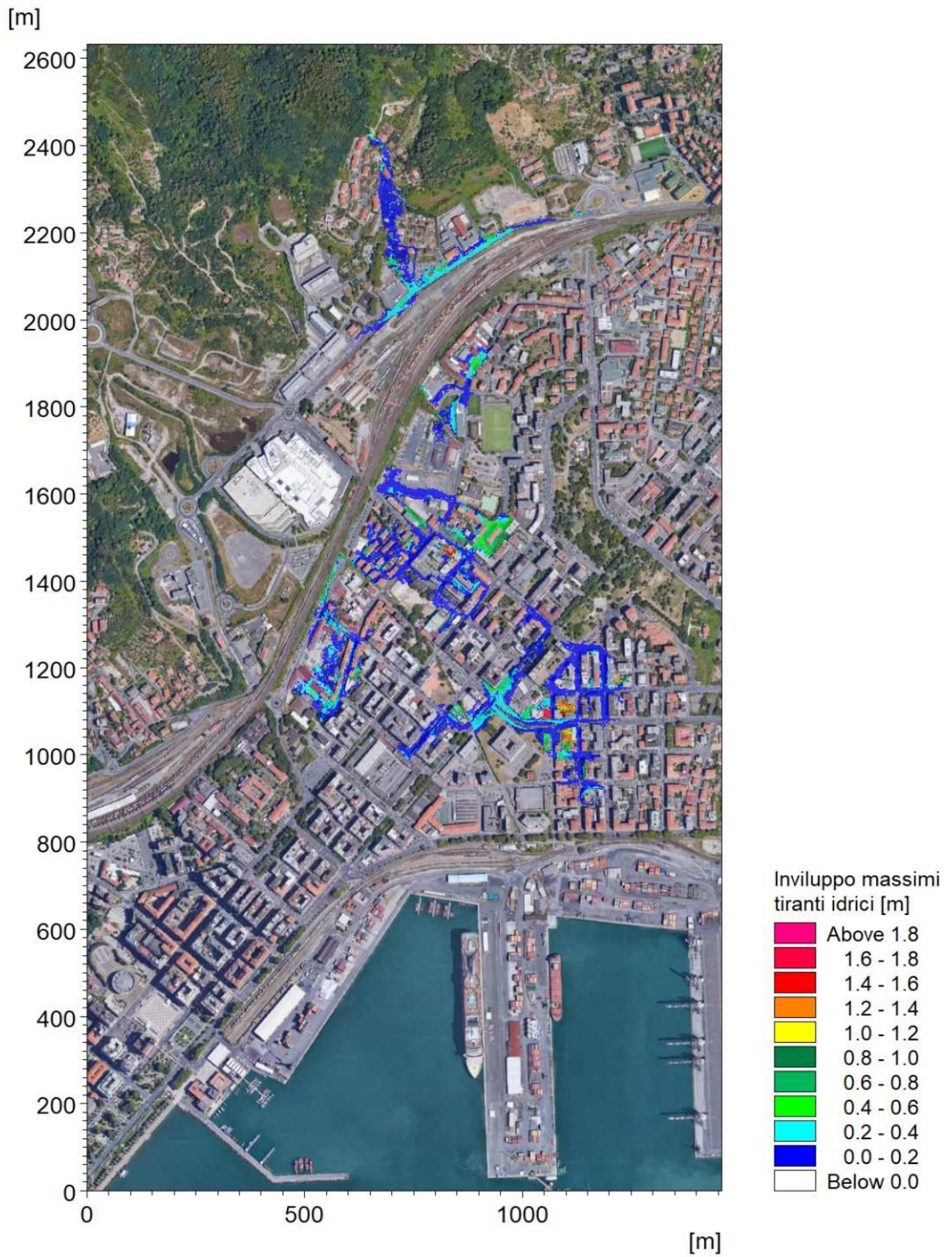


Figura 53 – Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna, Scenario A - TR50.



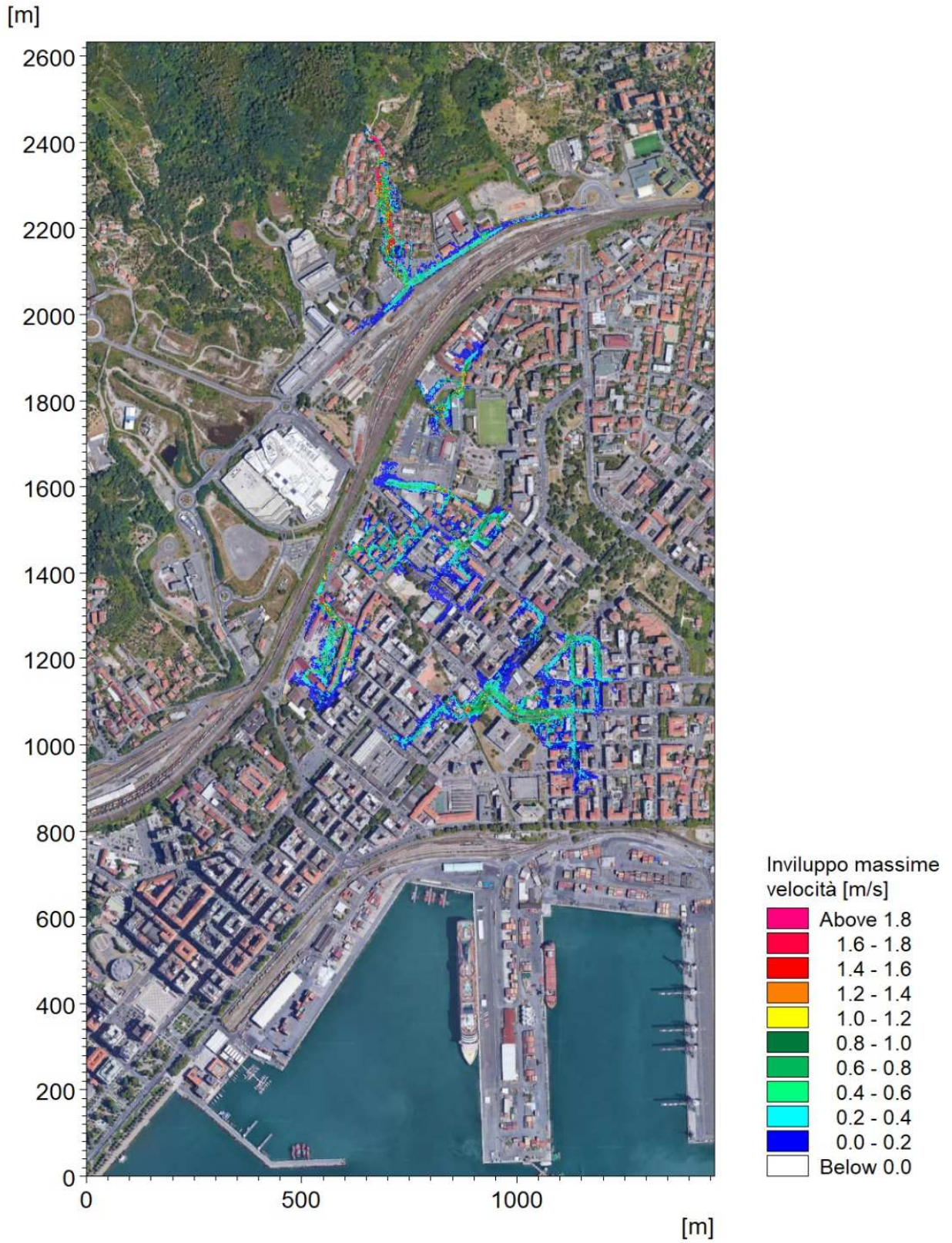


Figura 54 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso, Scenario A - TR50.

Nelle mappe sono rappresentate le aree di esondazione del Fosso Rossano e quelle del Fosso Cappelletto che si sovrappongono nell'area compresa tra le due aste fluviali.

Si nota come gli allagamenti siano significativamente estesi ed interessino aree urbanizzate a monte e a valle dell'attraversamento ferroviario.

Per quanto riguarda il Fosso Rossano si evidenzia quanto segue.

- A monte della linea ferroviaria l'esondazione è dovuta unicamente al tratto di monte del Fosso Andreino, e particolarmente alle esondazioni che si verificano all'imbocco della tombinatura (di dimensioni inadeguate). Il flusso si propaga lungo la viabilità in forte pendenza e si estende verso valle fino contro il rilevato ferroviario, allagando via Fontevivo e estendendosi verso Est fino a raggiungere l'attraversamento del rio Monte Pertico.
- A valle della ferrovia le esondazioni del Fosso Rossano avvengono dall'unico tratto a cielo aperto in adiacenza all'area di deposito mezzi dell'ATC, da cui la portata si propaga il larga prevalenza sulla sponda sinistra, a causa della conformazione morfologica delle aree in destra.
- Significative fuoriuscite di portata avvengono inoltre dai pozzetti dislocati lungo il tratto tombato, sia presso la confluenza di Andreino e Monte Pertico, sia più a valle lungo l'asta principale. L'esondazione si estende verso valle raggiungendo e superando via Saffi.

Per quanto riguarda il Fosso Cappelletto si può notare quanto segue.

- Il passaggio dell'onda di piena cinquantennale provoca esondazioni nelle aree a valle dell'attraversamento ferroviario, prevalentemente nel tratto fino a via Lunigiana.
- Più a valle gli allagamenti sono dovuti all'inadeguatezza dell'attraversamento di viale Italia (CA\_P11) e interessano prevalentemente le aree comprese tra via XXIV Maggio e viale Italia.

Per meglio comprendere le dinamiche di allagamento delle varie aree si riportano alcuni istanti significativi dell'evento, che descrivono la propagazione dei deflussi di piena nelle aree urbanizzate del Fosso Rossano e del Fosso Cappelletto. Nelle immagini si fa riferimento a degli orari nel sistema temporale del modello, congruenti con gli idrogrammi di input immessi .

La Figura 56 e Figura 57 descrivono due istanti dell'esondazione che interessa il Fosso Andreino e che si propaga lungo via Vailunga fino a raggiungere in circa 10 minuti il rilevato ferroviario, il quale rappresenta uno sbarramento alla prosecuzione ulteriore verso valle. Le acque di esondazione si propagano allora lateralmente lungo via Fontevivo.

La Figura 57 e la Figura 58 descrivono le dinamiche di esondazione del Fosso Rossano nel tratto a cielo aperto (di modesta estensione, circa 90 m) in adiacenza all'area di deposito mezzi dell'ATC. La fuoriuscita di portata inizia in sponda sinistra a valle dei fabbricati esistenti (Figura 57) e in un secondo momento interessa la sponda destra, nel punto in cui la scarpata che si raccorda con il piano campagna degrada verso valle. Le esondazioni si propagano in sponda sinistra lungo via Lunigiana e in sponda destra interessano la porzione orientale del piazzale dell'area ATC.

Nella Figura 58 è individuata (a titolo di esempio) la localizzazione di due pozzetti dal quale fuoriesce portata sul piano viabile per effetto del comportamento in pressione dei sottostanti tratti tombati del Fosso Rossano e degli affluenti.



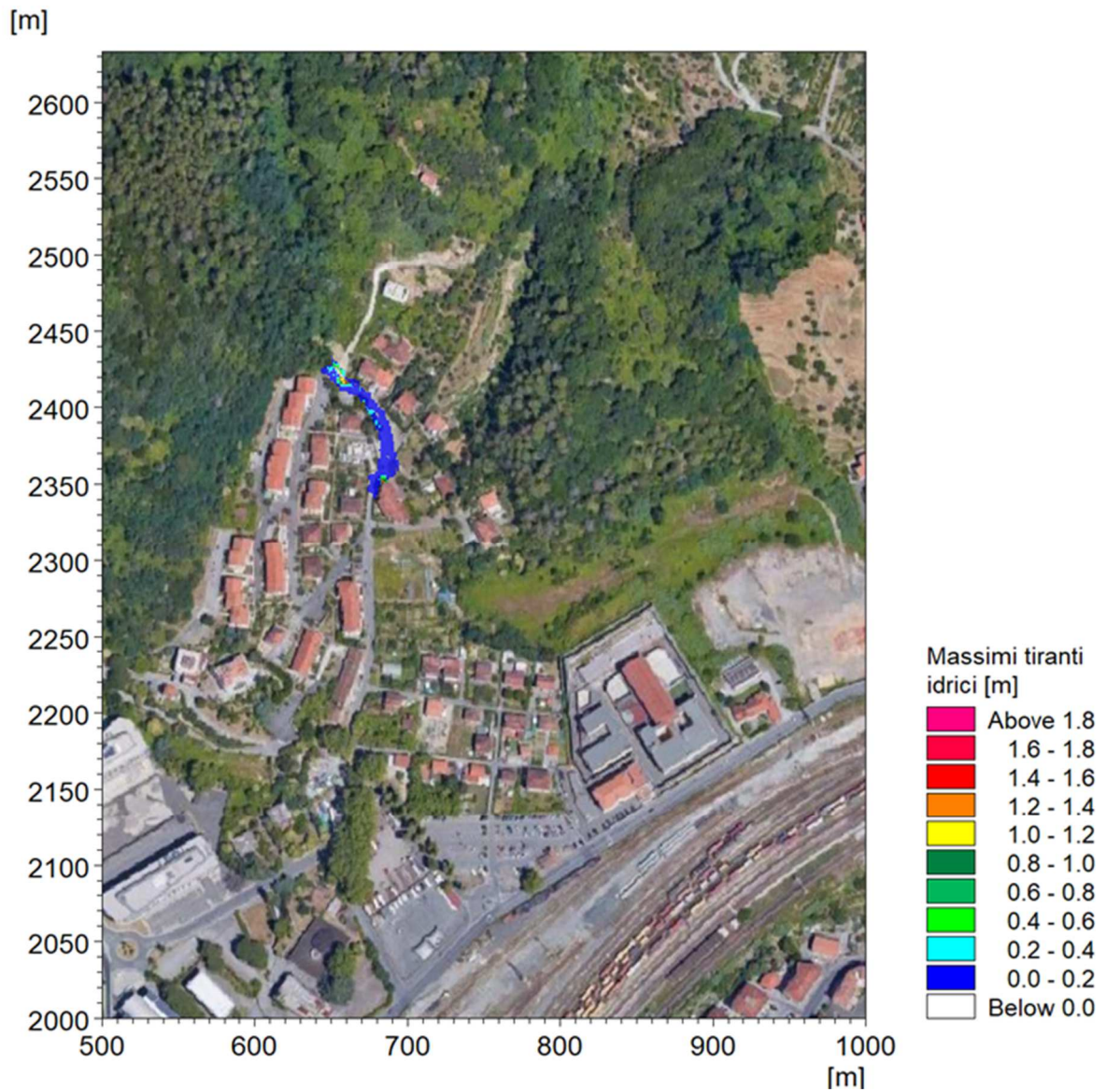


Figura 55 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:36 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 17), ScENARIO A – TR50 (Fosso Andreino).

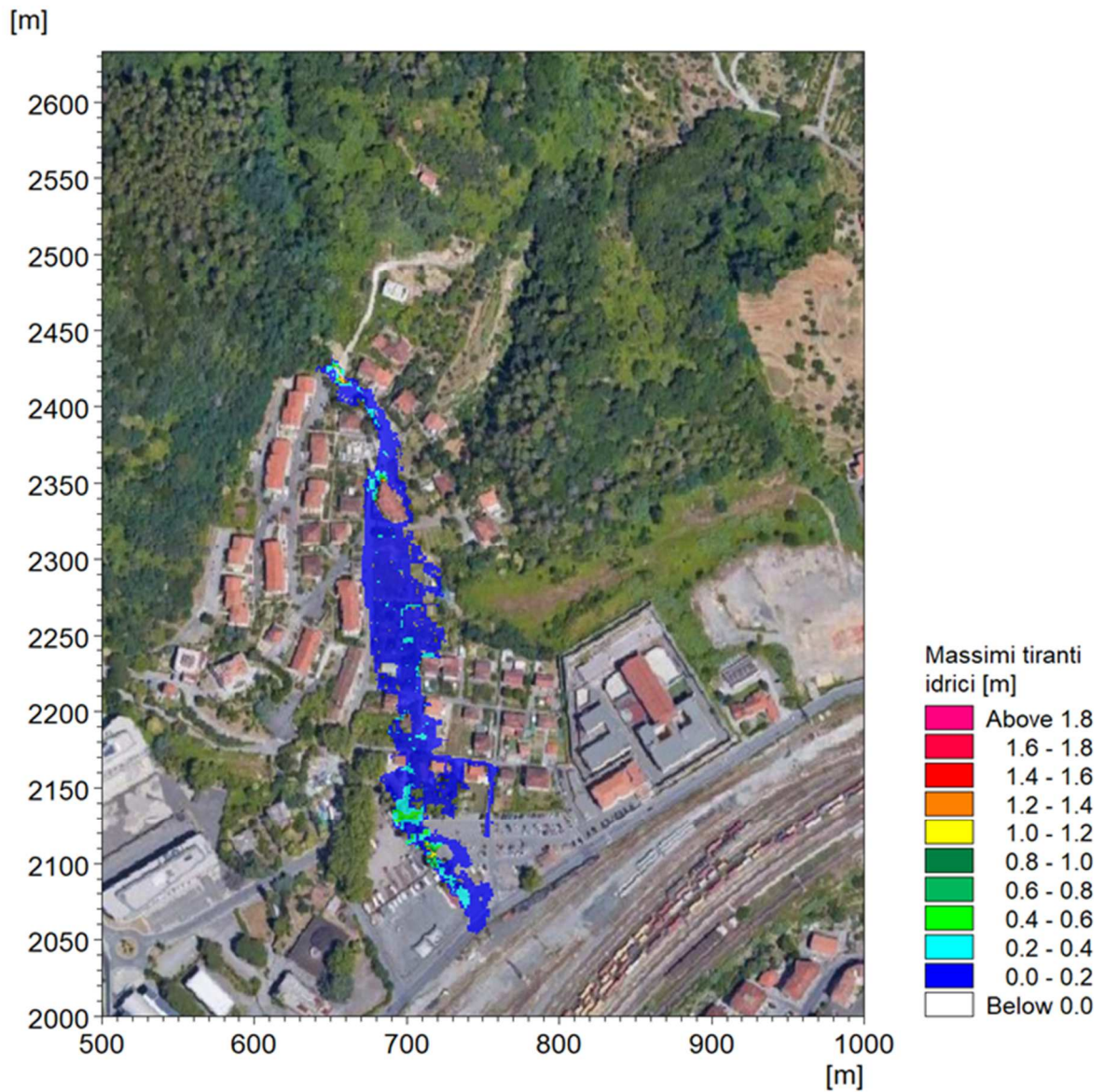


Figura 56 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:46 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 17), Scenario A – TR50 (Fosso Andreino).



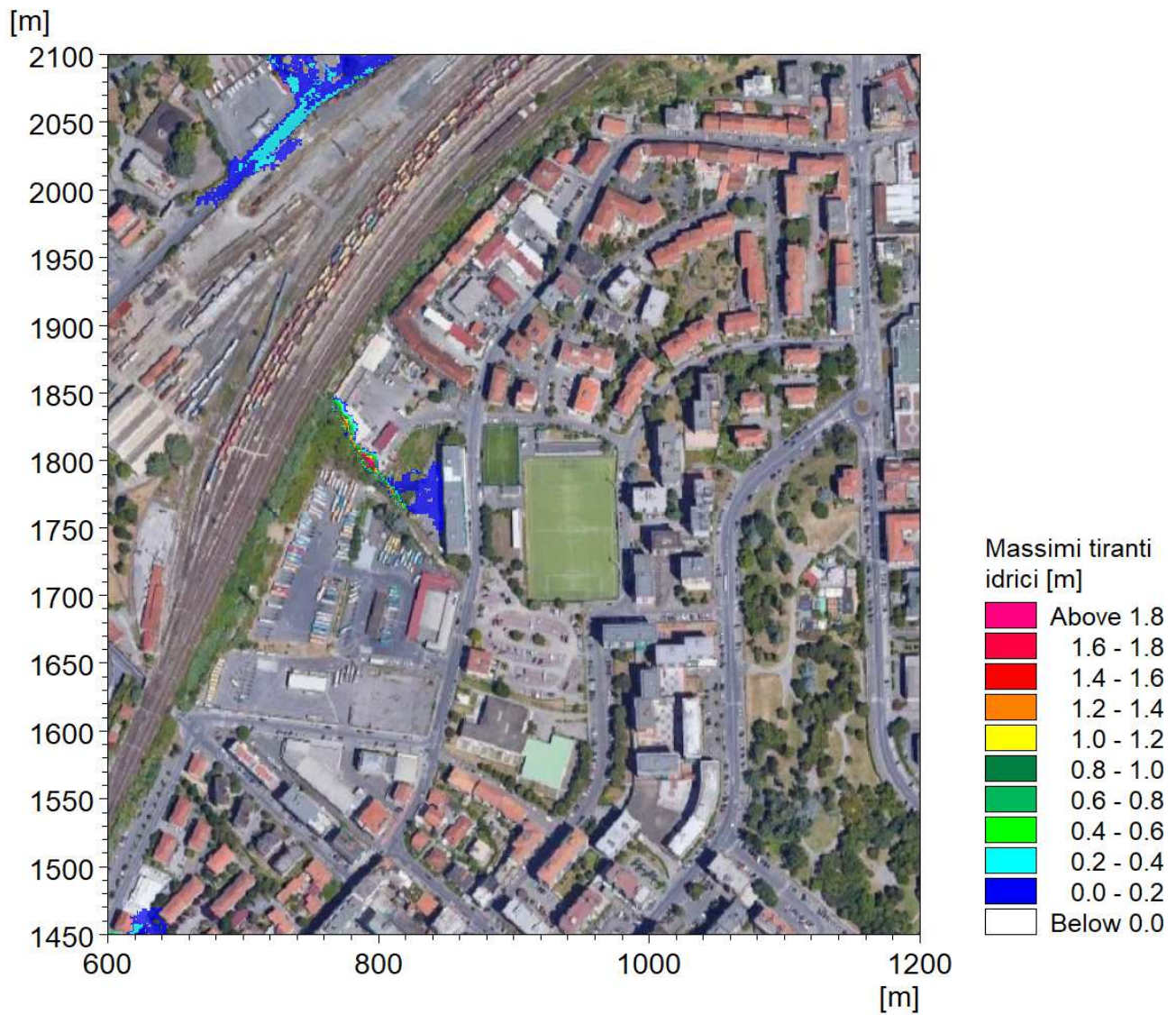


Figura 57 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:56 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 15), Scenario A – TR50.

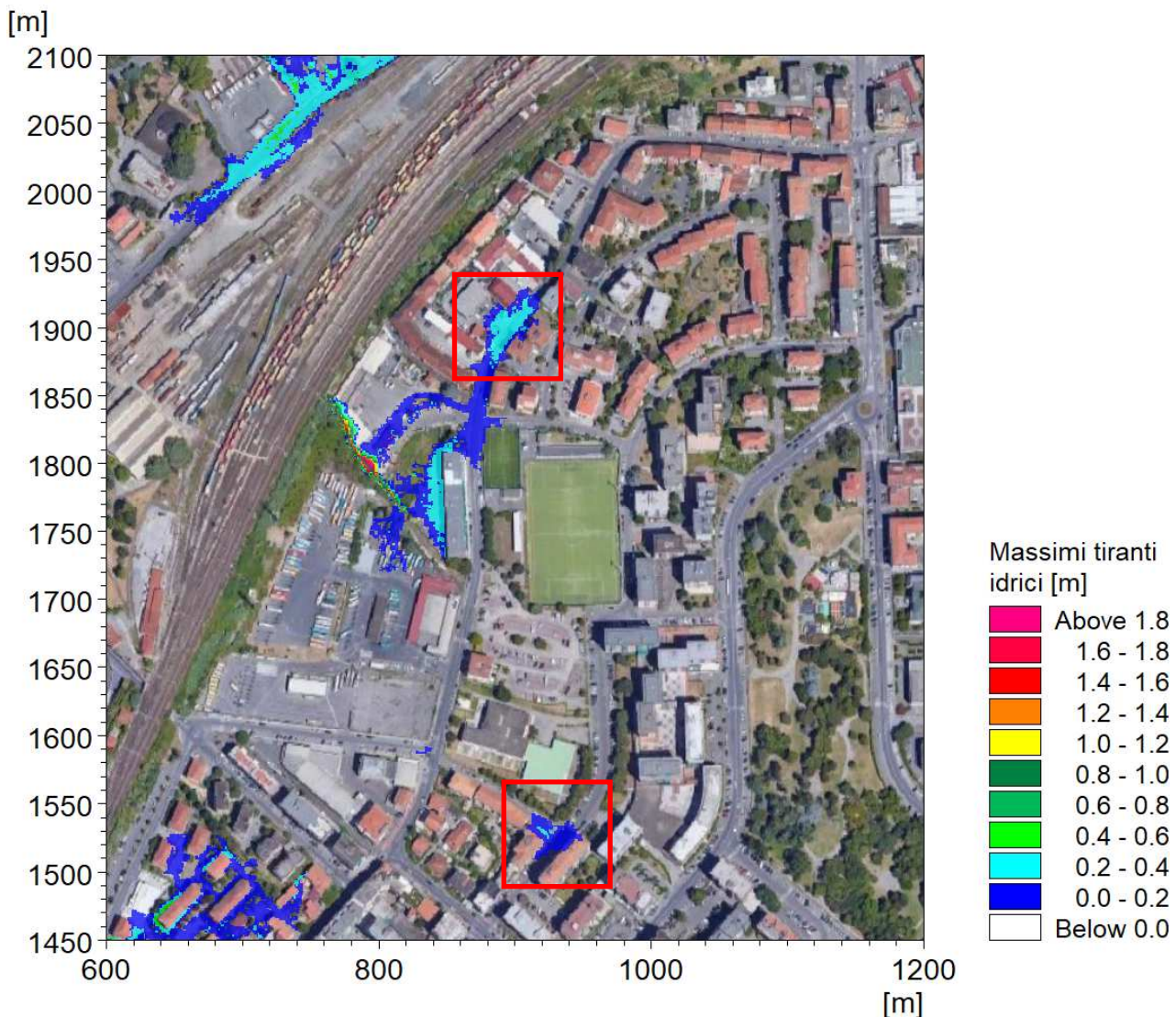


Figura 58 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:04 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 15), Scenario A – TR50. I riquadri rossi indicano la localizzazione di pozzetti dai quali fuoriesce portata sul piano viabile.

La Figura 59 evidenzia, per il Fosso Cappelletto, l'inizio dell'esondazione lungo entrambe le sponde del tratto subito a valle della ferrovia e di quello a monte di viale Italia. In Figura 60, Figura 61 e Figura 62 si può osservare come, nei 26 minuti successivi all'avvio dell'esondazione, la portata fuoriuscita si propaghi secondo la pendenza del terreno lungo le vie adiacenti.

Nella Figura 61 è indicata inoltre la localizzazione di pozzetti del Fosso Rossano dal quale fuoriesce portata sul piano viabile per il funzionamento in pressione dell'alveo tombato sottostante. La successiva Figura 62 evidenzia come tale portata crei un'area di esondazione che va a interessare le stesse aree già allagate dal Fosso Cappelletto (tra via Agretti e via Carducci).



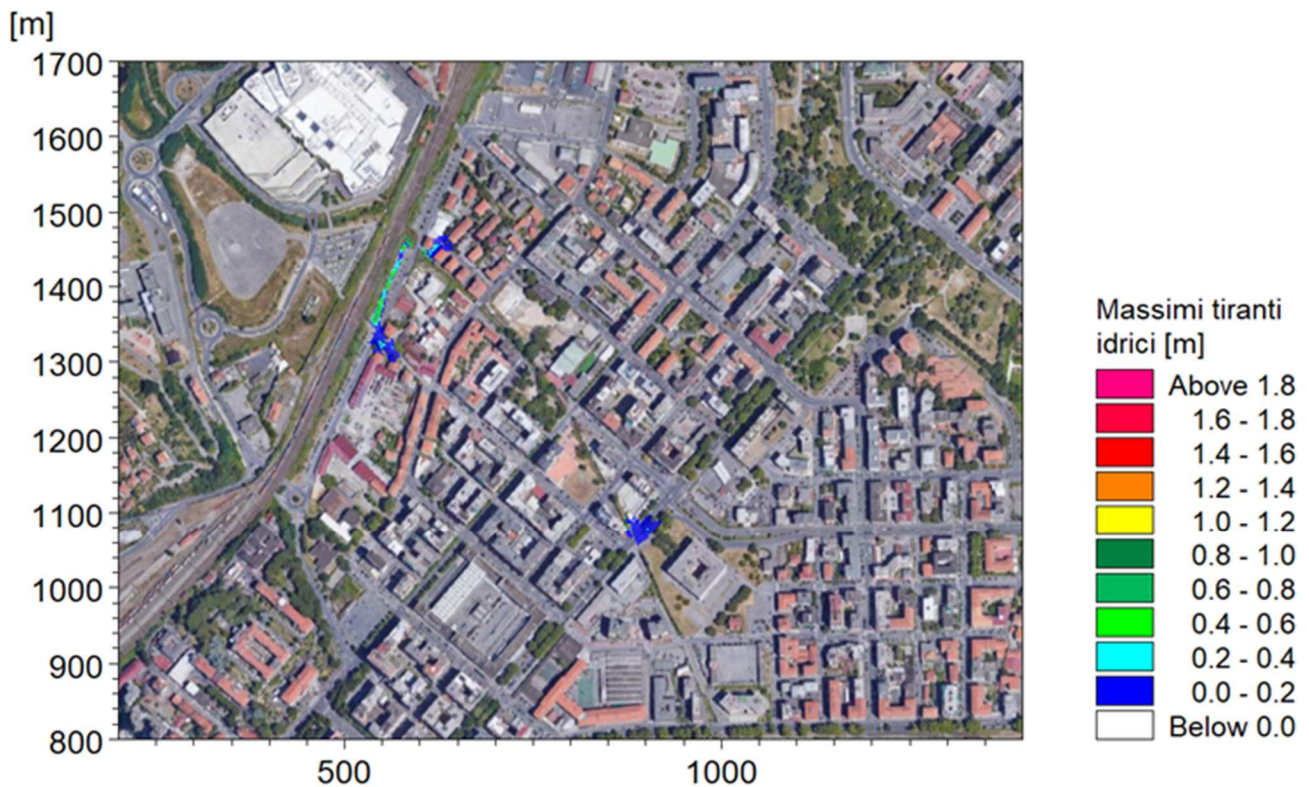


Figura 59 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:56 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 40), ScENARIO A.

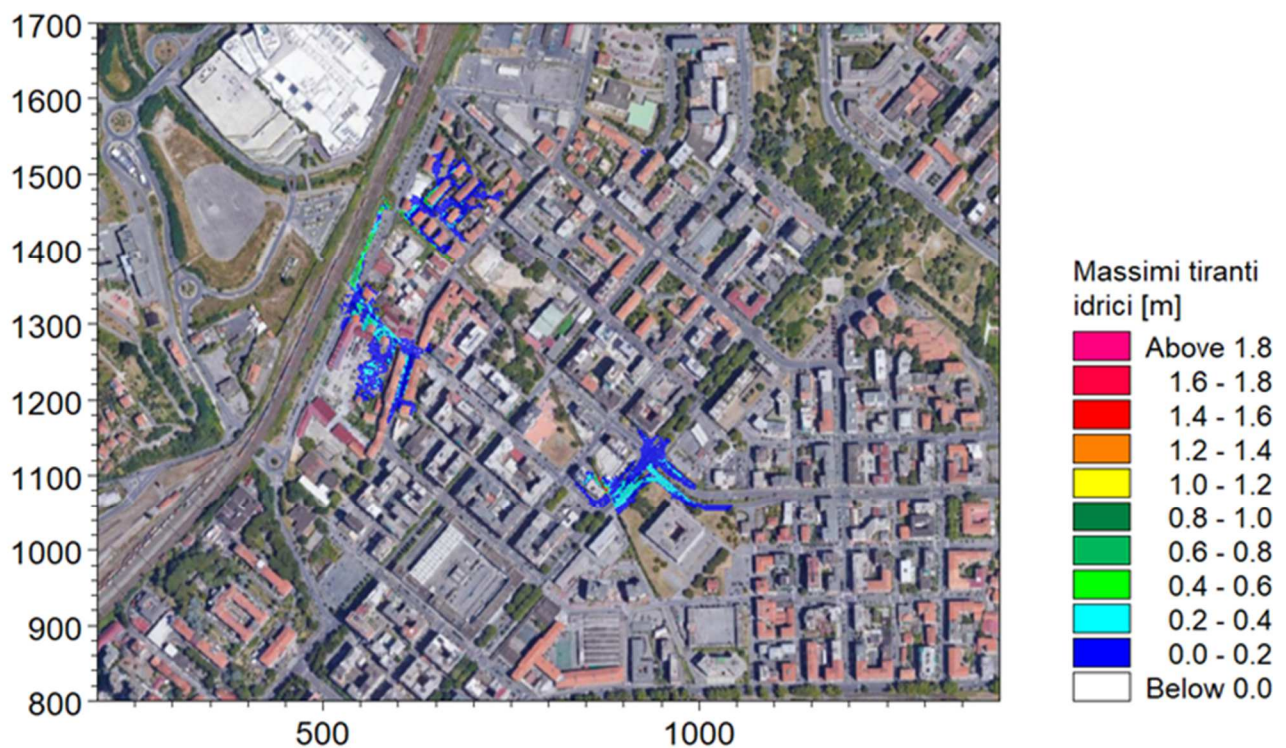


Figura 60 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:02 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 40), ScENARIO A – TR50.



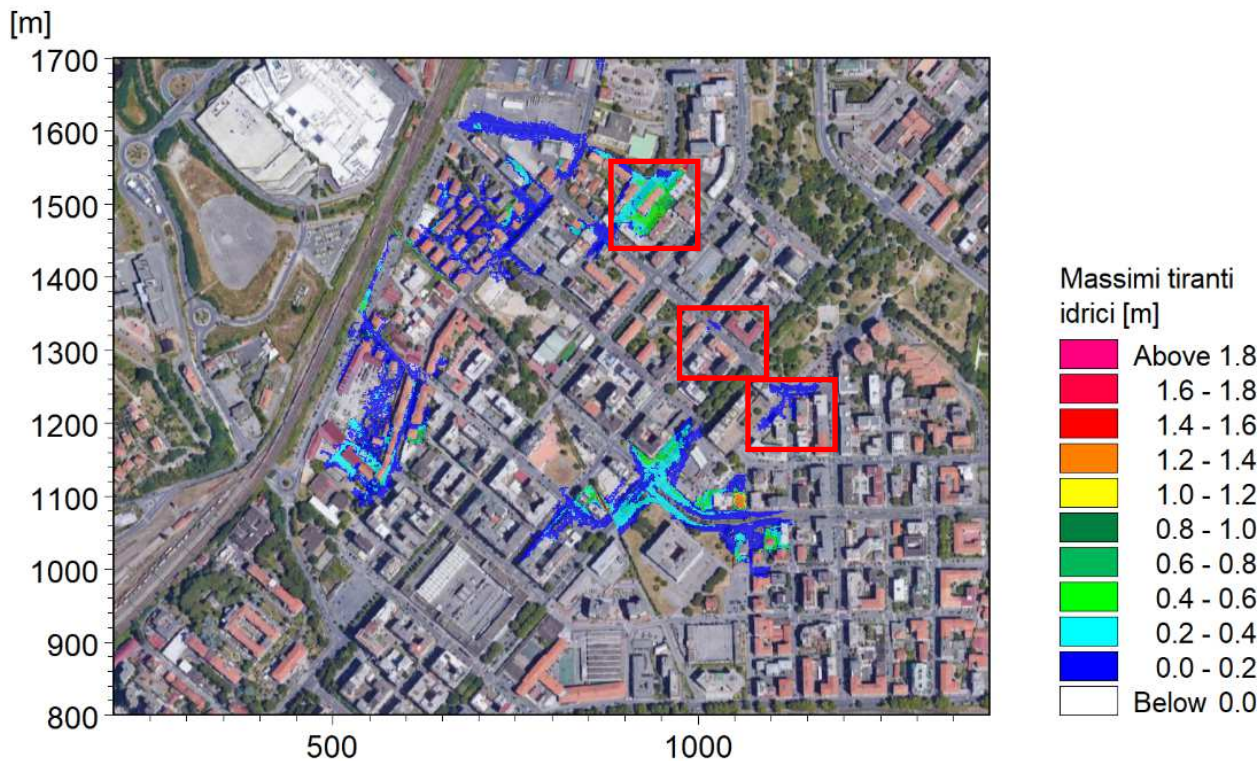


Figura 61 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:14 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 15), Scenario A – TR50. I riquadri rossi indicano la localizzazione di pozzetti dai quali fuoriesce portata sul piano viabile.

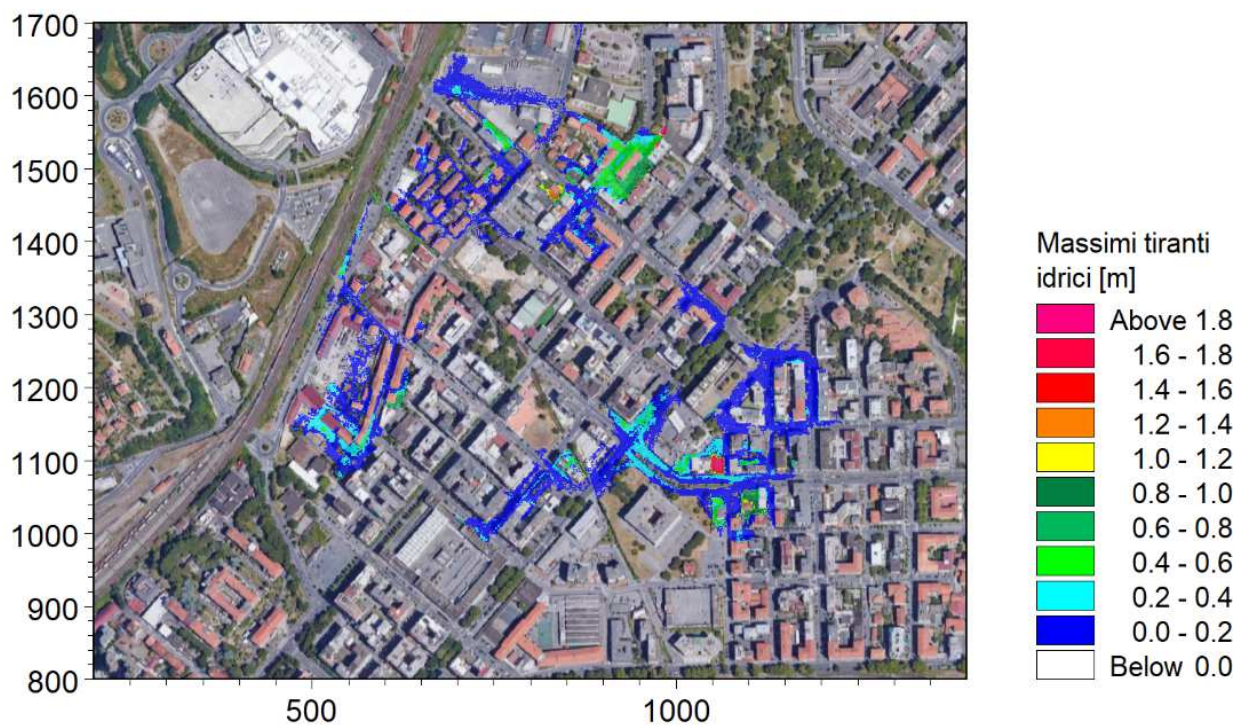


Figura 62 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:22 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma Figura 15), Scenario A – TR50.

#### 5.4.2 Condizione A - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

In Figura 63 e Figura 64 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno duecentennale.

Quest'ultima mostra risultati simili a quelli dello scenario precedentemente descritto (A – TR50) ad eccezione della maggiore entità in termini di valori dei tiranti idrici in alveo e conseguentemente delle portate e volumi esondati, con un aumento delle aree bagnate.

A differenza dello scenario A - TR50, per l'evento duecentennale si osserva per il Fosso Cappelletto anche un'esondazione in sponda destra a monte del ponte di Via Vittorio Veneto (CA\_P9).

Le aree allagate interessano porzioni più ampie del centro urbano e l'esondazione si estende maggiormente verso valle raggiungendo viale San Bartolomeo, senza tuttavia propagarsi ulteriormente entro l'area portuale.



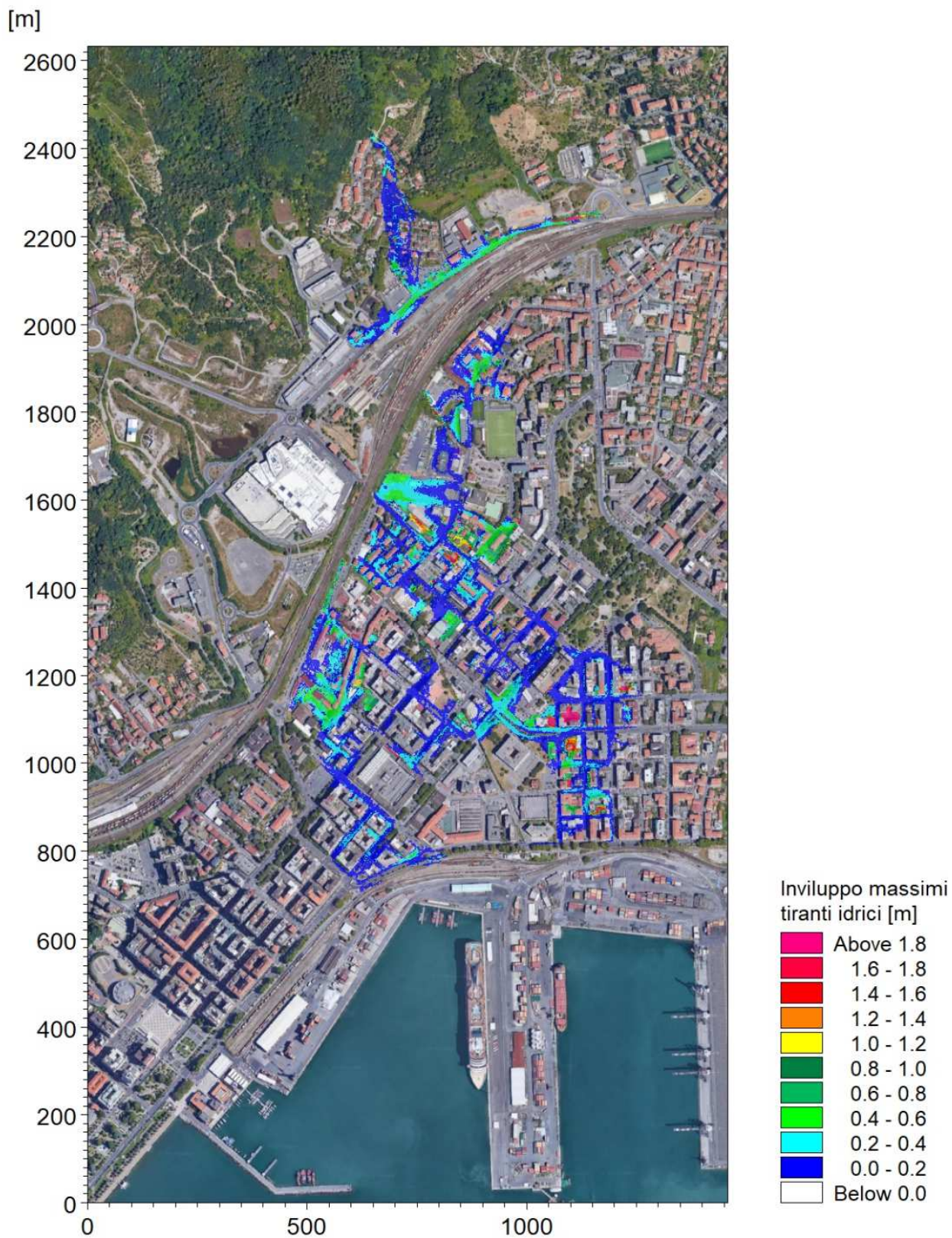


Figura 63 – Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna, Scenario A - TR200.



[m]

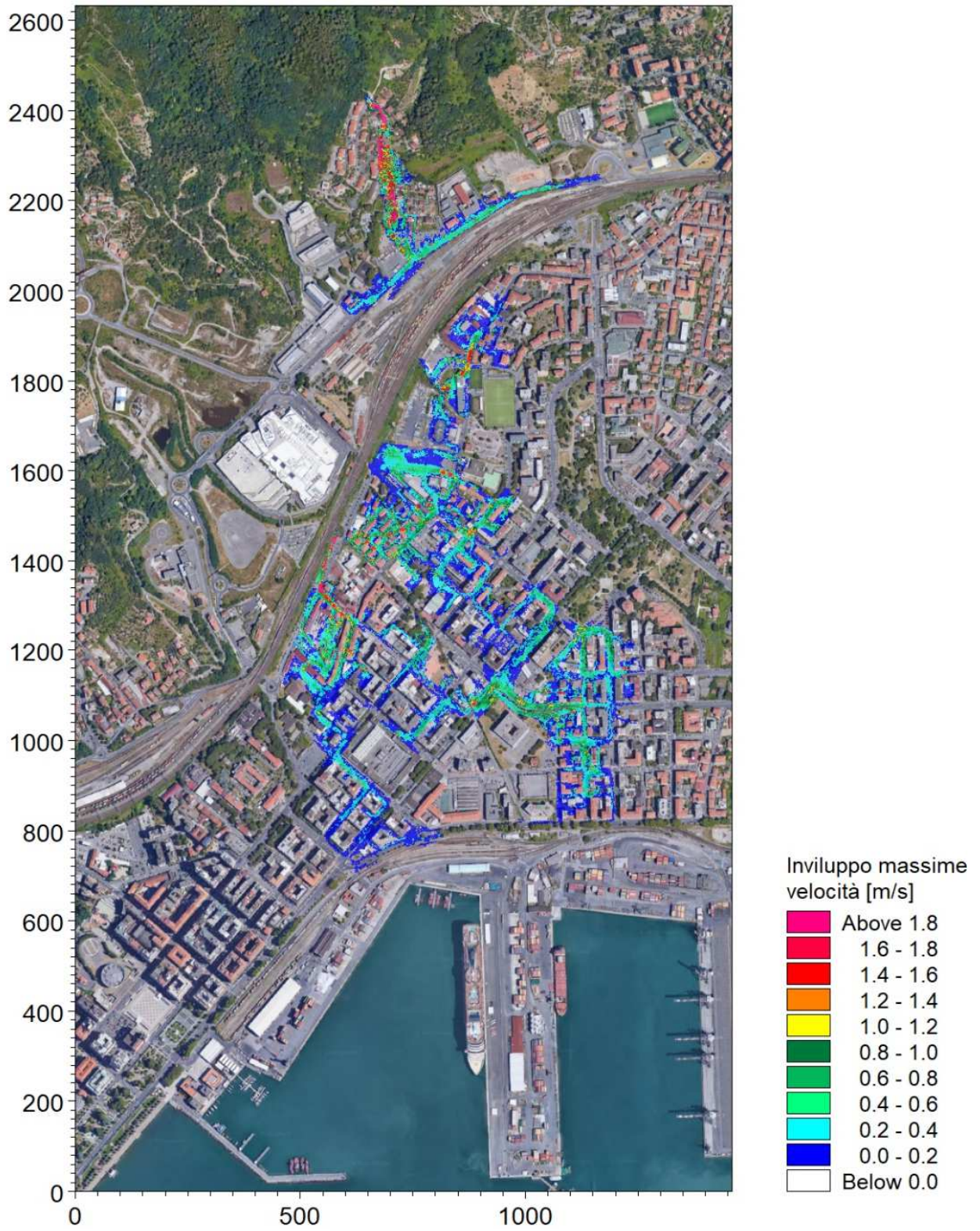


Figura 64 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità, Scenario A - TR200.



### 5.4.3 Condizione A - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

In Figura 65 e Figura 66 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

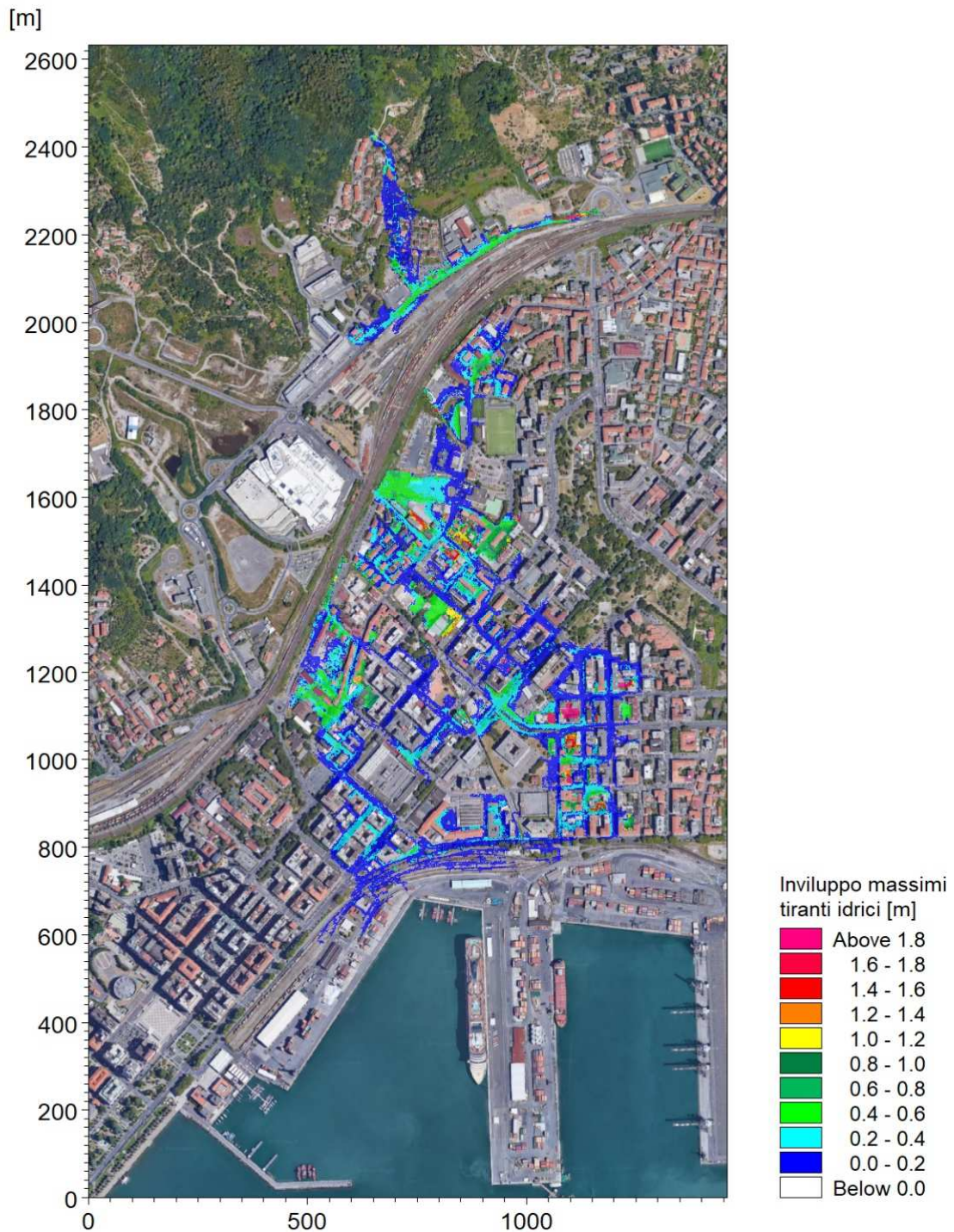


Figura 65 – Distribuzione inviluppo dei massimi tiranti idrici rispetto al piano campagna, Scenario A - TR500.



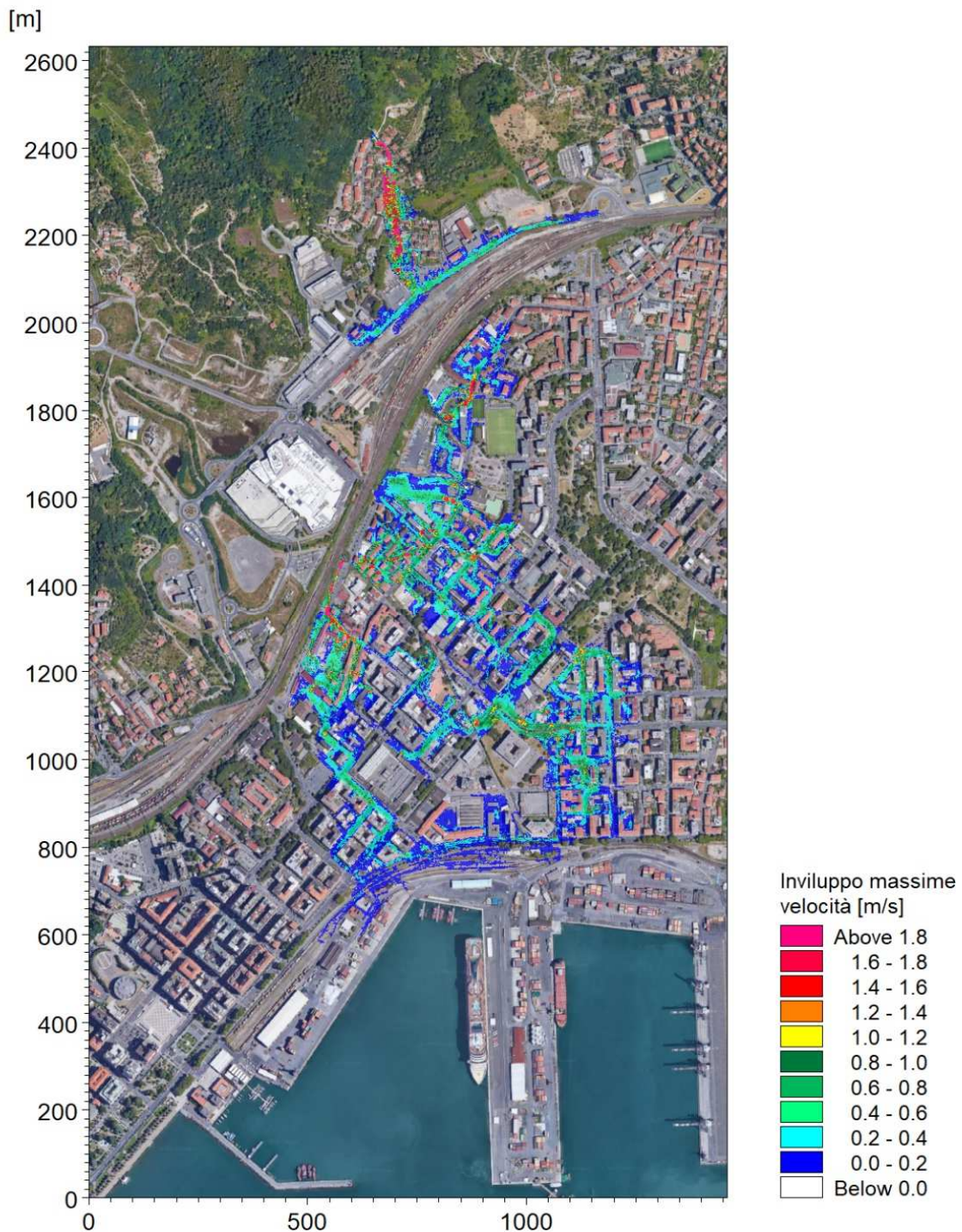


Figura 66 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità. TR=500 anni, Scenario A, TR500.

Lo scenario A - TR500 mostra una sostanziale sovrapposizione con i risultati delle simulazioni precedenti ad eccezione della maggiore entità delle esondazioni. L'aumento dell'estensione delle aree bagnate è modesto e riguarda soprattutto l'ingressione di portata nell'area portuale all'altezza di via S.Cipriano (inizio di viale S. Bartolomeo) dove è presente un varco nel muro perimetrale.

#### 5.4.4 Condizione B - TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

In Figura 67 e Figura 68 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquantennale.

In Figura 67 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 68 la colorazione blu indica le velocità minori mentre quella rossa le maggiori.

Le aree interne all'alveo inciso non sono rappresentate perché, come già detto, il loro contributo al deflusso viene considerato nell'ambito del modello MIKE11.

La condizione B prevede l'immissione di un idrogramma di piena pari a quello atteso alla foce in posizione intermedia al tratto di analisi, così da trascurare gli effetti di riduzione del colmo dovuti alle esondazioni occorse più a monte per l'inadeguatezza idraulica delle tombinature (v. scenari di condizione A).

Nella condizione B non vi sono dunque aree di esondazione a monte della ferrovia poiché non è rappresentato il deflusso nel Fosso Andreino, né vi sono allagamenti nelle aree subito a valle della linea ferroviaria (tratto a cielo aperto del Fosso Rossano, attraversamenti inadeguati sul Fosso Cappelletto a monte di via Lunigiana).

Per quanto riguarda il Fosso Rossano, nel presente scenario si riscontra un'esondazione più marcata in corrispondenza dei pozzetti a partire dall'incrocio di Via Lunigiana e Via Ferrara, con allagamento completo della porzione meridionale del deposito ATC e propagazione nell'urbanizzato a Sud-Est, fino a raggiungere viale San Bartolomeo nell'area compresa tra via Tazzoli e Corso Nazionale.

Per il Fosso Cappelletto, rispetto all'omologo scenario di condizione A si riscontrano maggiori esondazioni in sponda destra tra Via Lunigiana e Via Vittorio Veneto.



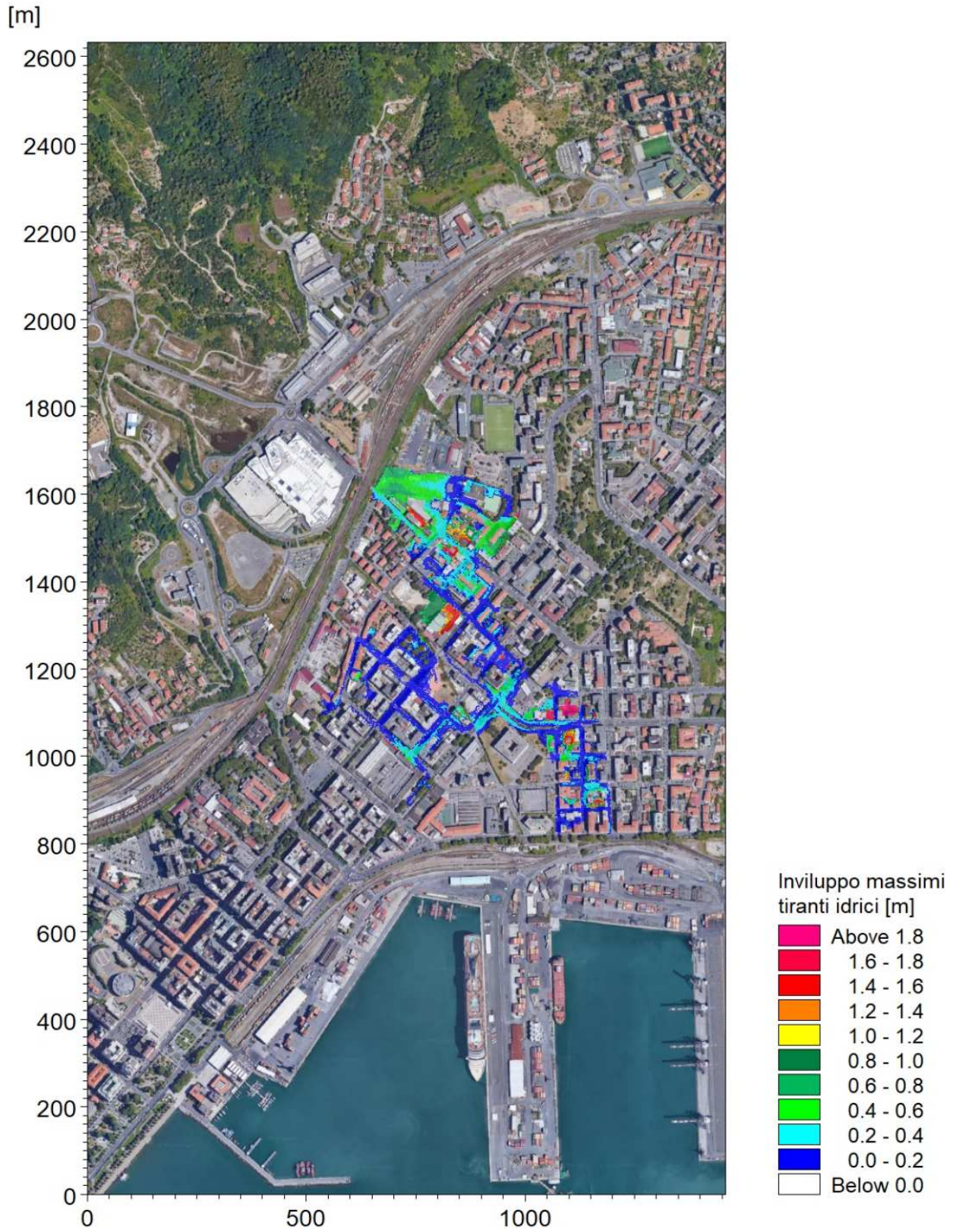


Figura 67 – Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna, Scenario B - TR50.



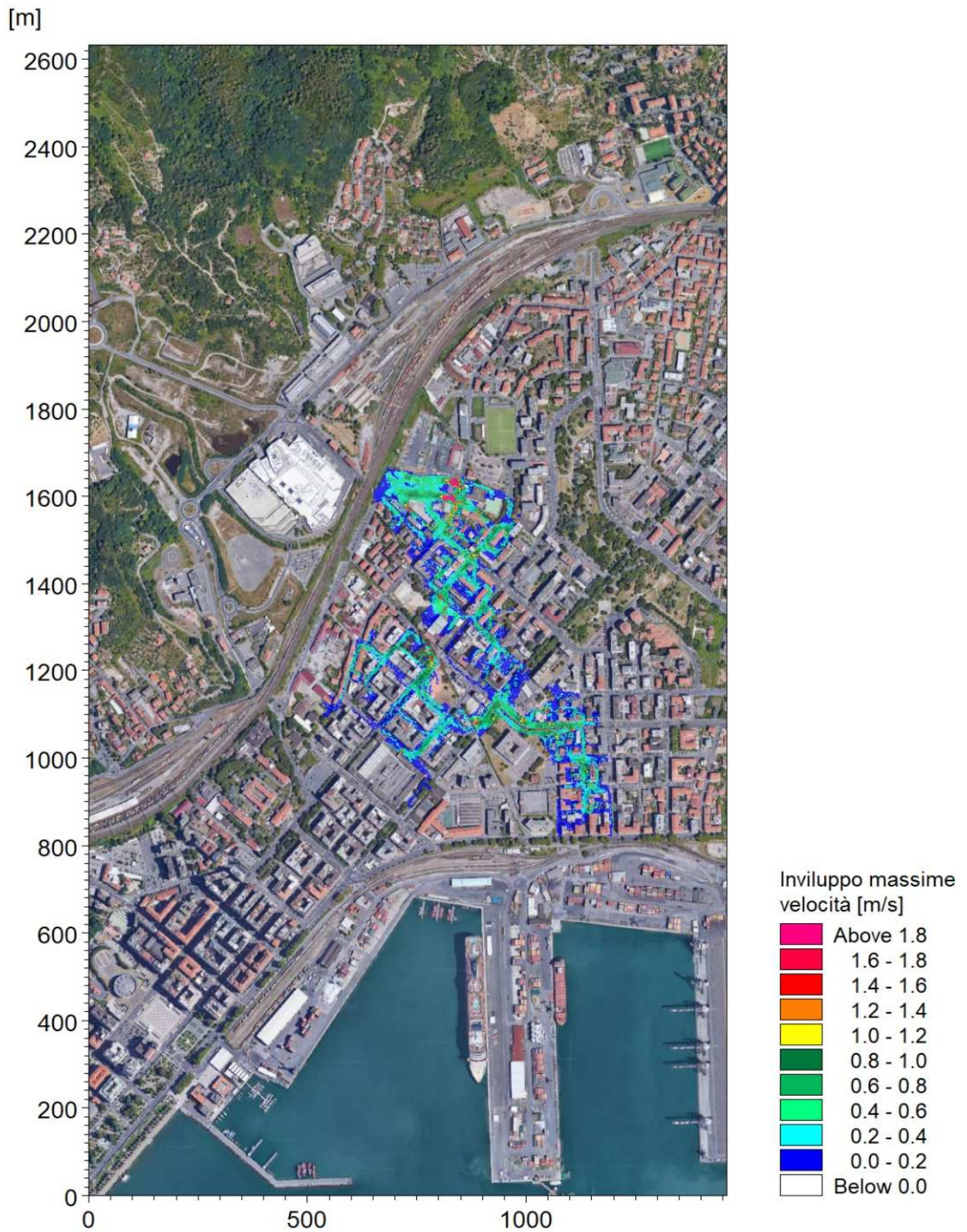


Figura 68 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità di flusso, Scenario B - TR50.



#### 5.4.5 Condizione B - TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

In Figura 69 e Figura 70 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno duecentennale.

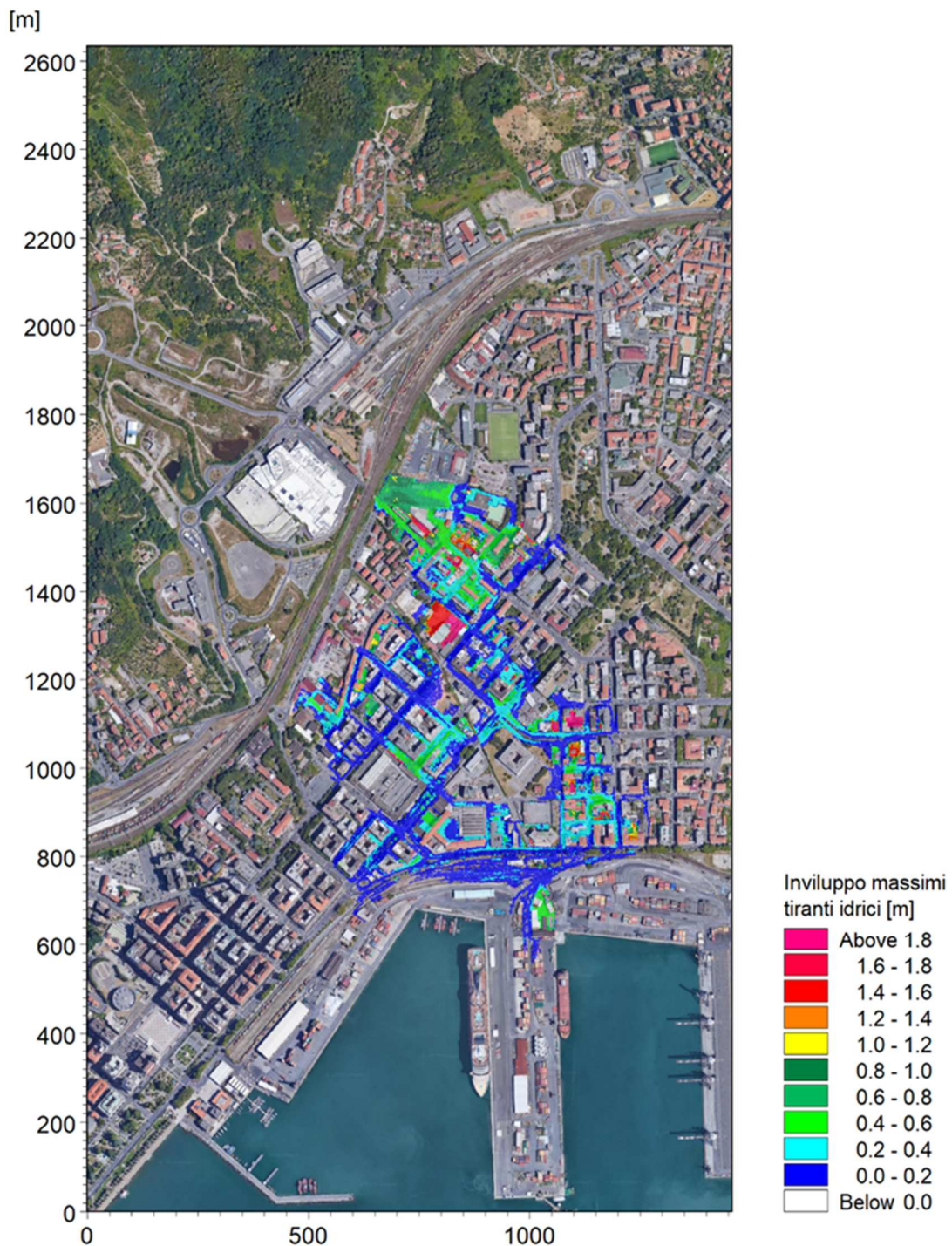


Figura 69 – Distribuzione inviluppo delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna, Scenario B - TR200.

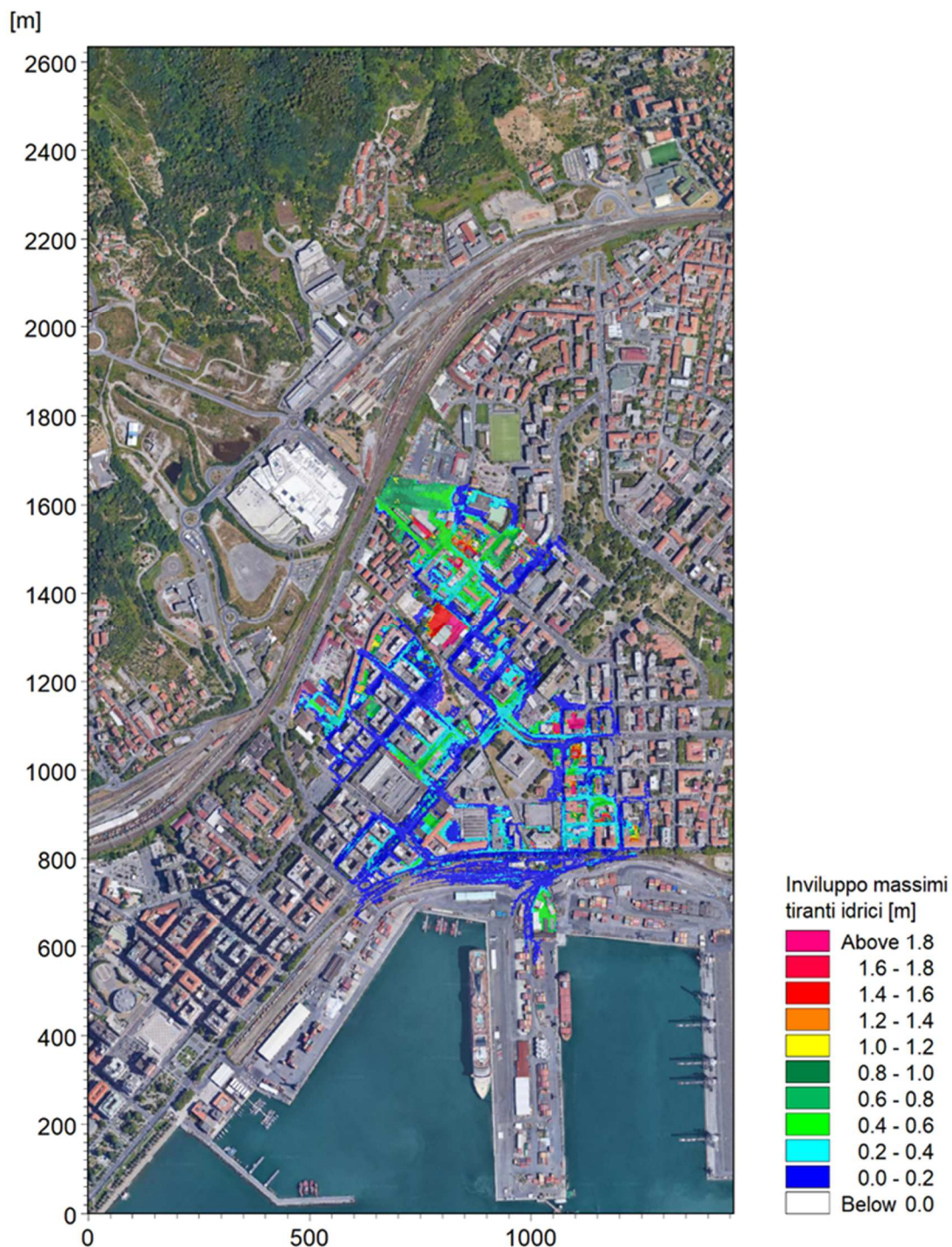


Figura 70 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità, Scenario B, TR200.

Valgono le medesime considerazioni espote per lo scenario B – TR50. Per il Fosso Cappelletto l'esondazione in sponda destra tra Via Lunigiana e Via Vittorio Veneto avviene lungo una maggiore estensione di asta fluviale e determina aree di allagamento più estese. Si osserva una propagazione delle esondazioni anche a Sud di viale S. Bartolomeo, entro l'area portuale.



#### 5.4.6 Condizione B - TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

In Figura 71 e Figura 72 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

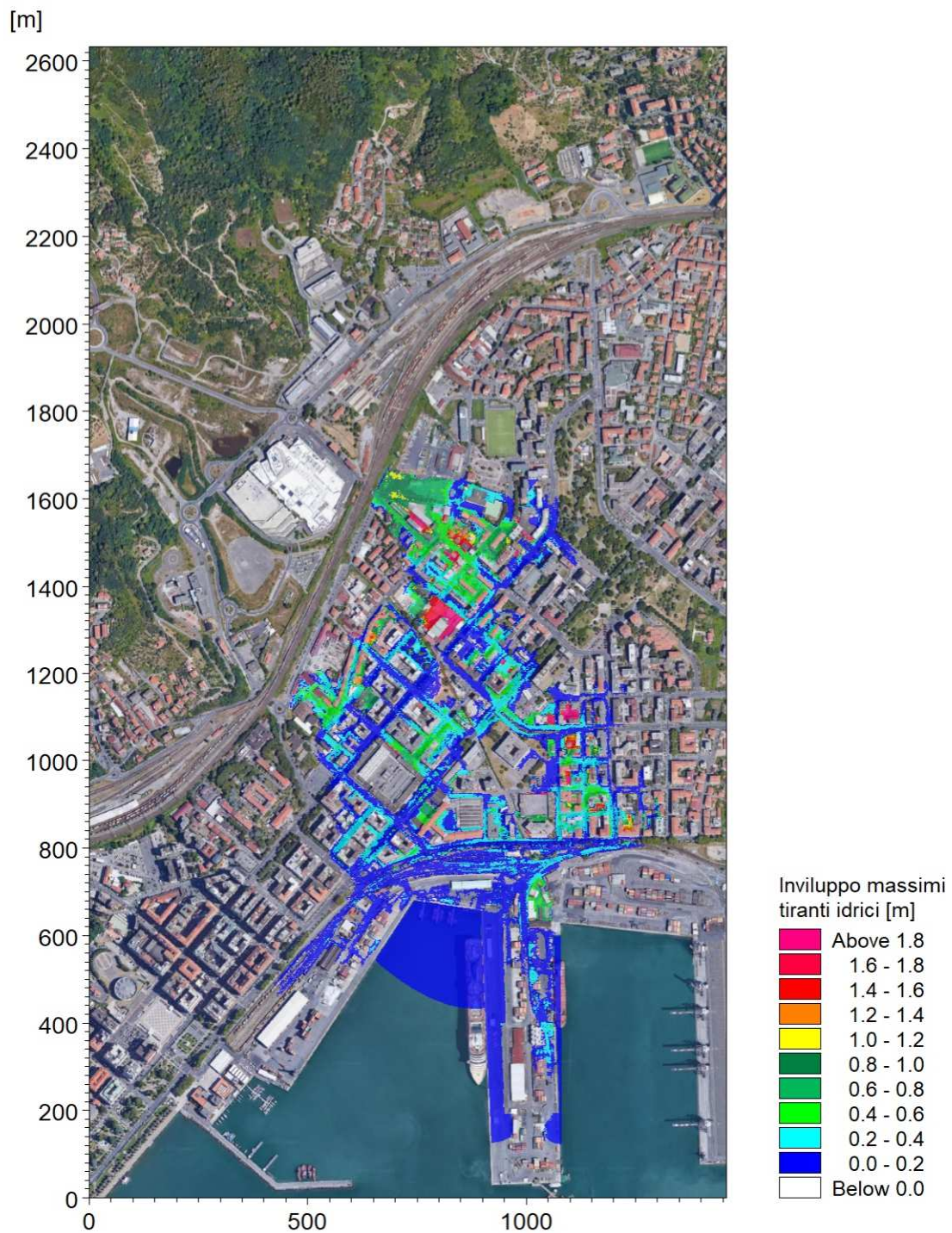


Figura 71 – Distribuzione inviluppo dei massimi tiranti idrici rispetto al piano campagna, Scenario B - TR500.



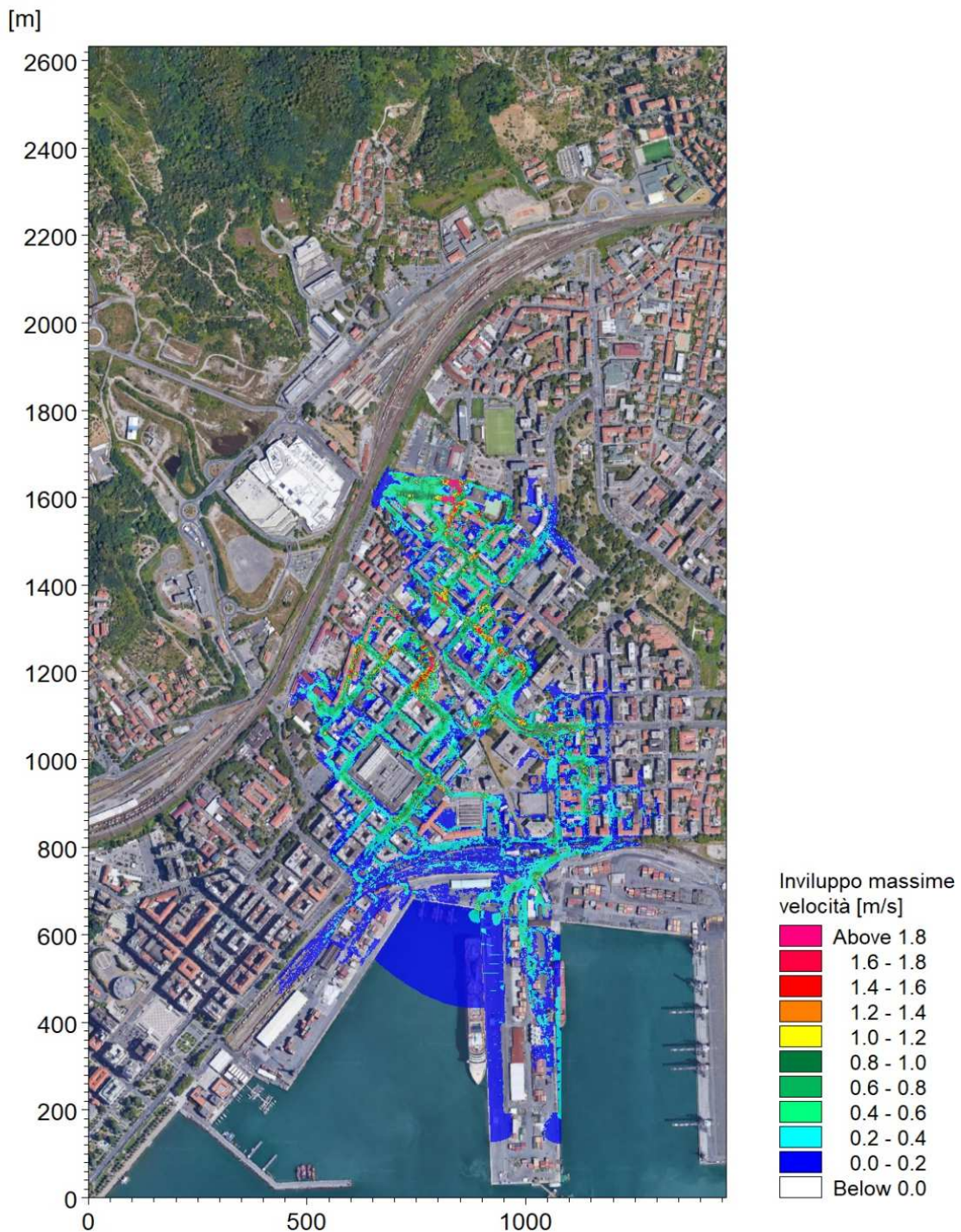


Figura 72 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità, Scenario B - TR500.

Valgono le medesime considerazioni espone per lo scenario B – TR200. La propagazione delle esondazioni in area portuale è più estesa e coinvolge due banchine; viale Bartolomeo è interessato in modo più cospicuo dagli allagamenti.

## 6. ANALISI DEI RISULTATI E PROPOSTA DI MODIFICA DELLE FASCE DI PERICOLOSITÀ

Lo studio idraulico di dettaglio descritto nel presente documento ha consentito di ricostruire con accuratezza l'effettiva estensione degli allagamenti attesi in relazione al deflusso delle piene associate a un tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni dei corsi d'acqua esaminati, considerando più scenari per la verifica delle condizioni di riferimento più gravose per ciascun tratto fluviale considerato.

In relazione ai risultati ottenuti è stata effettuata una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica definite nel vigente Piano di Bacino (cfr. capitolo 2).

Quest'ultimo individua aree di pericolosità idraulica elevata (fascia A) e moderata (fascia B) soltanto nelle aree a valle della ferrovia, fino a viale San Bartolomeo. La fascia A interessa in particolare le aree adiacenti al Fosso Rossano tra la ferrovia e via Lunigiana, con parziale estensione lungo via Ferrara a Sud del campo sportivo, e l'area tra via Pascoli e viale San Bartolomeo e tra via Saffi e via Gianturco. In fascia A è anche rappresentato l'intero alveo tombato del Fosso Rossano. Sono state condotte inoltre verifiche di adeguatezza su alcuni attraversamenti sul Fosso Cappelletto, risultati non adeguati al deflusso della piena cinquantennale.

Nel presente studio è stata condotta un'analisi idrodinamica di dettaglio con simulazioni che considerano contemporaneamente i corsi d'acqua Cappelletto, Rossano, Monte Pertico e Andreino. Particolarmente i tratti tombati degli ultimi tre risultano idraulicamente inadeguati al deflusso dell'evento di piena cinquantennale e sono responsabili di diffuse esondazioni all'imbocco e dai pozzetti sul piano stradale, che si propagano verso valle fino all'area portuale.

Secondo i criteri definiti dal Piano di Bacino e dalla specifica normativa vigente, il tracciamento delle fasce A, B e C è stato condotto considerando l'inviluppo delle aree interessate da allagamenti per tempi di ritorno rispettivamente di 50, 200 e 500 anni con riferimento alla condizione più gravosa tra i vari scenari simulati.

In Figura 73 e negli elaborati grafici annessi (codice 3636-04-01100) è rappresentata l'estensione delle fasce A, B e C proposte per il Fosso Rossano con i suoi affluenti (Rio Monte Pertico e Fosso Andreino) e per il Fosso Cappelletto. Per immediato riscontro delle variazioni introdotte rispetto alle perimetrazioni del vigente PdB, si riporta in Figura 74 una sovrapposizione di queste ultime con gli ambiti di pericolosità definiti dal presente studio (rappresentati in colore nero).

La propagazione delle esondazioni entro il tessuto urbano rappresentata dal modello numerico bidimensionale ha prodotto in linea generale una maggiore ampiezza delle aree di pericolosità rispetto alla perimetrazione vigente, particolarmente per quanto riguarda le aree a Sud dell'alveo del Fosso Cappelletto e di via Ferrari.

Le aree a pericolosità alta sono caratterizzate dal maggior incremento di superficie, particolarmente (a valle della ferrovia) a causa della rappresentazione delle fuoriuscite di portata dal Fosso Rossano attraverso i pozzetti sul piano viabile.

Si riscontra però una riduzione dell'attuale fascia A nell'area in prossimità del deposito ATC, in relazione all'effettiva conformazione morfologica locale, ben descritta dal modello del terreno utilizzato. Una riduzione si riscontra anche presso viale S. Bartolomeo, dove le aree a cavallo dell'asse del Cappelletto non risultano interessate da allagamenti per TR=50 anni.



Per quanto riguarda la fascia B si riscontra, rispetto alla perimetrazione del PdB, un ampliamento nella porzione meridionale dell'area di studio, e una riduzione nelle aree a Ovest di via Parma – via Reggio Emilia.

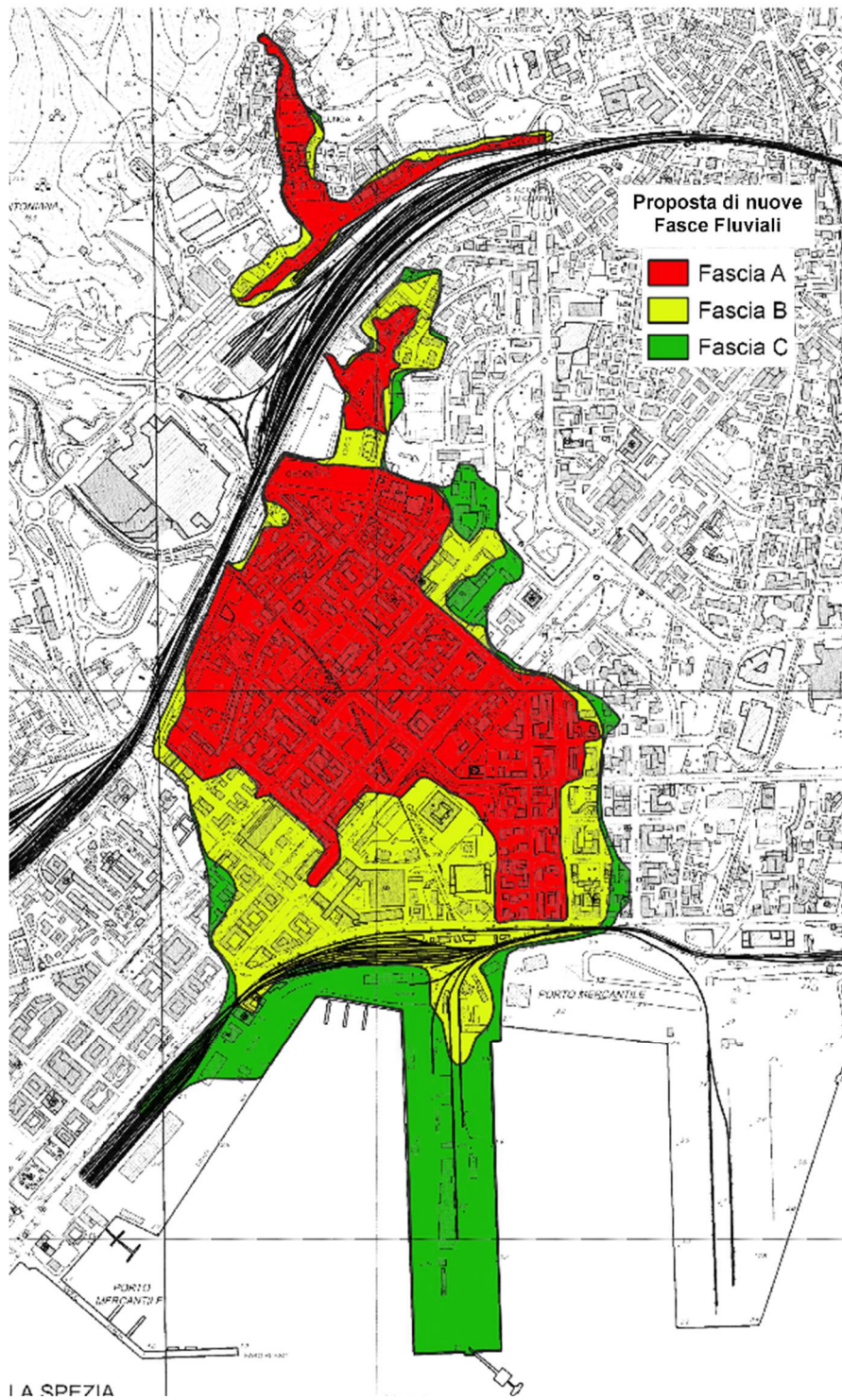


Figura 73 – Perimetrazione delle fasce A, B e C proposta per il Fosso Rossano con i suoi principali affluenti (Rio Monte Pertico, Fosso Andreino) e per il Fosso Cappelletto.



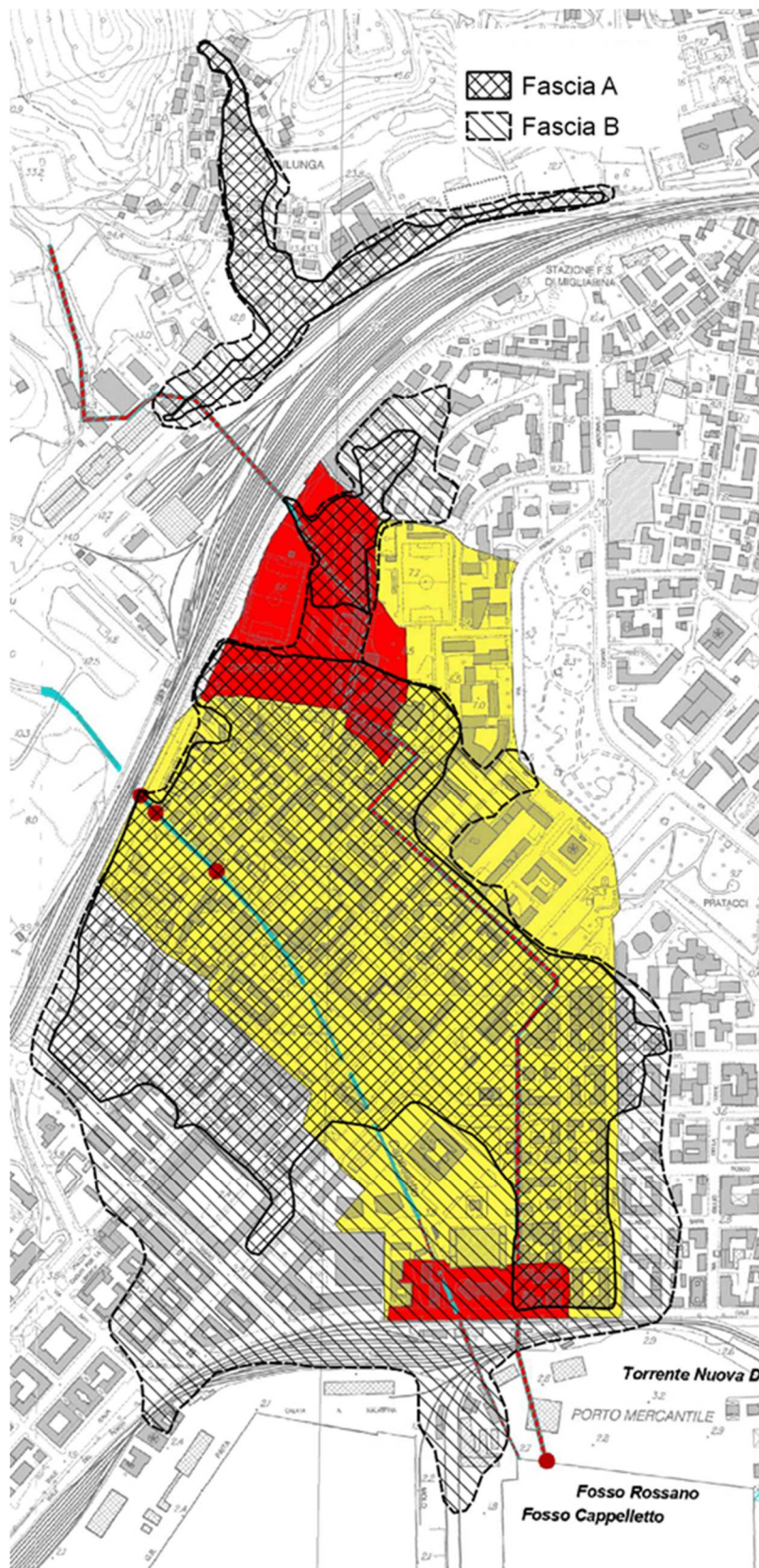


Figura 74 – Confronto tra le Fasce Fluviali vigenti da Piano di Bacino e la proposta di nuova perimetrazione.

La significativa estensione, già per eventi a tempo di ritorno 50 anni, degli ambiti di esondazione determinati nel presente studio è primariamente imputabile all'inadeguatezza di manufatti di attraversamento e tombini interferenti con le aste che costituiscono il sistema idrodinamico dei due Fossi.

I risultati delle simulazioni hanno infatti evidenziato come la maggior parte dei ponti e tombini presentino un funzionamento in pressione già in occasione dell'evento a tempo di ritorno 50 anni (cfr. Tabella 17 e Tabella 18). A monte di alcuni attraversamenti (Fosso Cappelletto) vengono indotti rilevanti fenomeni di rigurgito, che comportano il sormonto delle sponde e dell'impalcato dell'attraversamento stesso, mentre in corrispondenza dei tratti tombinati (Fosso Rossano e affluenti), generalmente di sezione inadeguata (con tipologia affine a collettori fognari) le altezze piezometriche risultano frequentemente superiori alla quota del piano viabile, inducendo fuoriuscita di portata da pozzetti di ispezione e caditoie, o direttamente all'imbocco della tombinatura (Fosso Andreino).

Per il Fosso Rossano, come descritto in maggior dettaglio nei capitoli precedenti, le esondazioni riguardano prevalentemente il tratto a cielo aperto a monte dell'imbocco della tombinatura RO\_C1 (Figura 75) e il tratto di tombinatura a valle dell'incrocio di Via Lunigiana e Via Ferrara, dove le altezze piezometriche risultano superiori alla quota del piano viabile soprastante.

A partire dall'attraversamento di via Carducci (RO\_C3) e fino allo sbocco a mare in area portuale (SEZ\_86) il tratto tombato presenta invece un funzionamento a pelo libero con discreto franco idraulico (pur non adeguato ai sensi del PdB). Si precisa che nella modellazione idraulica si sono assunti come già realizzati gli interventi di sistemazione dello sbocco comune a mare dei Fossi Rossano e Cappelletto di cui è prossimo l'avvio dei lavori; allo stato attuale altrimenti il tratto sarebbe inadeguato allo smaltimento delle portate di piena di riferimento.



Figura 75 – Imbocco del tratto tombato RO\_C1: vista dal piano campagna in sponda destra (sx); da monte (centro); da valle all'interno della tombinatura (dx).

Gli attraversamenti che risultano maggiormente critici per quanto riguarda le esondazioni del Fosso Cappelletto quelli di via Cappelletto, di via Lunigiana, di via Vittorio Veneto, di via XXIV Maggio e di viale Italia.

Non si hanno esondazioni nè tratti con comportamento in pressione a valle di Via Carducci, anche in questo caso avendo considerato nella modellazione idraulica i previsti interventi di sistemazione del tratto terminale a valle della copertura di Via Saffi.





Figura 76 – Alveo a valle di via Cappelletto con sponda sinistra inferiore di quella destra (sx). Attraversamento di via Lunigiana visto da monte (CA\_P8, dx).



Figura 77 – Tratto a monte di Via Vittorio Veneto dove il muro in sponda destra presenta un ribassamento di 1,2 m (sx). Attraversamento di viale Italia visto da monte (dx).

Sono state infine determinate le *aree individuate a minor pericolosità* degli ambiti normativi di fascia B, facendo riferimento a quanto previsto dalla DGR 91/2013, evoluzione della precedente DGR 250/2005 con la quale erano “*stati approvati dalla giunta regionale, nella sua qualità di organo dell’autorità di bacino regionale, i criteri per la definizione dei cosiddetti “ambiti normativi delle fasce di inondabilità in funzione di tiranti idrici e velocità di scorrimento”, finalizzati in particolare ad individuare, nell’ambito delle fasce di inondabilità ad assegnati tempi di ritorno (fasce a e b) aree a “minor pericolosità relativa” tali da consentire diverse possibilità edificatorie*”.

L’aggiornamento normativo effettuato con la DGR 91/2013 riporta che: “*A seguito degli eventi alluvionali dell’autunno 2010 e 2011, per alcuni aspetti più intensi e frequenti degli eventi precedentemente occorsi, si è resa opportuna una valutazione dell’adeguatezza e dell’attualità dei criteri ex DGR 250/2005, con analisi di eventuali modifiche od integrazioni da apportare agli stessi. In particolare, è stato ritenuto necessario che per la fascia A, corrispondente alle aree a più alta pericolosità idraulica in quanto inondabili a TR=50 anni, debba essere sempre applicata la normativa ordinaria di fascia A, di cui al testo integrato dei criteri ex DGR 265/2011. È stata pertanto prevista l’eliminazione della possibilità di individuazione di aree a minor pericolosità*”.

nella fascia A, tali da consentire una riclassificazione della stessa a fascia B, come previsto dalla DGR 250/2005.

Si è ritenuto inoltre necessario aggiornare il criterio tecnico di "minor pericolosità" da applicarsi in fascia B, sulla base dei criteri vigenti dal 2001, nell'obiettivo di privilegiare gli studi di dettaglio a scala di bacino o riguardanti tratti significativi di corso d'acqua, in quanto maggiormente affidabili rispetto a studi locali finalizzati alle singole edificazioni. Il presente documento rappresenta l'aggiornamento dei criteri ex DGR 250/2005, che si intendono pertanto superati".

In continuità con quanto previsto nei criteri ex DGR 250/2005, le aree B0 (a minor pericolosità relativa) e BB sono individuate con il criterio di cui alla Figura 78.

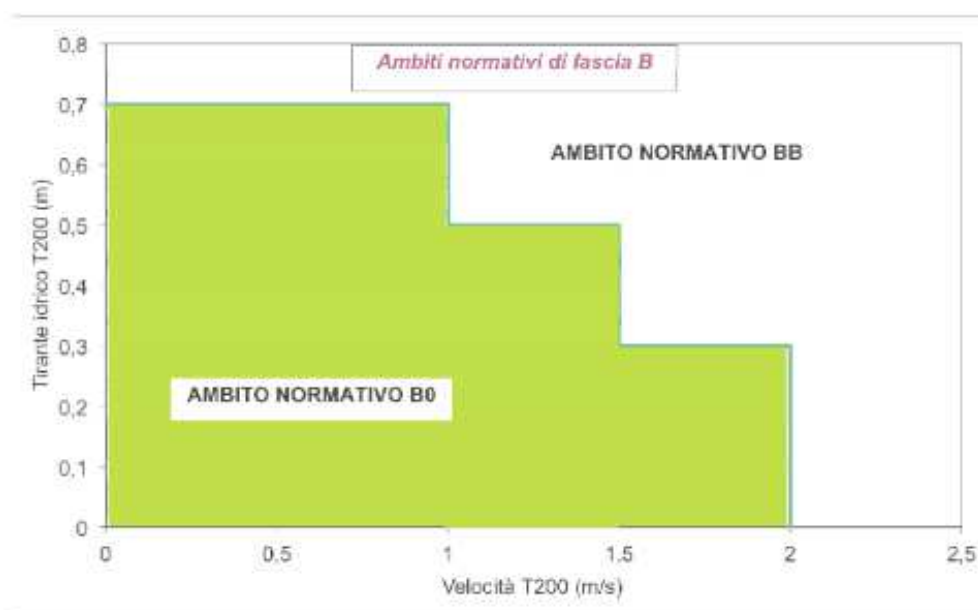


Figura 78 – Definizione delle fasce fluviali BB e B0 ai sensi della DGR 91/2013.

Gli ambiti "B0" e "BB" per i tratti di studio del Fosso Rossano e del Fosso Cappelletto sono rappresentati in Figura 79.



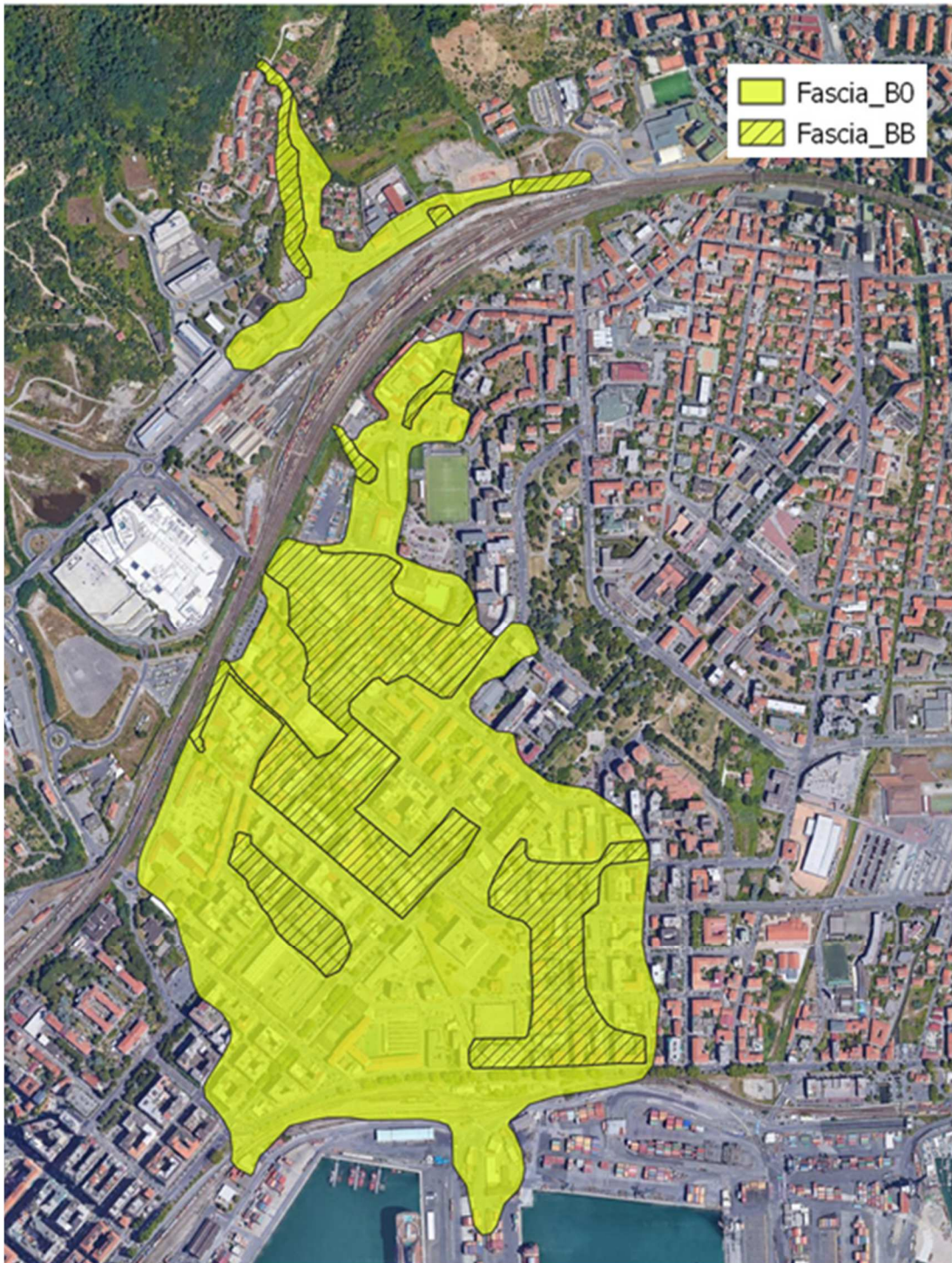


Figura 79 – Definizione delle aree B0 e BB all'interno della fascia B per il Fosso Rossano e per il Fosso Cappelletto.

**ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE11 - HD**



## PREMESSA

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHI\MIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

## 2. DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.

Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.

Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati sia reti idrauliche con maglie chiuse.

## 3. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11 mediante il terzo tipo di formulazione risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- b) La pendenza del fondo è piccola.



c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup>s<sup>-1</sup>);

g = accelerazione di gravità (m s<sup>-2</sup>);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m<sup>3</sup>/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m<sup>2</sup>/s).

#### 4. SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

## 5. APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare tutti i termini legati alla quantità di moto nelle equazioni generali di De Saint Venant:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine  $\partial h/\partial x$ . Per ragioni di stabilità questo termine nella soluzione viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

## 6. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

### Tipi di strutture simulate

#### Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

#### Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

#### Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

#### Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

### Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) \cdot Z_{j2}$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

### Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

## **7. RESISTENZA D'ATTRITO**

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2 AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2 AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

## **8. CONDIZIONI INIZIALI**

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

## **9. METODO DI SOLUZIONE**

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

## 10. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

## 11. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

### 1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

- Cr = numero di Courant;  
d = altezza d'acqua media;  
V = velocità media della corrente;  
g = accelerazione di gravità;  
Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ( $Fr < 1$ ), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

### 2) Criterio della velocità.



Il criterio della velocità stabilisce che i passi  $\Delta x$  e  $\Delta t$  di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio  $\Delta x$  in un tempo maggiore di  $\Delta t$ , e cioè:

$$V \cdot \Delta t < \Delta x$$

dove  $V$  è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo  $\Delta t$ ,  $\Delta x$  deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia  $\Delta t$  che  $\Delta x$  devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di  $\Delta x$ , vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro  $\Delta x$  o meno.

In osservanza ai sovraccitati criteri è possibile definire unicamente intervalli di valori per  $\Delta x$  e  $\Delta t$  e non valori univoci per ogni simulazione.

**ALLEGATO 2 – Descrizione del codice di calcolo MIKE21 - HD**



Il codice di calcolo MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile approssimare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero "21" che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il modulo idrodinamico risolve le equazioni complete del moto di de St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema di de St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) \right] - \Omega q - fV V_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a \\ & + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fV V_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a \\ & + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

- $h(x,y,t)$  = profondità dell'acqua;
- $\zeta(x,y,t)$  = quota del pelo libero;
- $p,q(x,y,t)$  = portate unitarie nelle direzioni x e y;
- $C(x,y)$  = coefficiente di scabrezza di Chezy;
- $g$  = accelerazione di gravità;
- $f(V)$  = fattore d'attrito del vento;
- $V, V_x, V_y(x,y,t)$  = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;
- $\Omega(x,y)$  = parametro di Coriolis;
- $p_a(x,y,t)$  = pressione atmosferica;



$\rho_w$	= densità dell'acqua;
$x,y$	= coordinate spaziali;
$t$	= tempo;
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	= componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;
$S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}$	= componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio  $\tau$  che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni  $x$  e  $y$ . La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro  $E$  "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( hE \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

tali due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente  $E$  può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale  $u$  e  $v$  sono le componenti della velocità locale,  $\Delta$  è la dimensione spaziale della griglia e  $c_s$  è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse  $x$ ) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{2} hE \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria ( $m^3/s/m$ ) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva ( $m^3/s$ ) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizioni iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali

brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" si verifica che la situazione ottenuta sia di effettiva stazionarietà.

Le equazioni del modello sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).



**ALLEGATO 3 – Sezioni trasversali inserite nel modello idraulico, con indicato il livello massimo di piena duecentennale**





