



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 06: Vecchia Dorgia

Bacino 07: Nuova Dorgia



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI GENOVA

A1721 Dott. Ing. Luca Aldo Remo Dutto

3636	-	0	4	-	0	0	5	0	0	DOC			3.5
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	--	--	-----

00	LUG. 21	R. LUCHI	L. DUTTO	L. DUTTO	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

INDICE

1. PREMESSA	1
2. STATO DI RISCHIO DA PIANIFICAZIONE IDRAULICA VIGENTE	4
3. ALLESTIMENTO DEI MODELLI NUMERICI	6
3.1 Approccio metodologico modellistico	7
3.2 Schema del modello	8
3.2.1 Modello MIKE11	8
3.2.2 Modello MIKE21	19
4. CONDIZIONI AL CONTORNO	21
5. RISULTATI	27
5.1 Risultati delle simulazioni MIKE 11: torrente Vecchia Dorgia	27
5.1.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	27
5.1.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	32
5.1.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	37
5.2 Risultati delle simulazioni MIKE 11: torrente Nuova Dorgia	42
5.2.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	42
5.2.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	51
5.2.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	59
5.3 Analisi dei franchi idraulici sui manufatti interferenti	67
5.4 Risultati delle simulazioni MIKE 21: torrente Vecchia Dorgia	70
5.4.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	70
5.4.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	78
5.4.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	81
5.5 Risultati delle simulazioni MIKE 21: torrente Nuova Dorgia	84
5.5.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)	84
5.5.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)	91
5.5.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)	91
6. ANALISI DEI RISULTATI E PROPOSTA DI MODIFICA DELLE FASCE DI PERICOLOSITÀ	91

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 ZC92FB886 – 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):

- 06: Vecchia Dorgia;
- 07: Nuova Dorgia.

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, ripermetrazioni 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, nei bacini del torrente Vecchia Dorgia e del torrente Nuova Dorgia, 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 quasi completamente sovrapposta alla B, tranne per una limitata area sulla Nuova Dorgia a monte della confluenza del Fosso Buonviaggio.

Le aree a pericolosità idraulica interessano in particolare un'estesa porzione del centro cittadino prossima all'asta fluviale del torrente Nuova Dorgia.

Su quest'ultimo le aree di pericolosità idraulica elevata (fascia A) sono limitate e si riscontrano in corrispondenza del tratto tombinato che si trova subito a monte della ferrovia. L'imbocco di tale tombinatura si trova in corrispondenza dell'incrocio di via Aurelia con via Isonzo, in area originariamente interessata dalla presenza di un distributore di carburanti, attualmente oggetto di interventi di bonifica e progetti di riqualificazione.

In fascia B ricade invece quasi l'intero tratto del torrente Nuova Dorgia, ad eccezione del tratto più di monte, parallelo a via del Forno, e del tratto subito a valle della confluenza con il Fosso Buonviaggio.

Risulta come già detto in Fascia C l'area in sponda sinistra a monte della confluenza del Fosso Buonviaggio.

Per quanto riguarda il torrente Vecchia Dorgia si riscontra una più ampia area perimetrata come fascia A subito a monte della ferrovia, in sponda sinistra, e poco a monte una limitata area in fascia B.

Più estesa risulta la perimetrazione in fascia B nel tratto terminale del torrente, a valle di via C.A. Federici, area sovrapposta a quella di competenza del torrente Nuova Dorgia.

Alcuni attraversamenti sul torrente Vecchia Dorgia e sul torrente Nuova Dorgia (incluso l'affluente Fosso Buonviaggio) 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 nel caso non siano adeguati al deflusso della piena cinquantennale, in colore arancio se inadeguati per quella duecentennale e in colore verde per quella cinquecentennale.

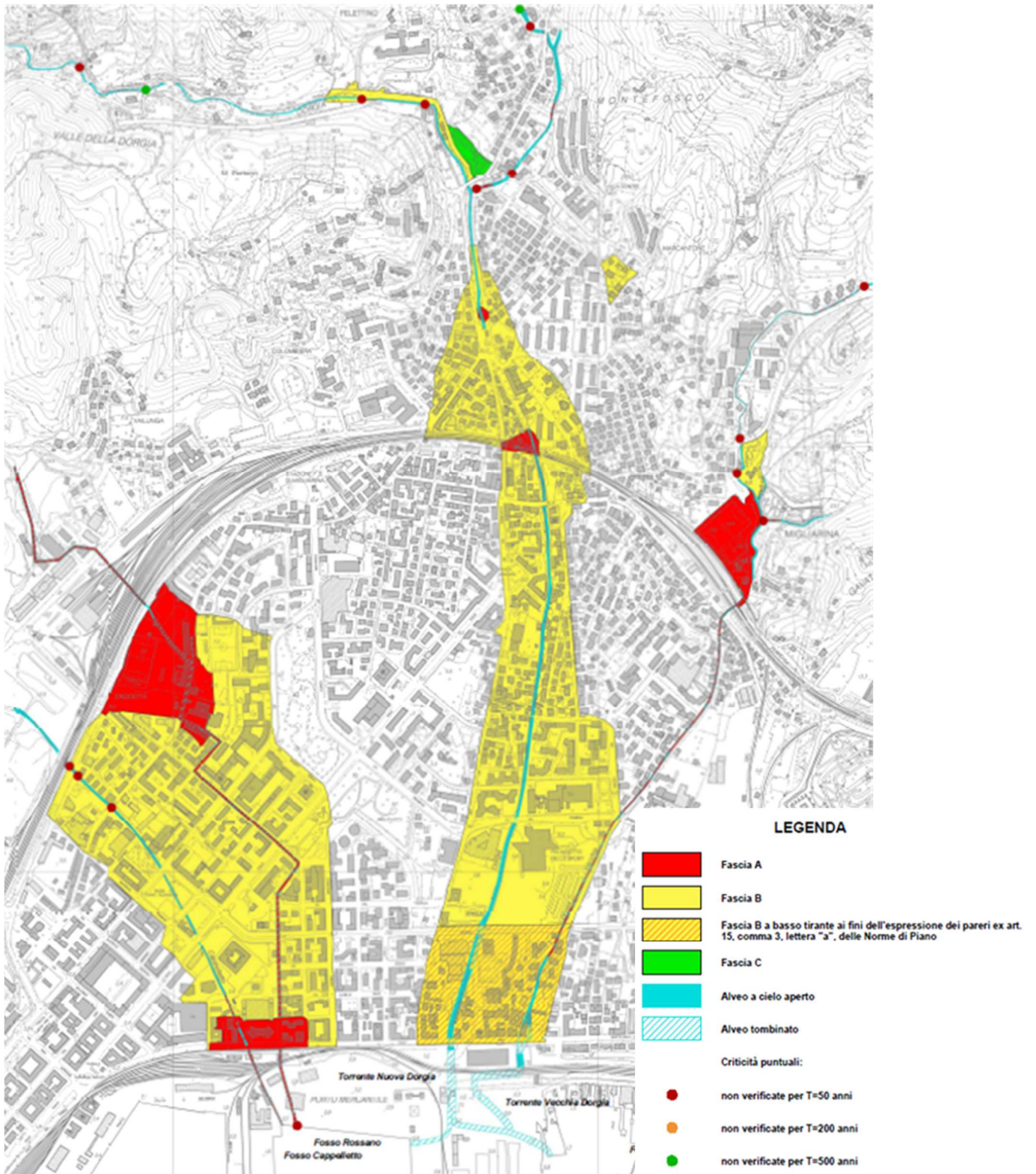


Figura 1 – Aree di pericolosità idraulica da Piano di Bacino vigente, torrente Vecchia Dorgia e torrente Nuova Dorgia.

3. ALLESTIMENTO DEI MODELLI NUMERICI

Le analisi idrauliche per la caratterizzazione dell'idrodinamica di piena dei corsi d'acqua in esame (Vecchia Dorgia, Nuova Dorgia, Fosso Buonviaggio) 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.

Per quanto riguarda il torrente Nuova Dorgia, la porzione di monte del tratto in studio che si sviluppa parallela a via del Forno è stata rappresentata con riferimento alle geometrie del progetto di sistemazione fluviale relativo all'allestimento del cantiere per la realizzazione della variante alla S.S.1 Aurelia. Tale sistemazione, realizzata in congruenza al progetto, non risulta tuttavia completata in corrispondenza del ponticello esistente ND_P01 di cui era prevista la demolizione e di cui è stato rappresentato nel modello lo stato attuale utilizzando i rilievi in campo eseguiti per il presente studio.

Per il tratto di torrente a valle della confluenza del torrente Buonviaggio, le informazioni derivanti dalle geometrie contenute nel PdB (per gli attraversamenti) e dai rilievi eseguiti sono state integrate con quelle desumibili dalle analisi idrauliche pregresse. Da evidenziare in particolare l'utilizzo del rilievo effettuato nell'ambito del recente studio (2019) per la valutazione della pericolosità idraulica dell'area in prossimità dell'ex impianto di distribuzione carburanti di Italiana Petroli S.p.A. localizzato in via Buonviaggio. Tale rilievo riguarda alcune sezioni localizzate a monte e a valle della lunga tombinatura. Inoltre si è fatto riferimento alle indicazioni relative al progetto della sistemazione del tratto di monte del Fosso Buonviaggio, che risulta interferito da un cantiere per la realizzazione della variante alla S.S.1 Aurelia. Un ulteriore rilievo integrativo delle quote di sponda del tratto terminale del Fosso Buonviaggio e della Nuova Dorgia a valle dell'attraversamento della via Aurelia è stato effettuato nel 2021 come approfondimento per il presente aggiornamento di studio.

Relativamente al torrente Vecchia Dorgia, nell'ambito degli studi pregressi cui si è fatto riferimento, elencati nell'elaborato 3636-02-00100, si evidenzia in particolare l'utile ricostruzione della geometria del tratto di tombinatura compresa fra Via Sarzana e Via Carducci, effettuato in uno studio di rischio idraulico (2010) a partire dagli elaborati grafici del progetto del 1980.

Si evidenzia infine come la geometria assunta nel modello per i tratti terminali dei torrenti Nuova Dorgia e Vecchia Dorgia è stata desunta dai disegni del progetto di sistemazione sviluppato dall'Autorità Portuale per la risoluzione dell'interferenza con la galleria subalvea.

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 due rami distinti che rappresentano la geometria della parte incisa del torrente Vecchia Dorgia e quella del torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

La geometria del torrente Vecchia Dorgia è descritta da 57 sezioni e si estende per un tratto di circa 2.900 m fino allo sbocco a mare nel Golfo di La Spezia (SEZ_53).

Il torrente Nuova Dorgia si estende per circa 3.183 m, fino alla confluenza di uno dei rami di foce nel tratto terminale del torrente Vecchia Dorgia (SEZ_91) ed è descritto da 97 sezioni. È presente un secondo ramo che sfocia direttamente a mare della lunghezza di circa 141 m. L'asta dell'affluente in sinistra Fosso Buonviaggio si estende per circa 835 m ed è descritta da 32 sezioni.

Per aumentare il dettaglio della rappresentazione idrodinamica, le sezioni sono state infittite tramite interpolazione.

Il modello è esteso, dove necessario, più a monte e valle dell'area di diretto interesse (e del dominio di calcolo del modello 2D) per evitare che le modalità di assegnazione delle condizioni al contorno possano influenzare i risultati ottenuti.

In Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Tabella 1 si riporta l'estensione del modello del torrente Vecchia Dorgia (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. Le medesime informazioni sono fornite in Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Tabella 2 per il torrente Nuova Dorgia e l'affluente Fosso Buonviaggio.

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 degli attraversamenti, delle tombature e dei salti di fondo 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, a pressione e di sormonto dell'impalcato, calcolando correttamente 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).

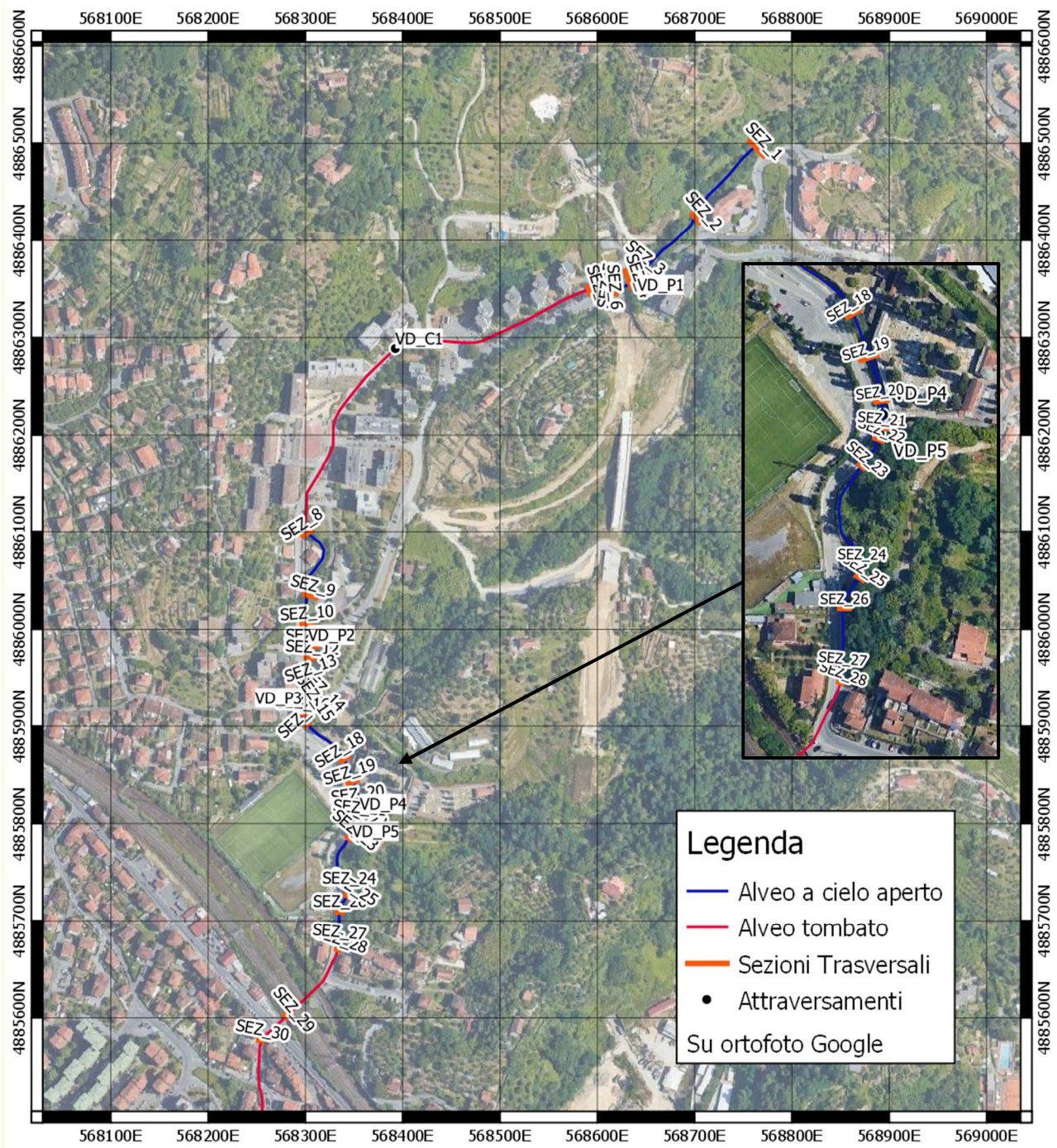


Figura 2 – Network del modello MIKE11 allestito per il torrente Vecchia Dorgia, tratto di monte.

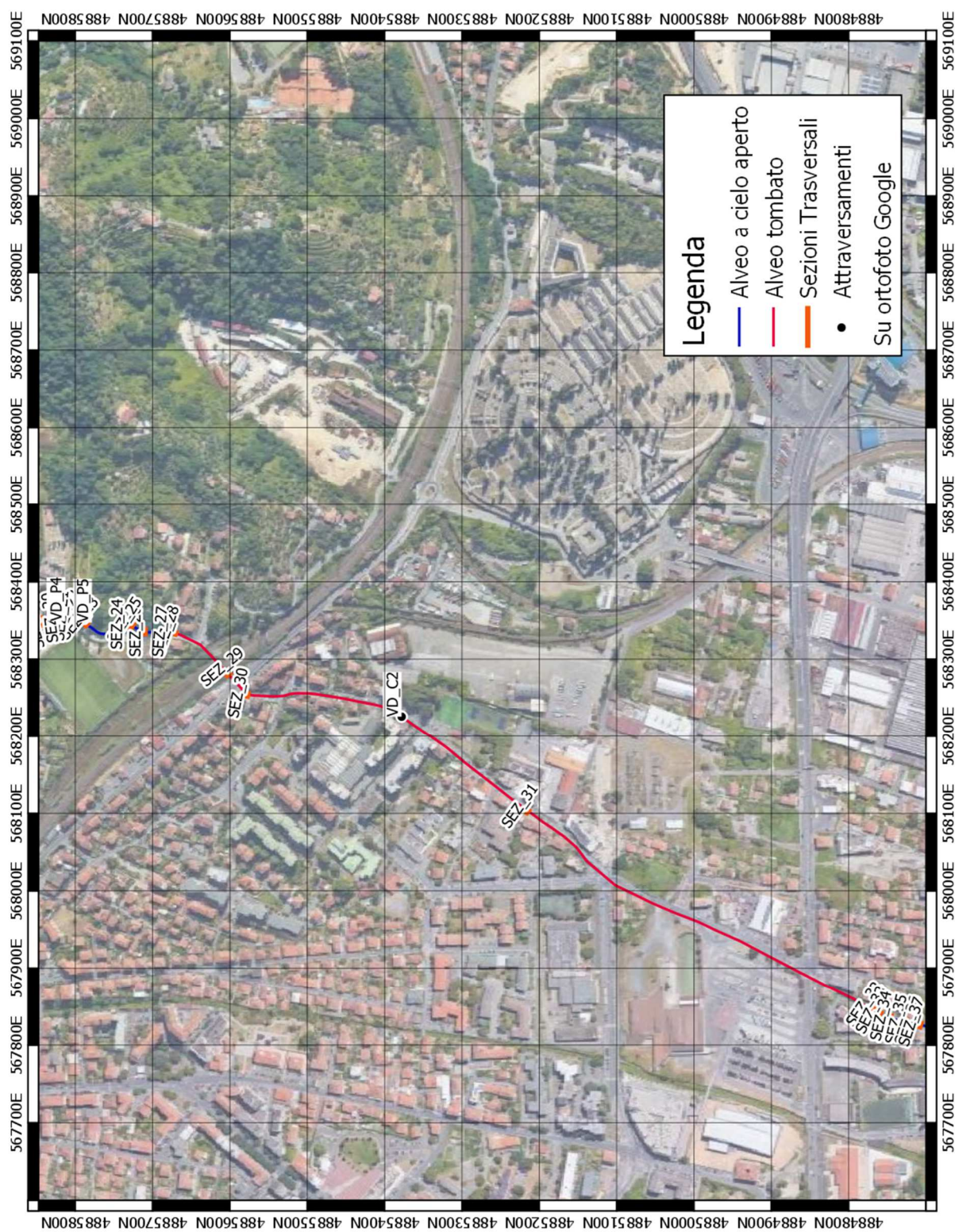


Figura 3 – Network del modello MIKE11 allestito per il torrente Vecchia Dorgia, tratto intermedio.

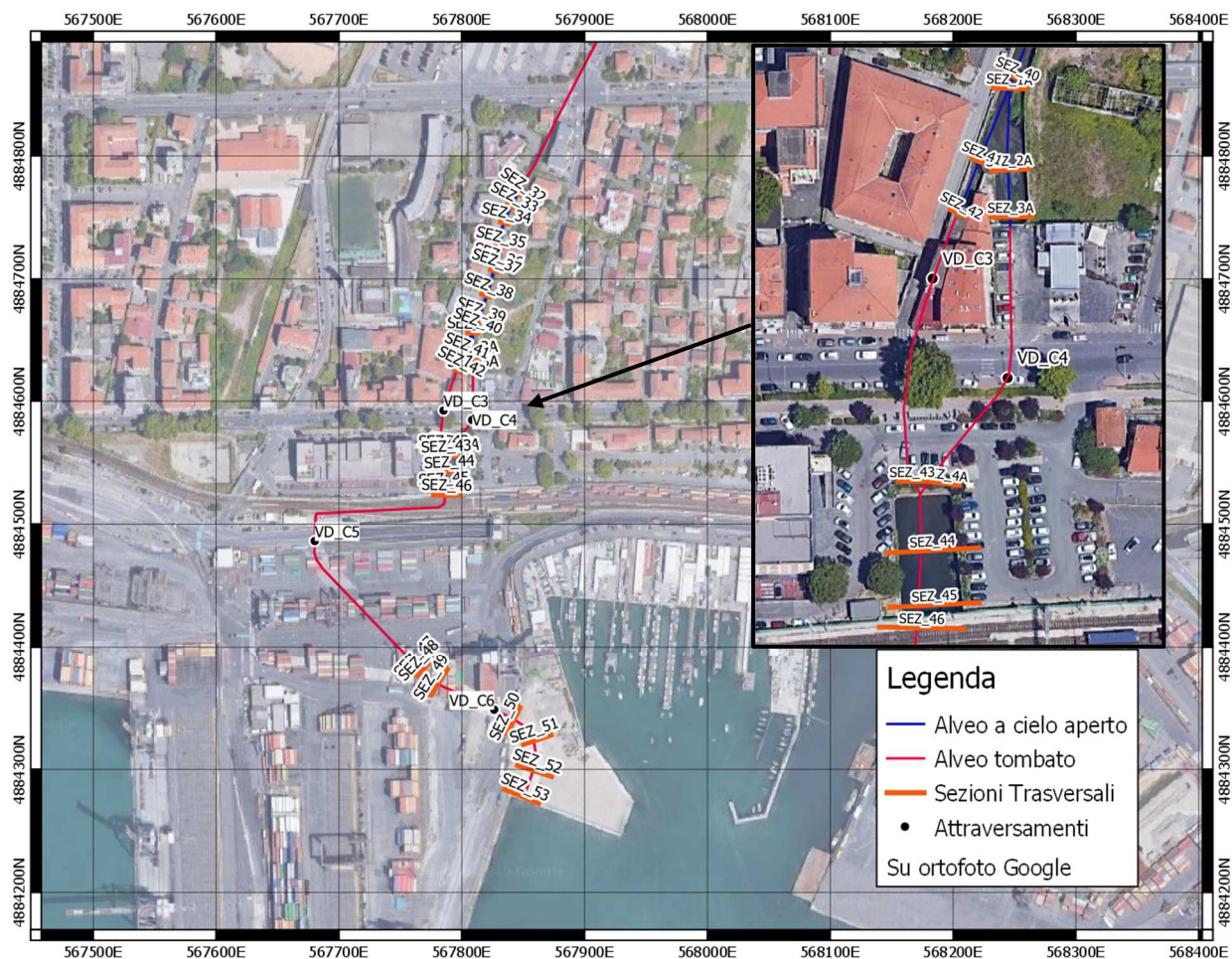


Figura 4 – Network del modello MIKE11 allestito per il torrente Vecchia Dorgia, tratto di valle.

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Intradosso
			[m]	[m s.m.]	[m s.m.]
Vecchia Dorgia		SEZ_1	0.00	55.76	
Vecchia Dorgia		SEZ_2	95.46	47.39	
Vecchia Dorgia	monte VD_P1	SEZ_3	172.20	40.98	44.08
Vecchia Dorgia	valle VD_P1	SEZ_4	192.32	39.70	42.8
Vecchia Dorgia		SEZ_5	207.21	38.88	
Vecchia Dorgia		SEZ_6	220.10	38.06	
Vecchia Dorgia	monte VD_C1	SEZ_7	230.20	36.10	38.1
Vecchia Dorgia	valle VD_C1	SEZ_8	672.58	20.50	22.5
Vecchia Dorgia		SEZ_9	748.96	18.45	
Vecchia Dorgia	monte VD_P2	SEZ_10	778.32	18.04	20.04
Vecchia Dorgia	valle VD_P2	SEZ_11	801.55	17.40	19.4
Vecchia Dorgia		SEZ_12	813.52	17.34	
Vecchia Dorgia		SEZ_13	835.99	16.80	
Vecchia Dorgia		SEZ_14	857.61	15.85	

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Intradosso
			[m]	[m s.m.]	[m s.m.]
Vecchia Dorgia	monte VD_P3	SEZ_15	869.29	15.62	17.82
Vecchia Dorgia	valle VD_P3	SEZ_16	882.86	15.60	17.8
Vecchia Dorgia		SEZ_17	896.00	14.86	
Vecchia Dorgia		SEZ_18	948.65	13.49	
Vecchia Dorgia		SEZ_19	973.43	12.90	
Vecchia Dorgia	monte VD_P4	SEZ_20	997.52	12.77	14.59
Vecchia Dorgia	monte VD_P5	SEZ_21	1012.12	12.73	14.43
Vecchia Dorgia	valle VD_P5	SEZ_22	1018.15	12.55	14.25
Vecchia Dorgia		SEZ_23	1035.45	12.03	
Vecchia Dorgia		SEZ_24	1094.61	11.27	
Vecchia Dorgia		SEZ_25	1101.98	11.10	
Vecchia Dorgia		SEZ_26	1120.84	10.65	
Vecchia Dorgia		SEZ_27	1152.61	9.98	
Vecchia Dorgia	monte VD_C2	SEZ_28	1160.27	9.93	11.93
Vecchia Dorgia		SEZ_29	1204.77	9.31	11.81
Vecchia Dorgia		SEZ_30	1284.39	8.30	10.2
Vecchia Dorgia		SEZ_31	1693.58	4.60	6.5
Vecchia Dorgia	valle VD_C2	SEZ_32	2211.65	1.10	3.5
Vecchia Dorgia		SEZ_33	2223.69	0.55	
Vecchia Dorgia		SEZ_34	2238.43	0.40	
Vecchia Dorgia		SEZ_35	2258.39	0.26	
Vecchia Dorgia		SEZ_36	2273.17	0.24	
Vecchia Dorgia		SEZ_37	2278.17	0.24	
Vecchia Dorgia		SEZ_38	2299.31	0.23	
Vecchia Dorgia		SEZ_39	2319.79	0.19	
Vecchia Dorgia		SEZ_40	2329.36	0.12	
Vecchia Dorgia		SEZ_41	2351.65	0.09	
Vecchia Dorgia	monte VD_C3	SEZ_42	2365.34	0.40	2
Vecchia Dorgia		SEZ_43	2434.45	0.00	1.6
Vecchia Dorgia		SEZ_44	2450.69	-0.34	
Vecchia Dorgia		SEZ_45	2460.11	-0.64	
Vecchia Dorgia	monte VD_C5	SEZ_46	2469.45	-0.64	1.56
Vecchia Dorgia	monte VD_C6	SEZ_47	2740.02	-1.30	1.55
Vecchia Dorgia		SEZ_48	2744.69	-4.50	1.55
Vecchia Dorgia		SEZ_49	2761.64	-4.55	1.523
Vecchia Dorgia		SEZ_50	2830.04	-4.78	1.413
Vecchia Dorgia		SEZ_51	2854.66	-4.86	1.373
Vecchia Dorgia		SEZ_52	2877.66	-4.92	1.336
Vecchia Dorgia	valle VD_C6	SEZ_53	2900.00	-4.92	1.3
Vecchia DorgiaB		SEZ_1A	0	0.12	
Vecchia DorgiaB		SEZ_2A	19.92	0.09	
Vecchia DorgiaB	monte VD_C4	SEZ_3A	31.52	0.06	1.66
Vecchia DorgiaB	valle VD_C4	SEZ_4A	106.67	0	1.6

Tabella 1 – Anagrafica delle sezioni del torrente Vecchia Dorgia inserite nel modello numerico (escludendo quelle interpolate).

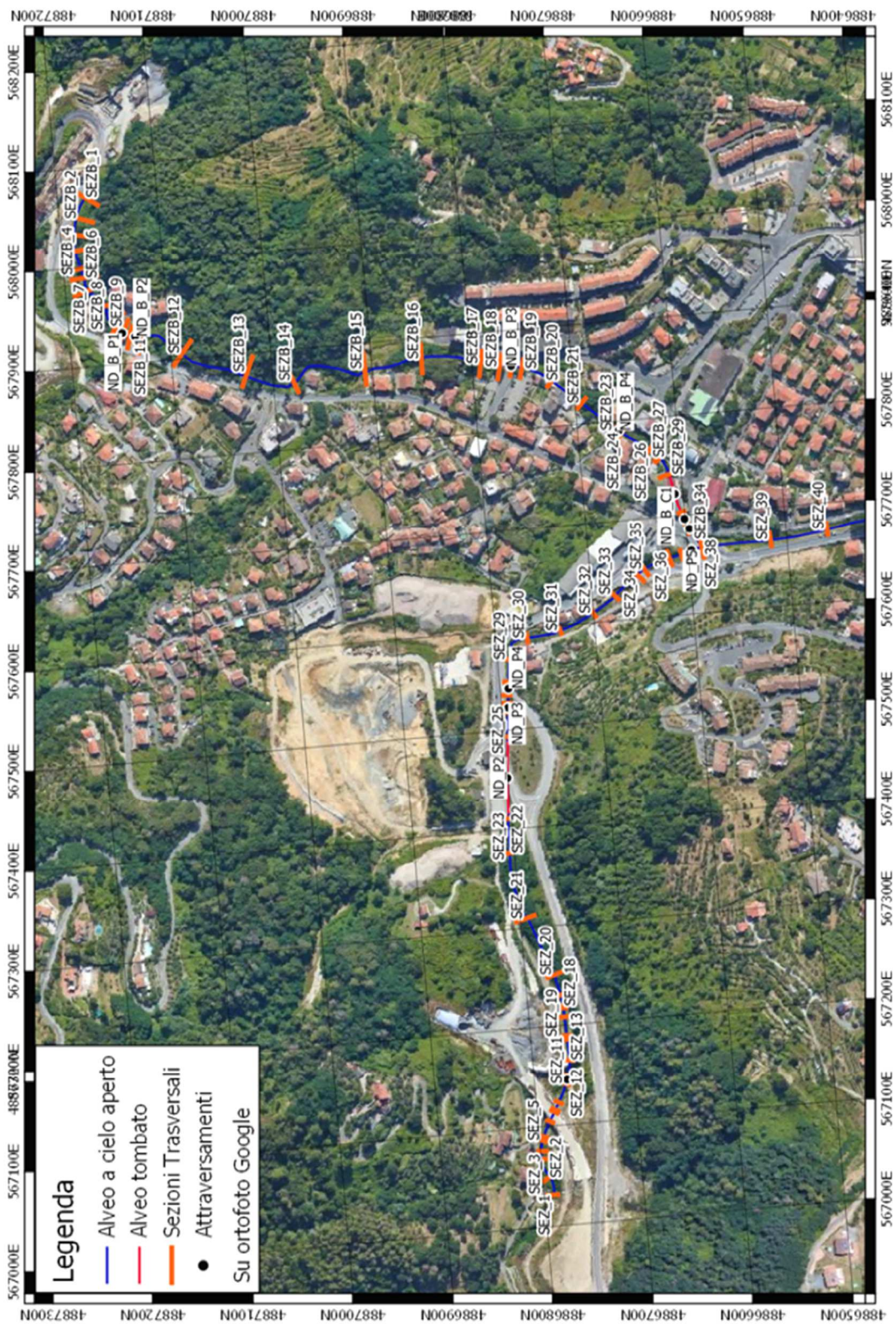


Figura 5 – Network del modello MIKE11 allestito per il torrente Nuova Dorgia (tratto di monte) e l'affluente Fosso Buonviaggio.

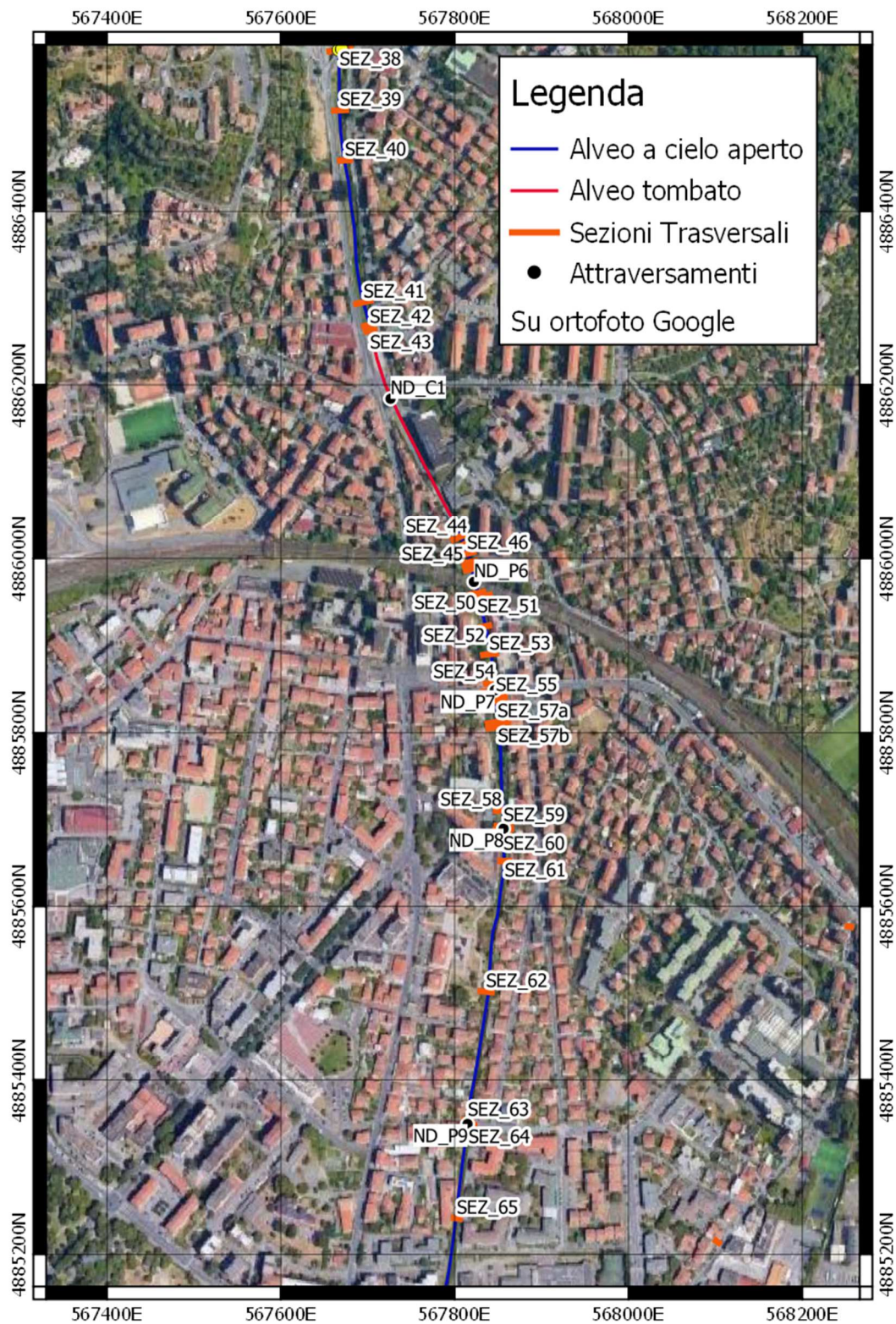


Figura 6 – Network del modello MIKE11 allestito per il torrente Nuova Dorgia, tratto intermedio.

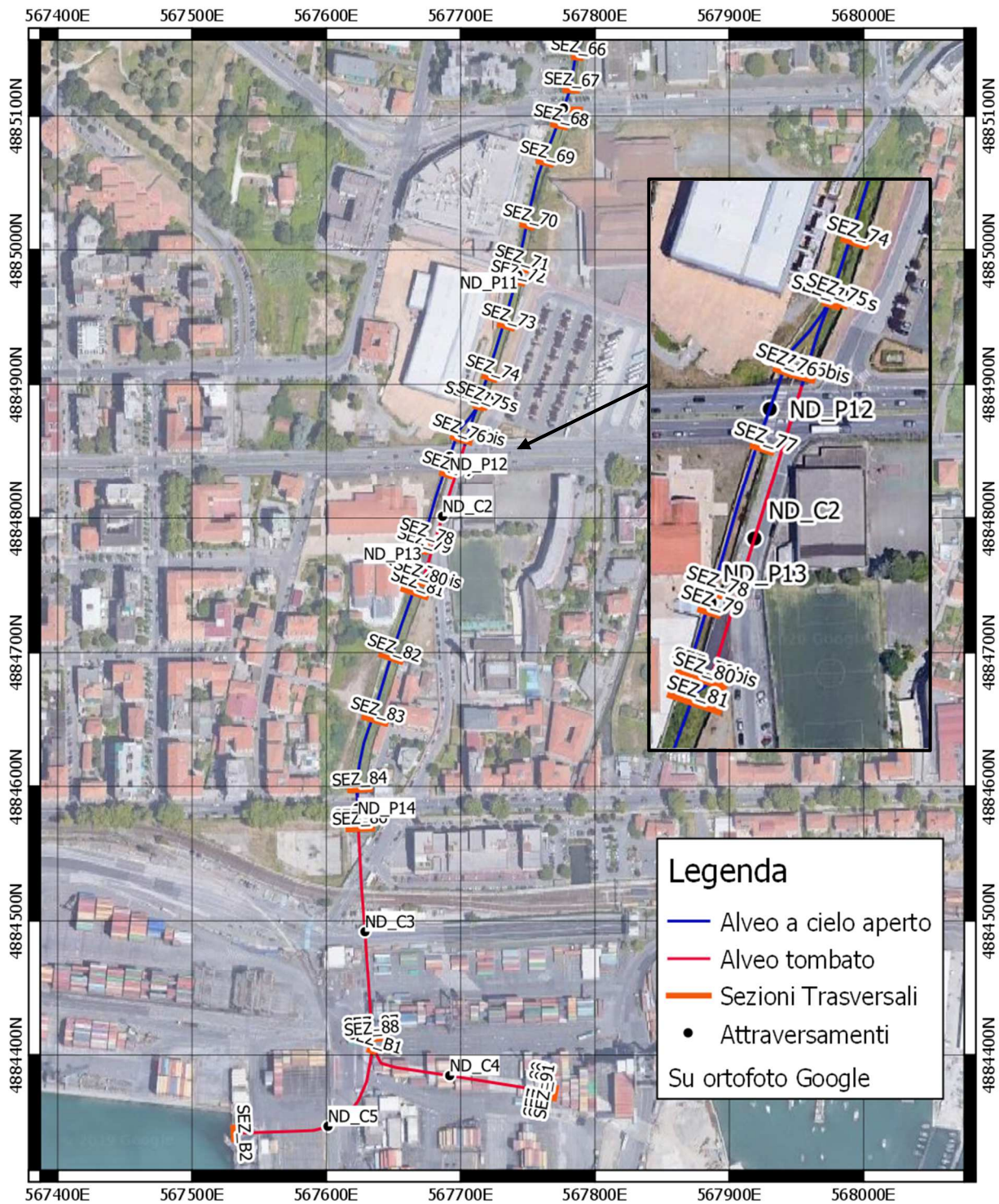


Figura 7 – Network del modello MIKE11 allestito per il torrente Nuova Dorgia, tratto di valle.

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Intradosso
			[m]	[m s.m.]	[m s.m.]
Nuova Dorgia		SEZ_1	0,00	40,92	
Nuova Dorgia		SEZ_2	19,10	40,07	
Nuova Dorgia		SEZ_3	38,80	39,83	
Nuova Dorgia		SEZ_4	47,00	39,83	
Nuova Dorgia	monte soglia	SEZ_5	57,80	39,83	
Nuova Dorgia	valle soglia	SEZ_6	61,80	39,33	
Nuova Dorgia		SEZ_7	78,40	39,13	
Nuova Dorgia		SEZ_8	88,85	39,02	
Nuova Dorgia		SEZ_9	90,95	39,02	
Nuova Dorgia		SEZ_10	99,30	38,91	
Nuova Dorgia	monte ND_P1	SEZ_11	119,20	38,60	41,3
Nuova Dorgia	valle ND_P1	SEZ_12	128,20	38,50	41,2
Nuova Dorgia		SEZ_13	143,90	37,50	
Nuova Dorgia	monte soglia	SEZ_14	164,90	37,28	
Nuova Dorgia	valle soglia	SEZ_15	168,90	36,28	
Nuova Dorgia		SEZ_16	187,50	36,21	
Nuova Dorgia		SEZ_17	196,70	36,09	
Nuova Dorgia		SEZ_18	198,70	36,07	
Nuova Dorgia		SEZ_19	209,90	35,93	
Nuova Dorgia		SEZ_20	231,10	35,55	
Nuova Dorgia		SEZ_21	294,20	34,45	
Nuova Dorgia		SEZ_22	362,70	32,49	
Nuova Dorgia	monte ND_P2	SEZ_23	397,20	31,94	34,79
Nuova Dorgia	valle ND_P2	SEZ_24	480,30	30,66	33,51
Nuova Dorgia	monte ND_P3	SEZ_25	504,70	30,94	33,29
Nuova Dorgia	valle ND_P3	SEZ_26	513,90	30,22	32,57
Nuova Dorgia	monte ND_P4	SEZ_27	521,80	30,49	32,89
Nuova Dorgia	valle ND_P4	SEZ_28	535,30	30,14	32,54
Nuova Dorgia		SEZ_29	557,60	29,55	
Nuova Dorgia		SEZ_30	590,90	28,86	
Nuova Dorgia		SEZ_31	625,10	28,26	
Nuova Dorgia		SEZ_32	662,80	27,91	
Nuova Dorgia		SEZ_33	690,60	26,41	
Nuova Dorgia		SEZ_34	721,40	26,10	
Nuova Dorgia		SEZ_35	730,80	25,88	
Nuova Dorgia		SEZ_36	758,30	25,72	
Nuova Dorgia	monte ND_P5	SEZ_37	770,90	25,60	29,4
Nuova Dorgia	valle ND_P5	SEZ_38	792,70	22,72	26,52
Nuova Dorgia		SEZ_39	862,13	21,80	
Nuova Dorgia		SEZ_40	919,90	20,88	
Nuova Dorgia		SEZ_41	1085,60	19,06	
Nuova Dorgia		SEZ_42	1106,40	19,08	
Nuova Dorgia	monte ND_C1	SEZ_43	1118,69	18,72	20,62
Nuova Dorgia	valle ND_C1	SEZ_44	1378,80	15,77	17,67

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva [m]	Fondo alveo [m s.m.]	Intradosso [m s.m.]
Nuova Dorgia		SEZ_45	1388,80	15,77	
Nuova Dorgia		SEZ_46	1400,00	15,49	
Nuova Dorgia		SEZ_47	1410,00	15,35	
Nuova Dorgia		SEZ_48	1413,00	15,35	
Nuova Dorgia	monte ND_P6	SEZ_49	1418,30	15,30	17,3
Nuova Dorgia	valle ND_P6	SEZ_50	1438,30	15,30	17,3
Nuova Dorgia		SEZ_51	1446,90	14,91	
Nuova Dorgia		SEZ_52	1485,90	14,37	
Nuova Dorgia		SEZ_53	1518,40	14,11	
Nuova Dorgia	monte ND_P7	SEZ_54	1551,50	14,05	16,02
Nuova Dorgia	valle ND_P7	SEZ_55	1566,50	14,05	16,02
Nuova Dorgia	monte salto	SEZ_56	1570,60	14,05	
Nuova Dorgia	valle salto	SEZ_57	1572,60	11,73	
Nuova Dorgia		SEZ_57a	1595,00	11,50	
Nuova Dorgia		SEZ_57b	1600,00	11,45	
Nuova Dorgia		SEZ_58	1699,20	10,45	
Nuova Dorgia	monte ND_P8	SEZ_59	1717,00	10,35	12,5
Nuova Dorgia	valle ND_P8	SEZ_60	1723,60	10,35	12,5
Nuova Dorgia		SEZ_61	1757,50	9,85	
Nuova Dorgia		SEZ_62	1908,90	8,34	
Nuova Dorgia	monte ND_P9	SEZ_63	2059,20	6,00	8,2
Nuova Dorgia	valle ND_P9	SEZ_64	2067,20	6,00	8,2
Nuova Dorgia		SEZ_65	2172,10	5,20	
Nuova Dorgia		SEZ_66	2271,70	4,20	
Nuova Dorgia	monte ND_P10	SEZ_67	2296,50	3,98	5,98
Nuova Dorgia	valle ND_P10	SEZ_68	2324,40	3,76	5,76
Nuova Dorgia		SEZ_69	2353,80	3,45	
Nuova Dorgia		SEZ_70	2402,70	3,10	
Nuova Dorgia		SEZ_71	2445,6	2,71	
Nuova Dorgia		SEZ_73	2479,5	2,646	
Nuova Dorgia		SEZ_74	2519,3	2,57	
Nuova Dorgia		SEZ_75	2541,5	2,51	
Nuova Dorgia	monte ND_P12	SEZ_76	2571,4	2,32	4,32
Nuova Dorgia	valle ND_P12	SEZ_77	2599,4	2,14	4,14
Nuova Dorgia	monte ND_P13	SEZ_78	2652,4	1,78	4,78
Nuova Dorgia	valle ND_P13	SEZ_79	2659,3	1,73	4,73
Nuova Dorgia		SEZ_80	2680,6	1,59	
Nuova Dorgia		SEZ_81	2692,1	1,46	
Nuova Dorgia		SEZ_82	2743,4	1,04	
Nuova Dorgia		SEZ_83	2791,2	0,67	
Nuova Dorgia	monte ND_P14	SEZ_84	2845,5	0,23	2,58
Nuova Dorgia	valle ND_P14	SEZ_85	2872,4	0,08	2,43
Nuova Dorgia	monte ND_C3	SEZ_86	2874,8	0,05	2,33
Nuova Dorgia	valle ND_C3	SEZ_87	3027,6	-0,93	1,35

Ramo	Descrizione	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Intradosso
			[m]	[m s.m.]	[m s.m.]
Nuova Dorgia	monte ND_C4	SEZ_88	3031,6	-0,93	1,55
Nuova Dorgia		SEZ_89	3174,49	-1,5	1,55
Nuova Dorgia		SEZ_90	3178,49	-4,55	1,55
Nuova Dorgia	valle ND_C4	SEZ_91	3182,49	-4,55	1,55
Buonviaggio		SEZB_1	0	63	
Buonviaggio		SEZB_2	22,35	62,14	
Buonviaggio		SEZB_3	39,87	58,8	
Buonviaggio		SEZB_4	56,59	54,09	
Buonviaggio		SEZB_5	75,33	52,12	
Buonviaggio		SEZB_6	85,26	49,99	
Buonviaggio		SEZB_7	98,9	48,7	
Buonviaggio		SEZB_8	123,72	47,38	
Buonviaggio	monte ND_B_P1	SEZB_9	148,95	45,53	47,93
Buonviaggio	monte ND_B_P2	SEZB_10	166,28	44,09	49,39
Buonviaggio	valle ND_B_P2	SEZB_11	176,95	43,2	48,5
Buonviaggio		SEZB_12	224,61	41,98	
Buonviaggio		SEZB_13	293,75	38,03	
Buonviaggio		SEZB_14	344,99	36,49	
Buonviaggio		SEZB_15	425,58	34,65	
Buonviaggio		SEZB_16	484,42	33,82	
Buonviaggio		SEZB_17	544,71	32,51	
Buonviaggio	monte ND_B_P3	SEZB_18	564,45	32,41	35,21
Buonviaggio	valle ND_B_P3	SEZB_19	586,71	32,31	35,11
Buonviaggio		SEZB_20	617,58	31,31	
Buonviaggio		SEZB_21	657,18	28,66	
Buonviaggio	monte ND_B_P4	SEZB_23	701,76	28,8	31,8
Buonviaggio	valle ND_B_P4	SEZB_24	705,29	28,78	31,78
Buonviaggio		SEZB_26	739,78	27,47	
Buonviaggio	monte salto	SEZB_27	749,68	27,22	
Buonviaggio	valle salto	SEZB_28	751,68	24,62	
Buonviaggio	monte ND_B_C1	SEZB_29	772,05	24,1	25,6
Buonviaggio	valle ND_B_C1	SEZB_30	812,05	23,83	25,33
Buonviaggio	monte ND_B_C2	SEZB_31	814,05	23,13	25,63
Buonviaggio	valle ND_B_C2	SEZB_32	825,05	23,05	25,55
Buonviaggio	monte ND_B_C3	SEZB_33	827,05	23,03	24,03
Buonviaggio	valle ND_B_C3	SEZB_34	834,55	22,72	23,72
Nuova DorgiaB		SEZ_75bis	0	2,51	
Nuova DorgiaB	monte ND_C2	SEZ_76bis	28,5	2,32	4,32
Nuova DorgiaB	valle ND_C2	SEZ_79bis	146,3	1,46	3,46
Nuova DorgiaC	monte ND_C5	SEZ_B1	0	-0,93	1,35
Nuova DorgiaC	valle ND_C5	SEZ_B2	141,51	-5	-2,72

Tabella 2 – Anagrafica delle sezioni del torrente Nuova Dorgia inserite nel modello numerico (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 piuttosto fitta, a maglia 2,0 x 2,0 m, composta da 1.775 righe e 1.000 colonne (1.775.000 punti di calcolo).

Nella Figura 8 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 190 m s.m.).

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).

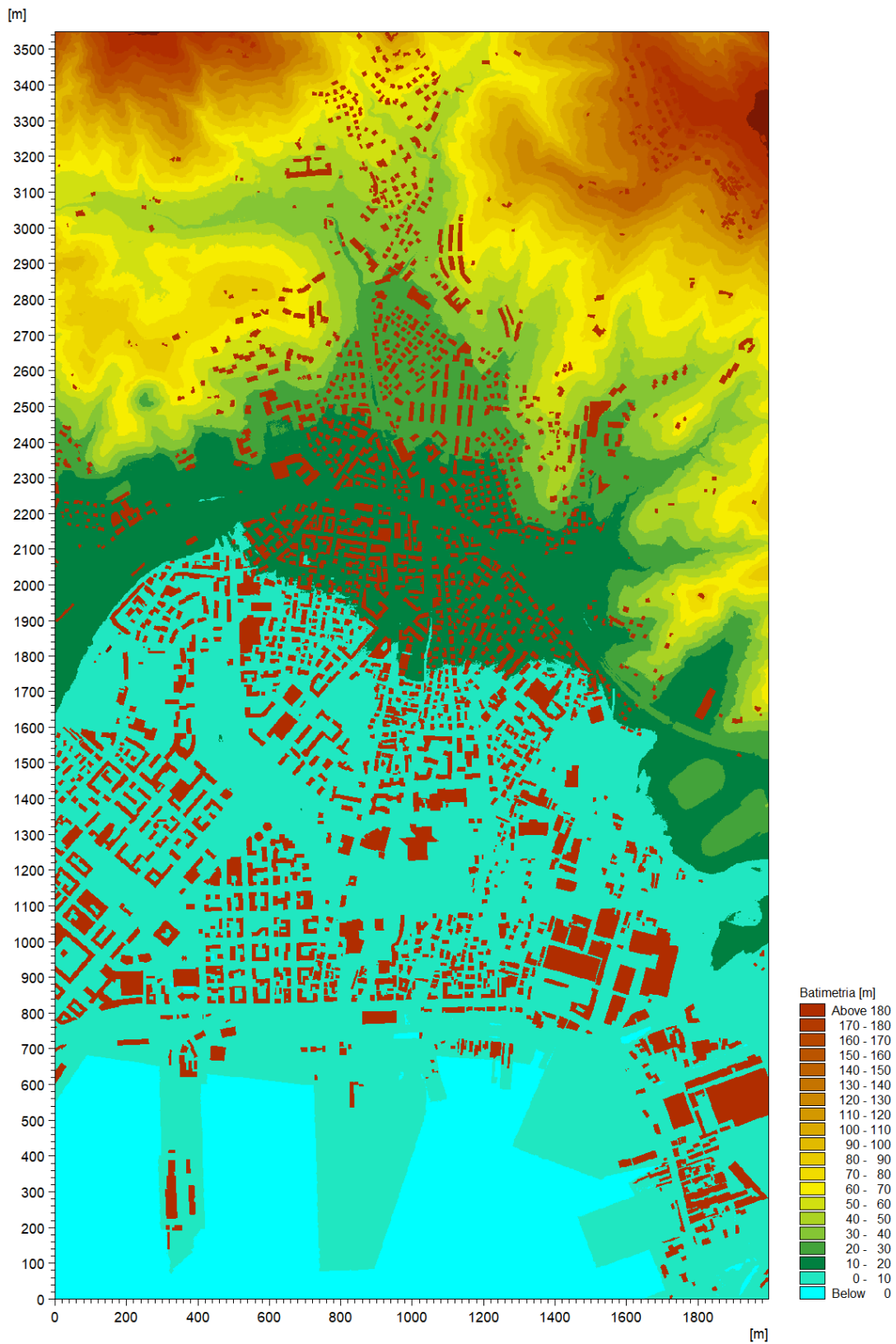


Figura 8 – Batimetria del modello 2D del torrente Vecchia Dorgia e del torrente Nuova Dorgia a maglia 2,0 x 2,0 m (dominio di calcolo complessivo).

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 ϵ (mm) [mm]	Bazin γ [m ^{1/2}]	Kutter m [m ^{1/2}]	Manning n [m ^{-1/3} *s]	Gauckler Strickler K_s [m ^{1/3} *s ⁻¹]
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 [$m^{1/3} \cdot s^{-1}$]
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 $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lungo i tratti di alveo naturale e di $45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ lungo i tratti rivestiti, coperti 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 $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, mentre a quelle pavimentate un coefficiente di $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

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 0,15 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. Nel caso in esame al coefficiente è stato assegnato un valore costante pari a $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ 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 in funzione di tre scenari idrologici caratterizzati da tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Per le sezioni di interesse (sezioni di chiusura di bacini e sottobacini contribuenti significativi in relazione all'estensione dei tratti di corso d'acqua simulati) sono stati definiti nell'ambito dell'analisi idrologica (v. elaborato 3636-03-00100) i relativi idrogrammi di piena di riferimento.

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 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 le aree di 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.

I contributi di portata così definiti sono risultati tali, come esposto nel capitolo 5, da bilanciare generalmente gli effetti di riduzione del colmo nei tratti precedenti, verificando nei tratti terminali dei due corsi d'acqua portate piuttosto prossime ai valori idrologici di calcolo. Non si è pertanto ritenuto necessario effettuare ulteriori schemi di simulazione relativi ai soli tratti di valle con l'immissione concentrata degli idrogrammi idrologici teorici per la sezione di foce.

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.

Per i vari scenari simulati con il modello accoppiato 1D+2D sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno.

Condizione al contorno del torrente Vecchia Dorgia (nel modello MIKE11).

- Portata in ingresso nella sezione di monte secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente VD-C per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le rispettive portate al colmo valgono 13,01 m³/s, 15,53 m³/s, 17,19 m³/s.

- Portata in ingresso nella sezione SEZ_28 secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente VD-D (Fosso Ponticelli) per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le rispettive portate al colmo valgono 8,22 m³/s, 9,95 m³/s, 11,08 m³/s.
- Portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate dal bacino residuo compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche VD-C e VD-B, 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_7 e SEZ_28, funzionali a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica VD-B pari a 22,63 m³/s, 27,50 m³/s, 30,70 m³/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.
- Portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate dal bacino residuo compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche VD-B e VD-A, 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_28 e SEZ_45, funzionali a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica VD-A pari a 27,89 m³/s, 33,88 m³/s, 37,83 m³/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 pari a 0,5 m s.m.

Condizione al contorno del torrente Nuova Dorgia (nel modello MIKE11).

- Portata in ingresso nella sezione di monte del ramo della Nuova Dorgia secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente ND-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 38,77 m³/s, 47,20 m³/s, 52,75 m³/s.
- Portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate dal bacino residuo compreso tra le sezioni di chiusura idrologiche ND-C e ND-A, 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_38 e SEZ_89, funzionali a ottenere, nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione, i valori al colmo nella sezione idrologica ND-A pari a 52,60 m³/s, 70,90 m³/s e 85,30 m³/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.
- Portata in ingresso nella SEZB_7 del ramo del Fosso Buonviaggio secondo l'idrogramma di riferimento generato dal bacino afferente ND_PE-A relativo all'affluente Fosso Pellizzaro per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 11,85 m³/s, 14,08 m³/s, 15,54 m³/s.
- Portata in ingresso nella SEZB_1 del ramo del Fosso Buonviaggio il cui contributo, sommato (nella sovrapposizione teorica senza effetti di laminazione) a quello immesso nella sezione SEZB_7, è associato ai valori al colmo nella sezione idrologica ND_BN-A pari a 29,70 m³/s, 36,02 m³/s e 40,17 m³/s rispettivamente per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni.

A titolo di esempio si riportano in Figura 9 e in Figura 10 gli idrogrammi per tempo di ritorno di 200 anni assegnati in input rispettivamente lungo le aste fluviali del torrente Vecchia Dorgia e del torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

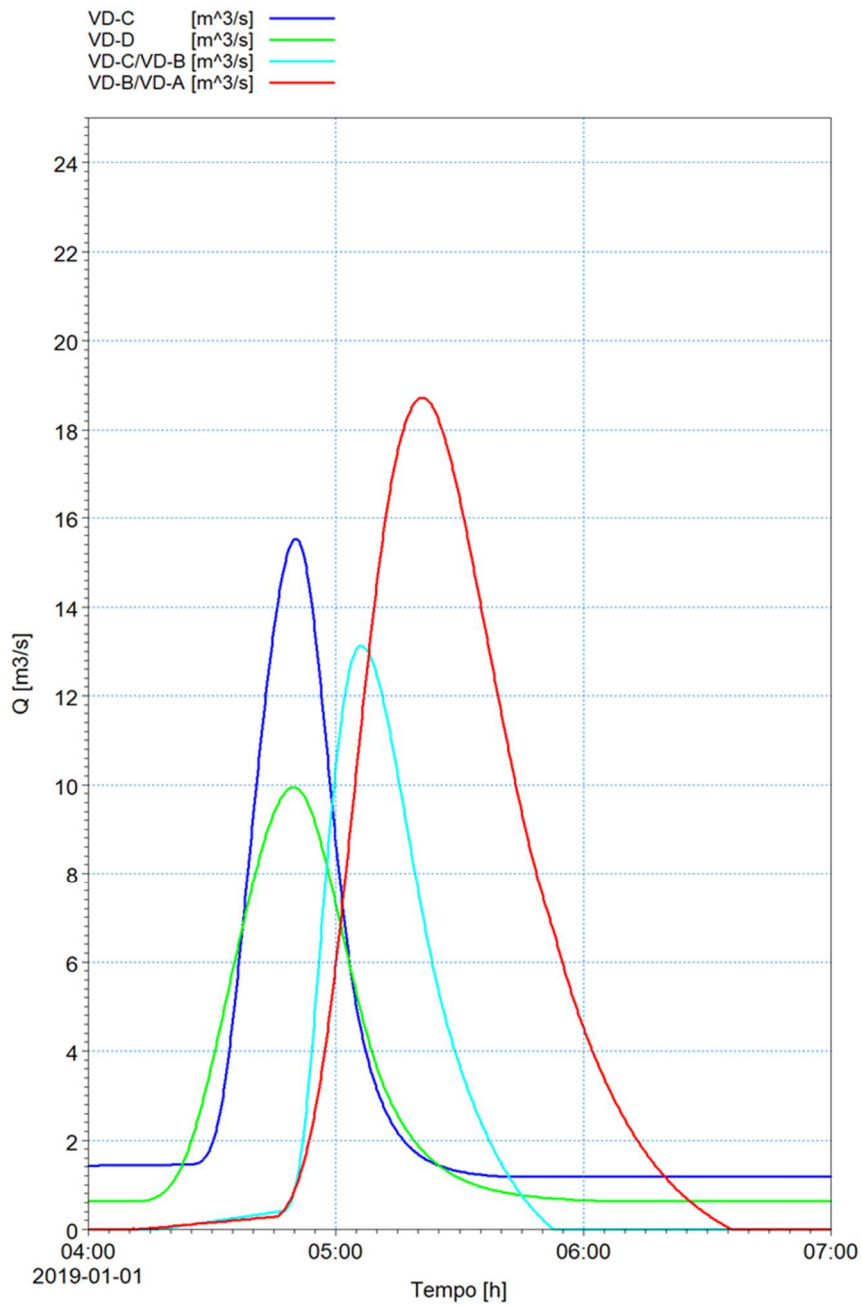


Figura 9 – Idrogrammi in input sul torrente Vecchia Dorgia per tempo di ritorno 200 anni.

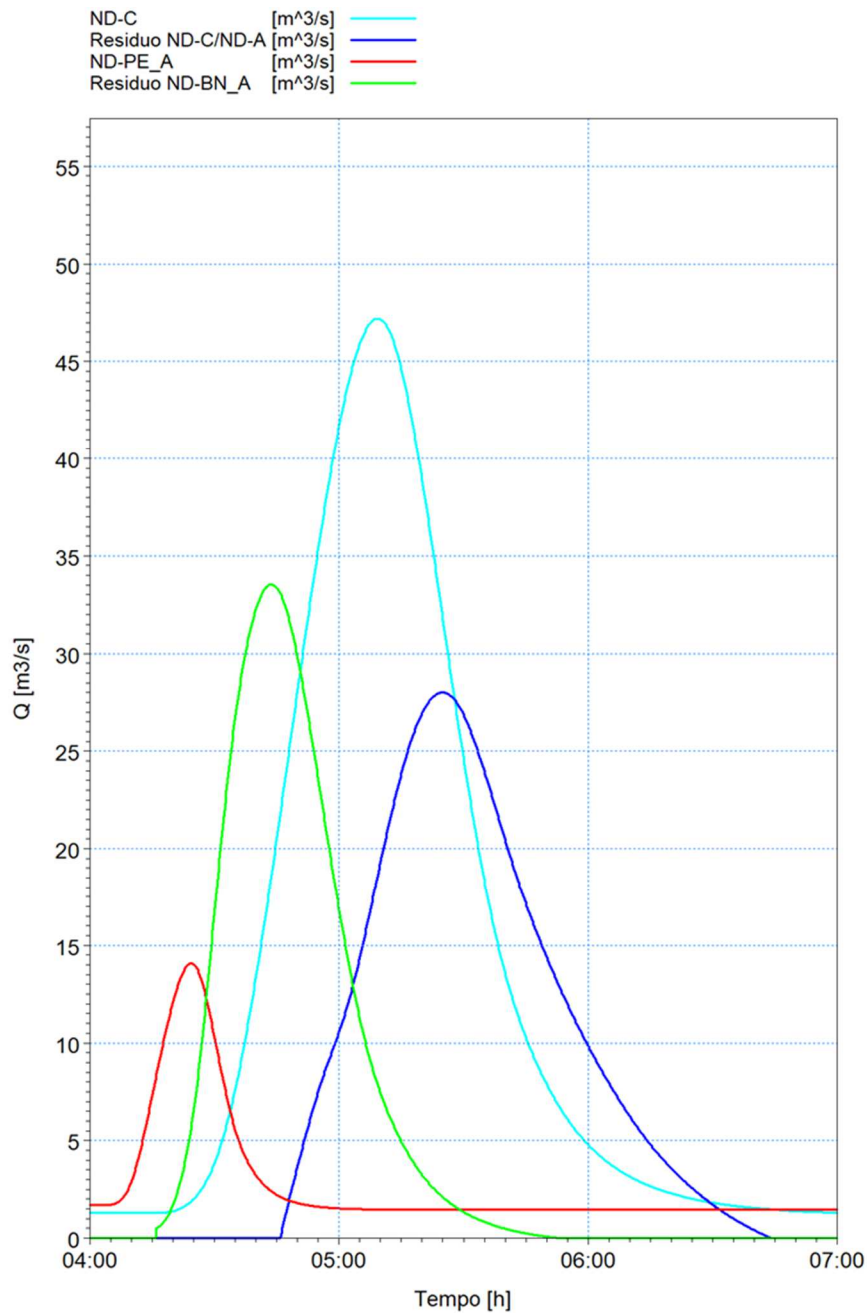


Figura 10 – Idrogrammi in input sul torrente Nuova Dorgia e sull’affluente Fosso Buonviaggio per tempo di ritorno 200 anni.

Per tutte le aste sono state applicate le 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.

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 sono indicati di seguito e riportati in specifiche tabelle:

- ID Sez. = identificativo sezione;
- Progr. = progressiva metrica lungo l'asta (m);
- Q = portata massima (m^3/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 stati eseguiti 3 scenari di simulazione:

- 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 MIKE 11: torrente Vecchia Dorgia

5.1.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

Nella Tabella 5 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Vecchia Dorgia (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 11 e Figura 12 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dal modello monodimensionale si evince quanto segue:

- il livello idrico massimo in alveo supera la sommità spondale destra nel tratto a monte dell'imbocco della tombinatura VD_C1 (nell'area del cantiere per la realizzazione della variante alla S.S.1 Aurelia), la quale manifesta un deflusso in pressione al transito del colmo di piena;
- l'attraversamento VD_P2 (all'incrocio tra salita Castelvecchio e via Da Passano) ha un funzionamento in pressione e genera un innalzamento del livello idrico a monte che lambisce le sommità spondali;
- il livello idrico massimo in alveo supera le sommità spondali nel tratto a cielo aperto compreso tra il ponte VD_P4 e l'imbocco della tombinatura VD_C2 (a monte dell'attraversamento della ferrovia).

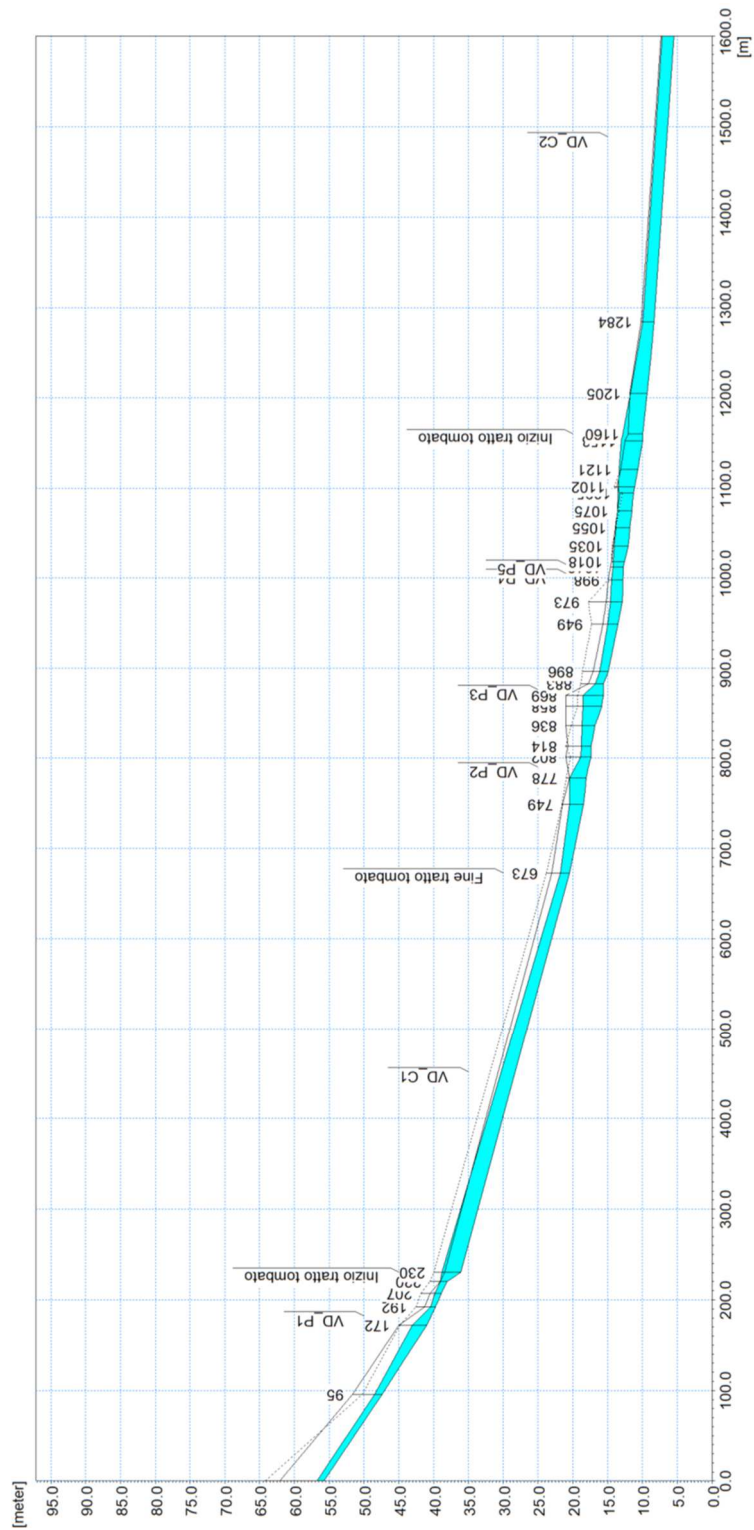


Figura 11 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del torrente Vecchia Dorgia, scenario TR50.

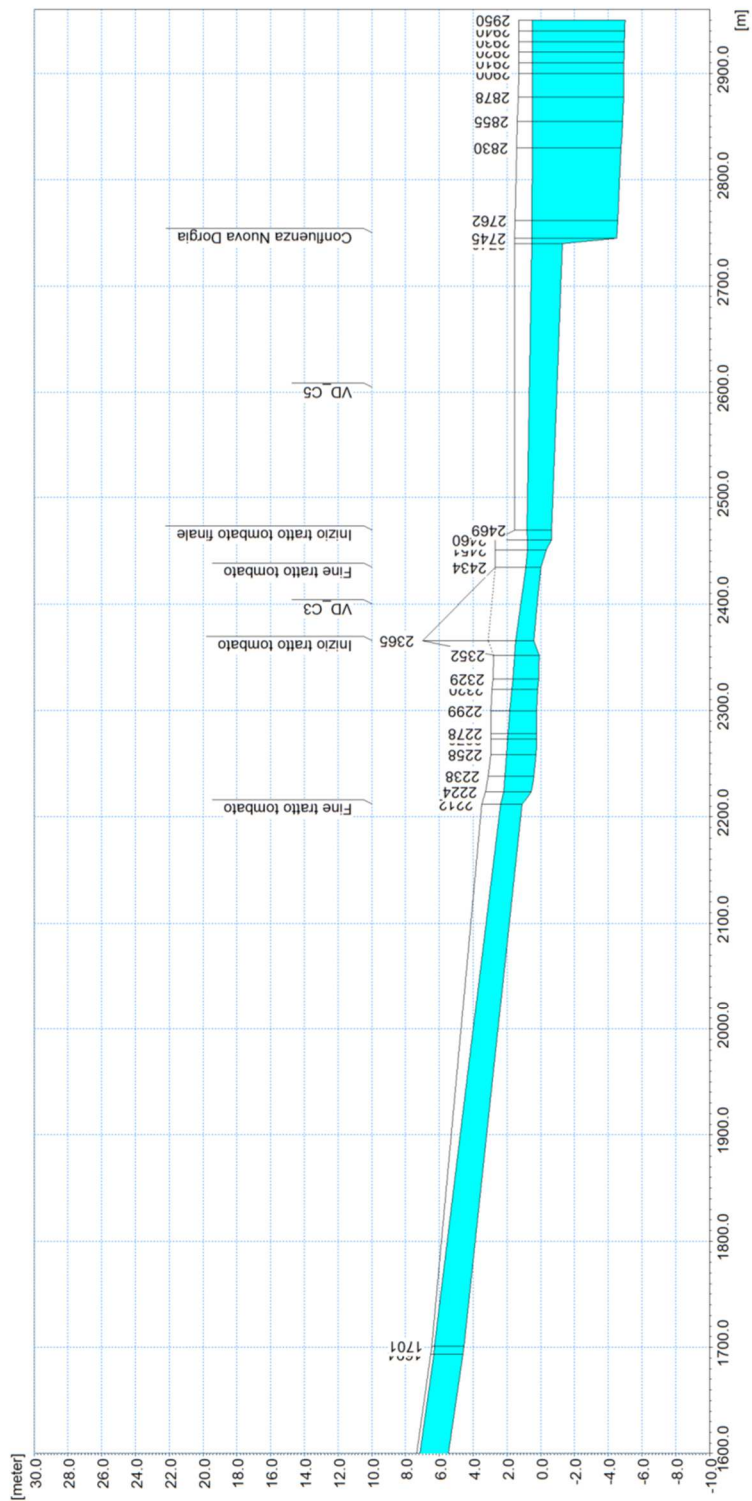


Figura 12 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del torrente Vecchia Dorgia, scenario TR50.

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Vecchia Dorgia	SEZ_1	0,00	55,76	13,00	56,74	0,98	5,73	2,30	58,41
Vecchia Dorgia	SEZ_2	95,46	47,39	12,98	48,51	1,12	5,05	2,11	49,81
Vecchia Dorgia	SEZ_3	172,20	40,98	12,80	43,04	2,06	0,61	0,19	43,06
Vecchia Dorgia	SEZ_4	192,32	39,70	12,78	40,43	0,73	3,37	1,62	41,01
Vecchia Dorgia	SEZ_5	207,21	38,88	12,77	39,84	0,96	4,27	2,06	40,77
Vecchia Dorgia	SEZ_6	220,10	38,06	12,75	39,02	0,96	2,88	1,42	39,44
Vecchia Dorgia	SEZ_7	230,20	36,10	13,22	38,81	2,71	1,30	0,34	38,90
Vecchia Dorgia	SEZ_8	672,58	20,50	13,27	21,80	1,30	3,11	1,04	22,29
Vecchia Dorgia	SEZ_9	748,96	18,45	13,76	20,46	2,01	1,78	0,57	20,62
Vecchia Dorgia	SEZ_10	778,32	18,04	14,00	20,43	2,39	1,13	0,28	20,49
Vecchia Dorgia	SEZ_11	801,55	17,40	14,16	18,85	1,45	1,28	0,35	18,93
Vecchia Dorgia	SEZ_12	813,52	17,34	14,34	18,80	1,46	1,50	0,42	18,92
Vecchia Dorgia	SEZ_13	835,99	16,80	14,58	18,67	1,87	2,52	0,59	18,99
Vecchia Dorgia	SEZ_14	857,61	15,85	14,75	18,54	2,69	1,77	0,34	18,70
Vecchia Dorgia	SEZ_15	869,29	15,62	14,89	18,50	2,88	1,72	0,33	18,65
Vecchia Dorgia	SEZ_16	882,86	15,60	15,03	16,76	1,16	4,91	1,60	17,99
Vecchia Dorgia	SEZ_17	896,00	14,86	15,39	16,14	1,28	3,65	1,03	16,82
Vecchia Dorgia	SEZ_18	948,65	13,49	15,80	14,93	1,44	3,32	0,88	15,49
Vecchia Dorgia	SEZ_19	973,43	12,90	16,07	14,55	1,65	1,89	0,47	14,73
Vecchia Dorgia	SEZ_20	997,52	12,77	16,45	14,47	1,70	1,94	0,48	14,66
Vecchia Dorgia	SEZ_21	1012,12	12,73	16,98	14,20	1,47	2,93	0,77	14,64
Vecchia Dorgia	SEZ_22	1018,15	12,55	17,07	14,18	1,63	2,66	0,67	14,54
Vecchia Dorgia	SEZ_23	1035,45	12,03	16,74	14,01	1,98	2,86	0,65	14,43
Vecchia Dorgia	SEZ_24	1094,61	11,27	17,32	13,50	2,23	2,33	0,53	13,78
Vecchia Dorgia	SEZ_25	1101,98	11,10	17,32	13,46	2,36	2,31	0,53	13,73
Vecchia Dorgia	SEZ_26	1120,84	10,65	16,66	13,35	2,70	3,09	0,60	13,84
Vecchia Dorgia	SEZ_27	1152,61	9,98	13,33	13,03	3,05	2,19	0,40	13,27
Vecchia Dorgia	SEZ_28	1160,27	9,93	16,98	12,84	2,91	2,92	0,55	13,27
Vecchia Dorgia	SEZ_29	1204,77	9,31	15,67	11,76	2,45	3,20	0,65	12,28
Vecchia Dorgia	SEZ_30	1284,39	8,30	18,03	9,92	1,62	3,10	0,78	10,41
Vecchia Dorgia	SEZ_31	1693,58	4,60	20,22	6,33	1,73	3,25	0,79	6,87
Vecchia Dorgia	SEZ_32	2211,65	1,10	26,07	2,37	1,27	4,77	1,36	3,53
Vecchia Dorgia	SEZ_33	2223,69	0,55	26,22	2,19	1,64	3,20	0,80	2,71
Vecchia Dorgia	SEZ_34	2238,43	0,40	26,42	2,11	1,71	3,09	0,75	2,60
Vecchia Dorgia	SEZ_35	2258,39	0,26	26,62	2,02	1,76	3,03	0,73	2,49
Vecchia Dorgia	SEZ_36	2273,17	0,24	26,73	1,96	1,72	3,12	0,76	2,45
Vecchia Dorgia	SEZ_37	2278,17	0,24	26,89	1,93	1,69	3,24	0,80	2,47
Vecchia Dorgia	SEZ_38	2299,31	0,23	27,14	1,82	1,59	3,41	0,86	2,41
Vecchia Dorgia	SEZ_39	2319,79	0,19	27,31	1,70	1,51	3,62	0,94	2,37
Vecchia Dorgia	SEZ_40	2329,36	0,12	27,47	1,63	1,51	3,24	0,84	2,16

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Vecchia Dorgia	SEZ_41	2351,65	0,09	10,20	1,55	1,46	2,00	0,53	1,75
Vecchia Dorgia	SEZ_42	2365,34	0,40	10,70	1,49	1,09	2,29	0,70	1,76
Vecchia Dorgia	SEZ_43	2434,45	0,00	11,11	0,88	0,88	1,22	0,41	0,96
Vecchia Dorgia	SEZ_44	2450,69	-0,34	28,84	0,77	1,11	2,53	0,77	1,10
Vecchia Dorgia	SEZ_45	2460,11	-0,64	28,93	0,77	1,41	1,99	0,53	0,97
Vecchia Dorgia	SEZ_46	2469,45	-0,64	28,93	0,82	1,46	1,39	0,37	0,92
Vecchia Dorgia	SEZ_47	2740,02	-1,30	29,84	0,52	1,82	1,16	0,27	0,59
Vecchia Dorgia	SEZ_48	2744,69	-4,50	29,86	0,51	5,01	0,46	0,03	0,52
Vecchia Dorgia	SEZ_49	2761,64	-4,55	29,80	0,51	5,07	0,45	0,03	0,52
Vecchia Dorgia	SEZ_50	2830,04	-4,78	59,74	0,51	5,28	0,87	0,05	0,55
Vecchia Dorgia	SEZ_51	2854,66	-4,86	59,73	0,51	5,36	0,86	0,05	0,55
Vecchia Dorgia	SEZ_52	2877,66	-4,92	59,74	0,50	5,43	0,84	0,04	0,54
Vecchia Dorgia	SEZ_53	2900,00	-4,92	59,74	0,50	5,42	0,85	0,04	0,54
Vecchia DorgiaB	SEZ_1A	0,00	0,12	17,60	1,63	1,51	1,45	0,38	1,74
Vecchia DorgiaB	SEZ_2A	19,92	0,09	17,53	1,59	1,50	1,46	0,38	1,70
Vecchia DorgiaB	SEZ_3A	31,52	0,06	17,52	1,57	1,51	1,45	0,38	1,68
Vecchia DorgiaB	SEZ_4A	106,67	0,00	17,49	0,88	0,88	2,47	0,84	1,19

Tabella 5 – Risultati di sintesi per lo scenario TR50, Vecchia Dorgia.

La lunga tombinatura che si estende dall'intersezione con la ferrovia fino a valle di via Carducci risulta con funzionamento in pressione nel primo tratto di monte, fino all'incirca all'intersezione di via Plana e via Maralunga (SEZ_31), dopodiché si riscontra un graduale incremento del franco e condizioni di sbocco a pelo libero.

Più a valle la tombinatura di attraversamento di viale S. Bartolomeo è suddivisa in due rami; quello principale (di sinistra, VD_C3) presenta un franco idraulico minimo di 0,5 m nel tratto più sfavorevole, mentre quello di destra, di minore sezione di deflusso, è al limite del funzionamento in pressione (franco di circa 9 cm). La tombinatura terminale mostra franchi dell'ordine di 0,75-0,80 m, condizionati dal livello imposto di mare.

In Figura 13 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

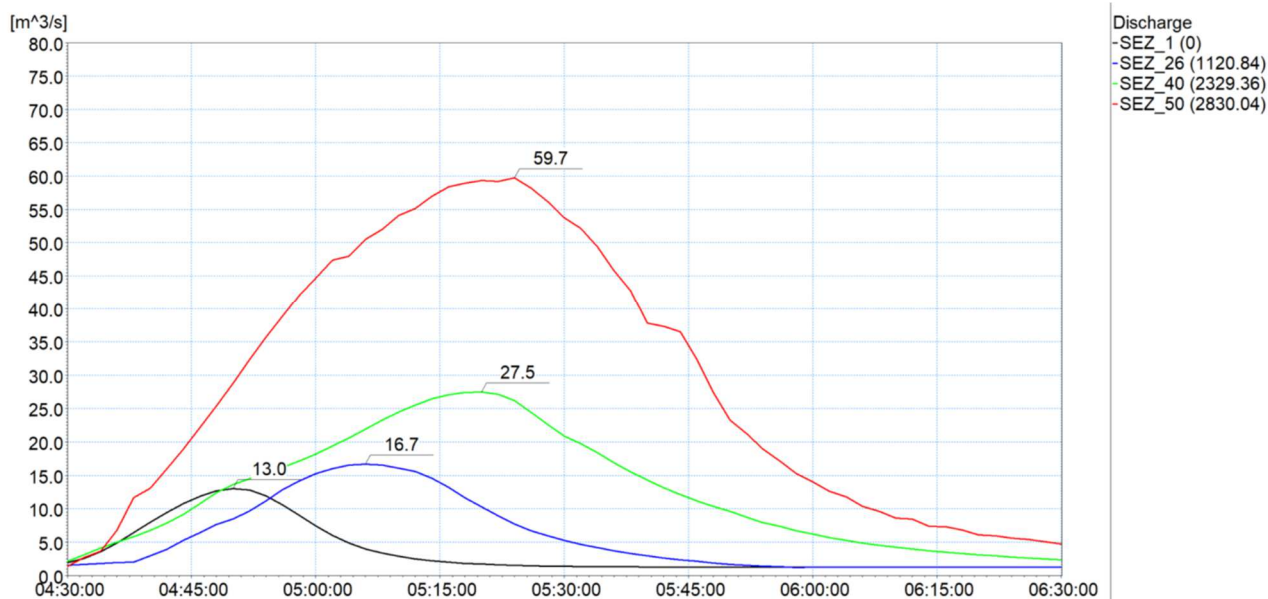


Figura 13 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, torrente Vecchia Dorgia.

Per il torrente Vecchia Dorgia, procedendo da monte verso valle, si vede come il valore del picco di piena aumenti dal valore di 13 m³/s nella sezione iniziale SEZ_1 al valore di 27,5 m³/s poco a monte dell'immissione del ramo della Nuova Dorgia (SEZ_40). Quest'ultimo valore, registrato nella sezione prossima a quella di chiusura del bacino VD_A, risulta di poco inferiore a quello teorico determinato nell'analisi idrologica (pari a 27,89 m³/s). L'aumento di portata lungo l'asta è legato al contributo di portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto generata dal bacino residuo, ed è al netto delle fuoriuscite osservate nei tratti di monte. A monte della linea ferroviaria (SEZ_26) il valore al colmo è pari a 16,7 m³/s.

Il valore di picco a valle della confluenza del torrente Nuova Dorgia risulta pari a 59,7 m³/s; l'entità di tale colmo è condizionata dallo sfasamento temporale (diversi tempi di corrivazione) tra le onde di piena relative alle due aste fluviali.

5.1.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

Nella Tabella 6 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Vecchia Dorgia (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come involucro dei valori massimi. In Figura 14 e Figura 15 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

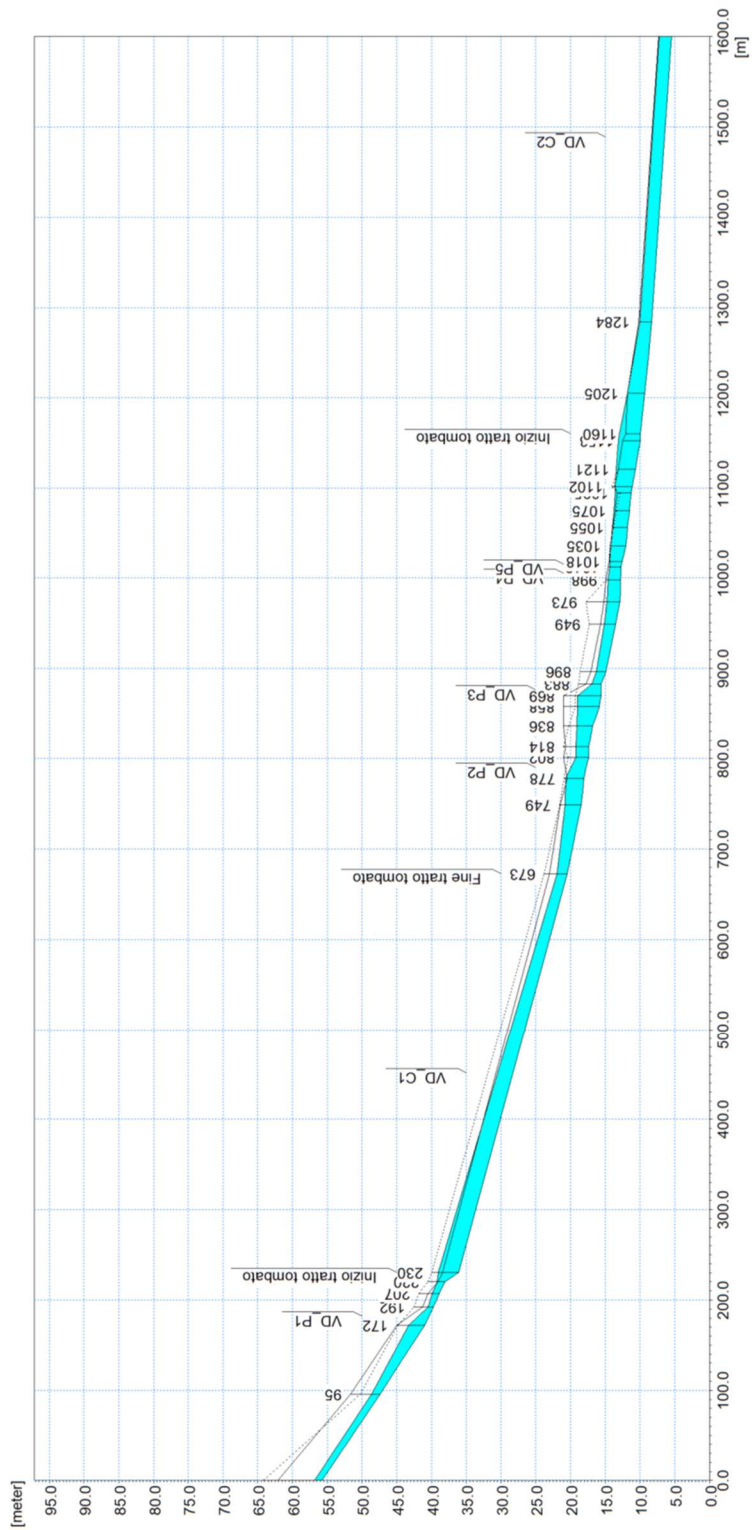


Figura 14 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del torrente Vecchia Dorgia, scenario TR200.

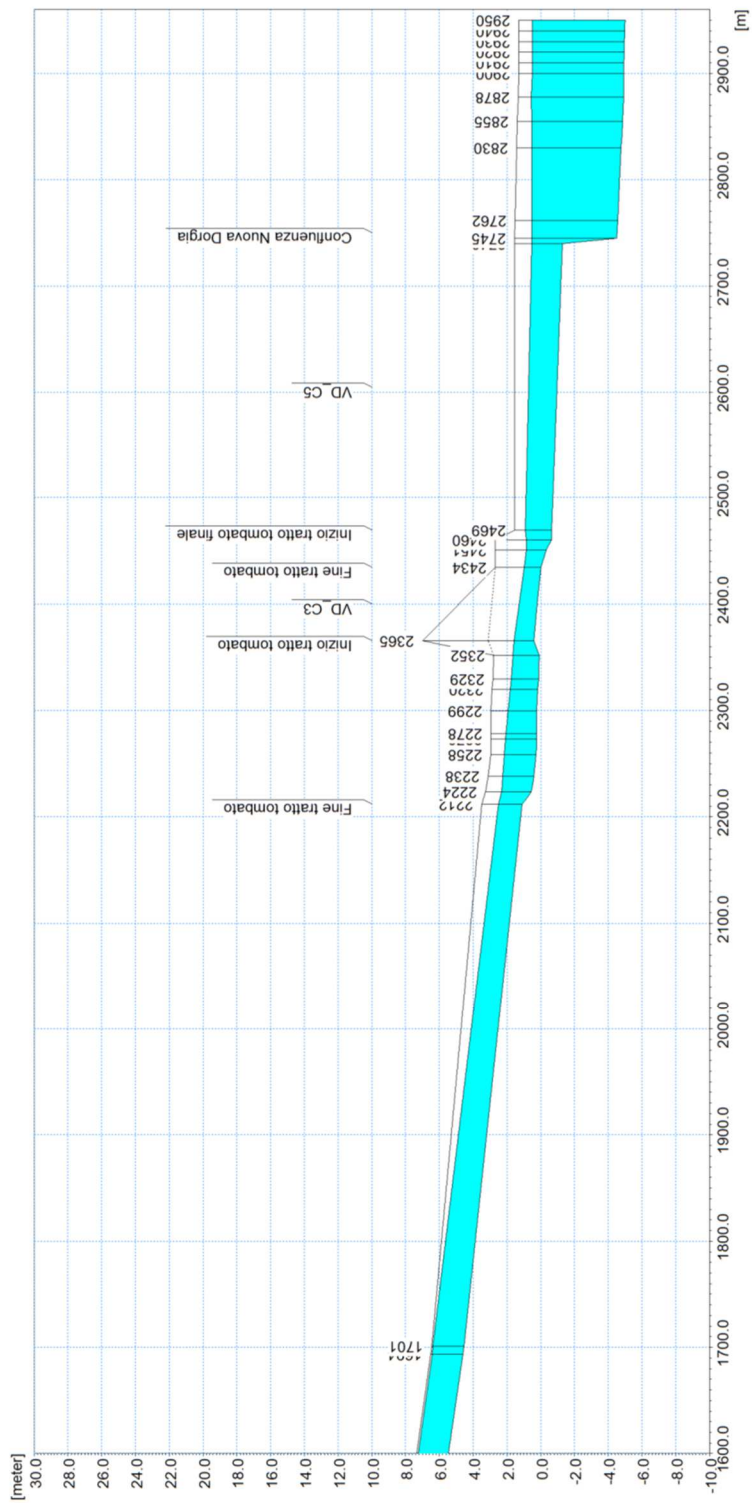


Figura 15 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del torrente Vecchia Dorgia, scenario TR200.

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Vecchia Dorgia	SEZ_1	0,00	55,76	15,53	56,82	1,06	6,02	2,33	58,67
Vecchia Dorgia	SEZ_2	95,46	47,39	15,50	48,59	1,20	5,27	2,10	50,01
Vecchia Dorgia	SEZ_3	172,20	40,98	15,28	43,31	2,33	0,57	0,16	43,33
Vecchia Dorgia	SEZ_4	192,32	39,70	15,26	40,49	0,79	3,53	1,62	41,13
Vecchia Dorgia	SEZ_5	207,21	38,88	15,26	39,92	1,04	4,26	2,01	40,85
Vecchia Dorgia	SEZ_6	220,10	38,06	15,21	39,15	1,09	2,61	1,14	39,50
Vecchia Dorgia	SEZ_7	230,20	36,10	15,60	39,01	2,91	1,35	0,34	39,10
Vecchia Dorgia	SEZ_8	672,58	20,50	14,87	21,92	1,42	3,07	1,00	22,40
Vecchia Dorgia	SEZ_9	748,96	18,45	15,92	20,74	2,29	1,59	0,47	20,87
Vecchia Dorgia	SEZ_10	778,32	18,04	16,44	20,73	2,69	1,12	0,26	20,79
Vecchia Dorgia	SEZ_11	801,55	17,40	16,55	19,26	1,86	1,14	0,28	19,33
Vecchia Dorgia	SEZ_12	813,52	17,34	16,74	19,22	1,88	1,31	0,33	19,31
Vecchia Dorgia	SEZ_13	835,99	16,80	17,06	19,08	2,28	2,41	0,51	19,38
Vecchia Dorgia	SEZ_14	857,61	15,85	17,29	19,00	3,15	1,77	0,32	19,16
Vecchia Dorgia	SEZ_15	869,29	15,62	17,47	18,96	3,34	1,73	0,31	19,11
Vecchia Dorgia	SEZ_16	882,86	15,60	17,66	16,90	1,30	5,00	1,54	18,18
Vecchia Dorgia	SEZ_17	896,00	14,86	18,13	16,32	1,46	3,77	1,00	17,04
Vecchia Dorgia	SEZ_18	948,65	13,49	18,92	15,14	1,65	3,47	0,86	15,75
Vecchia Dorgia	SEZ_19	973,43	12,90	19,33	14,71	1,81	2,07	0,49	14,93
Vecchia Dorgia	SEZ_20	997,52	12,77	19,98	14,59	1,82	2,20	0,52	14,84
Vecchia Dorgia	SEZ_21	1012,12	12,73	20,45	14,39	1,66	3,13	0,78	14,89
Vecchia Dorgia	SEZ_22	1018,15	12,55	20,46	14,38	1,83	2,83	0,67	14,79
Vecchia Dorgia	SEZ_23	1035,45	12,03	20,14	14,20	2,17	3,15	0,68	14,70
Vecchia Dorgia	SEZ_24	1094,61	11,27	20,26	13,61	2,34	2,57	0,57	13,95
Vecchia Dorgia	SEZ_25	1101,98	11,10	19,97	13,59	2,49	2,50	0,56	13,91
Vecchia Dorgia	SEZ_26	1120,84	10,65	18,94	13,45	2,80	3,38	0,64	14,03
Vecchia Dorgia	SEZ_27	1152,61	9,98	13,26	13,12	3,14	2,11	0,38	13,35
Vecchia Dorgia	SEZ_28	1160,27	9,93	17,58	12,93	3,00	2,93	0,54	13,37
Vecchia Dorgia	SEZ_29	1204,77	9,31	15,94	11,78	2,47	3,22	0,65	12,31
Vecchia Dorgia	SEZ_30	1284,39	8,30	19,18	9,98	1,68	3,17	0,78	10,49
Vecchia Dorgia	SEZ_31	1693,58	4,60	22,04	6,43	1,83	3,34	0,79	7,00
Vecchia Dorgia	SEZ_32	2211,65	1,10	29,41	2,49	1,39	4,88	1,33	3,70
Vecchia Dorgia	SEZ_33	2223,69	0,55	29,60	2,32	1,77	3,35	0,80	2,89
Vecchia Dorgia	SEZ_34	2238,43	0,40	29,85	2,24	1,84	3,24	0,76	2,78
Vecchia Dorgia	SEZ_35	2258,39	0,26	30,10	2,14	1,88	3,20	0,74	2,66
Vecchia Dorgia	SEZ_36	2273,17	0,24	30,25	2,08	1,84	3,30	0,78	2,63
Vecchia Dorgia	SEZ_37	2278,17	0,24	30,44	2,05	1,81	3,43	0,81	2,65
Vecchia Dorgia	SEZ_38	2299,31	0,23	30,72	1,93	1,70	3,61	0,88	2,59
Vecchia Dorgia	SEZ_39	2319,79	0,19	30,93	1,81	1,62	3,83	0,96	2,56
Vecchia Dorgia	SEZ_40	2329,36	0,12	31,13	1,73	1,61	3,44	0,87	2,33

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Vecchia Dorgia	SEZ_41	2351,65	0,09	11,47	1,65	1,56	2,00	0,51	1,85
Vecchia Dorgia	SEZ_42	2365,34	0,40	12,10	1,58	1,18	2,38	0,70	1,87
Vecchia Dorgia	SEZ_43	2434,45	0,00	12,61	0,96	0,96	1,27	0,41	1,04
Vecchia Dorgia	SEZ_44	2450,69	-0,34	32,76	0,85	1,19	2,68	0,78	1,22
Vecchia Dorgia	SEZ_45	2460,11	-0,64	32,87	0,85	1,49	2,15	0,56	1,08
Vecchia Dorgia	SEZ_46	2469,45	-0,64	32,88	0,90	1,54	1,50	0,39	1,01
Vecchia Dorgia	SEZ_47	2740,02	-1,30	35,35	0,52	1,82	1,37	0,32	0,62
Vecchia Dorgia	SEZ_48	2744,69	-4,50	35,63	0,52	5,02	0,55	0,03	0,54
Vecchia Dorgia	SEZ_49	2761,64	-4,55	35,30	0,51	5,07	0,53	0,03	0,52
Vecchia Dorgia	SEZ_50	2830,04	-4,78	68,01	0,53	5,31	0,98	0,05	0,58
Vecchia Dorgia	SEZ_51	2854,66	-4,86	68,01	0,53	5,39	0,97	0,05	0,58
Vecchia Dorgia	SEZ_52	2877,66	-4,92	68,01	0,54	5,47	0,95	0,05	0,59
Vecchia Dorgia	SEZ_53	2900,00	-4,92	68,01	0,50	5,42	0,96	0,05	0,55
Vecchia DorgiaB	SEZ_1A	0,00	0,12	20,00	1,73	1,61	1,55	0,39	1,85
Vecchia DorgiaB	SEZ_2A	19,92	0,09	19,96	1,69	1,60	1,56	0,39	1,81
Vecchia DorgiaB	SEZ_3A	31,52	0,06	19,97	1,65	1,59	1,56	0,39	1,78
Vecchia DorgiaB	SEZ_4A	106,67	0,00	19,86	0,96	0,96	2,58	0,84	1,30

Tabella 6 – Risultati di sintesi per lo scenario TR200, torrente Vecchia Dorgia.

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. I tratti di esondazione per sormonto delle sponde sono i medesimi già descritti.

Anche per questo scenario la tombinatura tra la ferrovia e via Carducci risulta con funzionamento in pressione nel primo tratto di monte, fino all'incirca all'intersezione di via Plana e via Maralunga (SEZ_31), dopodiché si riscontra un graduale incremento del franco e condizioni di sbocco a pelo libero.

Più a valle il ramo destro della tombinatura di attraversamento di viale S.Bartolomeo mostra un funzionamento in pressione (con carico idraulico appena superiore alla quota dell'intradosso), mentre quello principale sinistro presenta un franco idraulico minimo di 0,4 m nel tratto più sfavorevole. La tombinatura terminale mostra franchi dell'ordine di 0,65-0,80 m, condizionati dal livello imposto di mare.

In Figura 16 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

Per il torrente Vecchia Dorgia, procedendo da monte verso valle, si vede come il valore del picco di piena aumenti dal valore di 15,5 m³/s nella sezione iniziale SEZ_1 al valore di 31,1 m³/s poco a monte dell'immissione del ramo della Nuova Dorgia (SEZ_40). Quest'ultimo valore, registrato nella sezione prossima a quella di chiusura del bacino VD_A, risulta di poco inferiore a quello teorico determinato nell'analisi idrologica (pari a 33,9 m³/s). L'aumento di portata lungo l'asta è legato al contributo di portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto generata dal bacino residuo, ed è al netto delle fuoriuscite osservate nei tratti di monte. A monte della linea ferroviaria (SEZ_26) il valore al colmo è pari a 18,9 m³/s.

Il valore di picco a valle della confluenza del torrente Nuova Dorgia risulta pari a circa 68 m³/s; l'entità di tale colmo è condizionata dallo sfasamento temporale (diversi tempi di corrivazione) tra le onde di piena relative alle due aste fluviali.

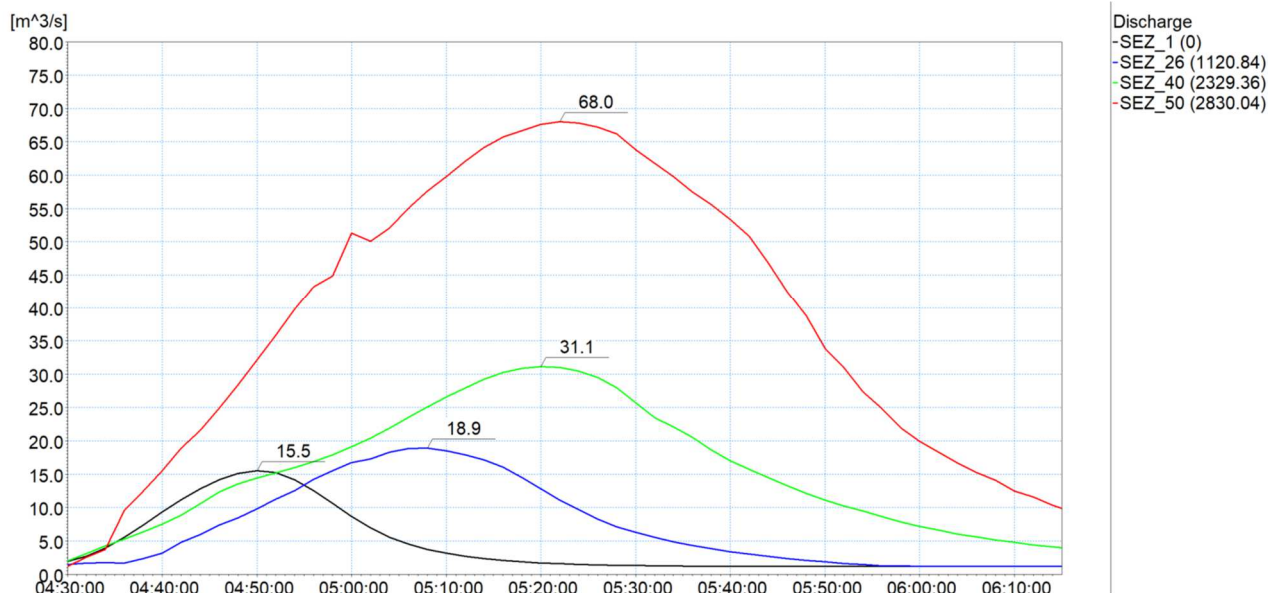


Figura 16 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, torrente Vecchia Dorgia.

5.1.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

Nella Tabella 7 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Vecchia Dorgia (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involuppo dei valori massimi. In Figura 17 e Figura 18 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

I risultati in termini di dinamiche di deflusso in alveo sono analoghi a quelli commentati per gli scenari precedenti, a meno di un incremento delle altezze d'acqua conseguente alle maggiori portate. I tratti di esondazione per sormonto delle sponde sono i medesimi già descritti.

Anche per questo scenario la tombinatura tra la ferrovia e via Carducci risulta con funzionamento in pressione nel primo tratto di monte, fino all'incirca all'intersezione di via Plana e via Maralunga (SEZ_31), dopodiché si riscontra un graduale incremento del franco e condizioni di sbocco a pelo libero.

Più a valle il ramo destro della tombinatura di attraversamento di viale S.Bartolomeo mostra un funzionamento in pressione (con carico idraulico appena superiore alla quota dell'intradosso), mentre quello principale sinistro presenta un franco idraulico minimo di 0,4 m nel tratto più sfavorevole. La tombinatura terminale mostra franchi dell'ordine di 0,65-0,80 m, condizionati dal livello imposto di mare.

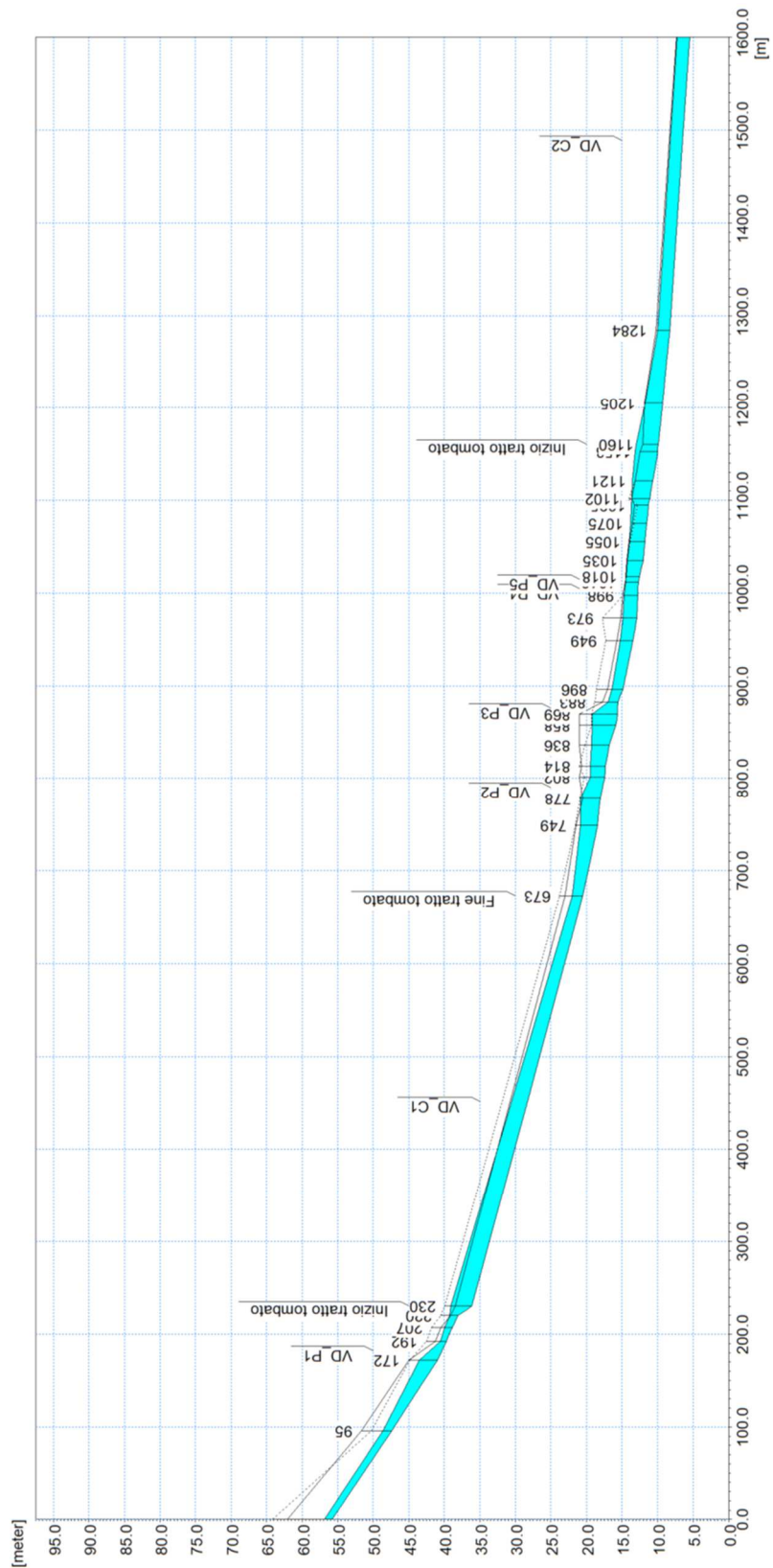


Figura 17 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del torrente Vecchia Dorgia, scenario TR500.

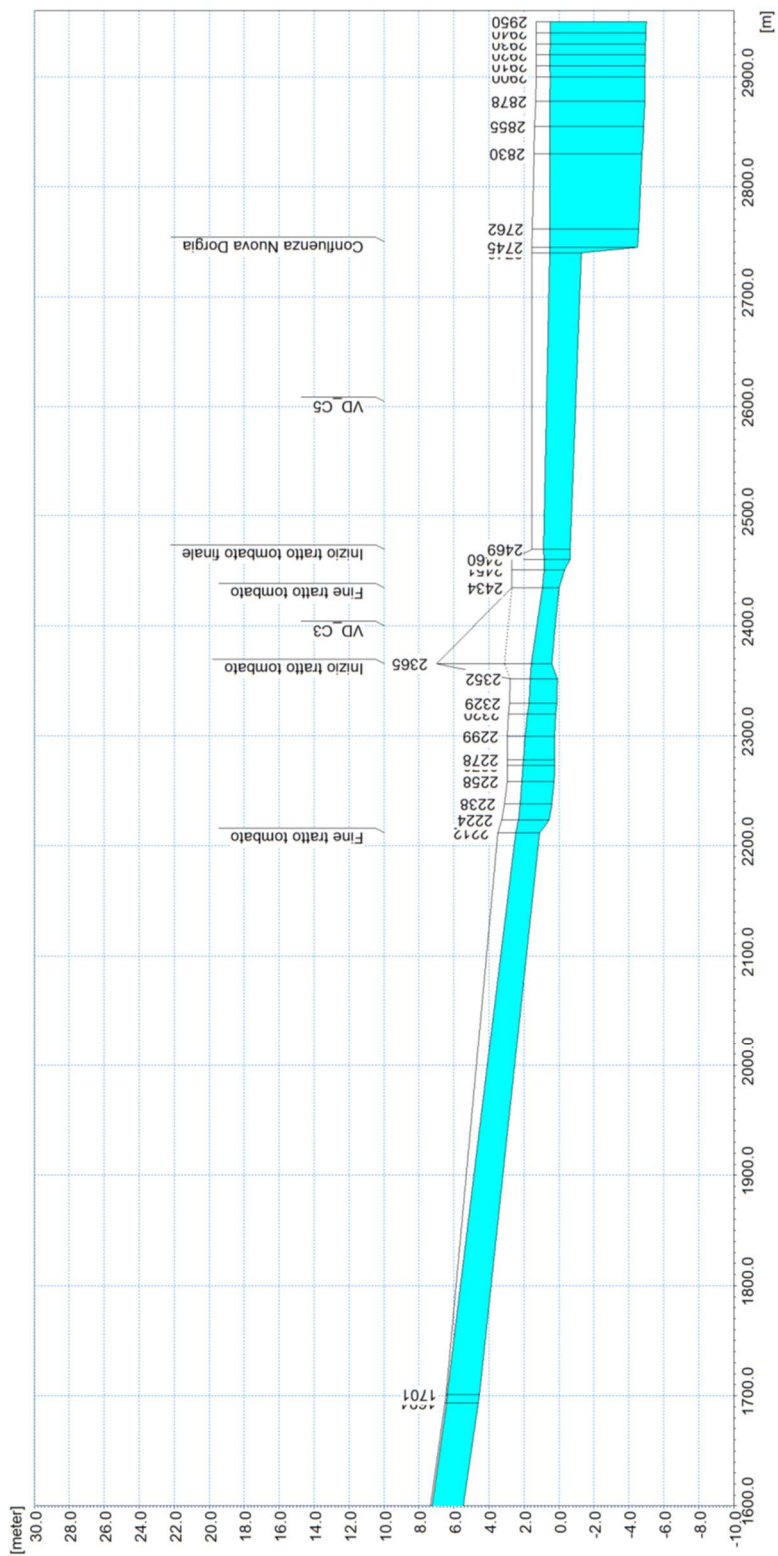


Figura 18 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del torrente Vecchia Dorgia, scenario TR500.

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Vecchia Dorgia	SEZ_1	0,00	55,76	17,19	56,87	1,11	6,14	2,32	58,79
Vecchia Dorgia	SEZ_2	95,46	47,39	17,16	48,64	1,25	5,41	2,11	50,13
Vecchia Dorgia	SEZ_3	172,20	40,98	16,90	43,49	2,51	0,56	0,15	43,51
Vecchia Dorgia	SEZ_4	192,32	39,70	16,88	40,53	0,83	3,64	1,63	41,20
Vecchia Dorgia	SEZ_5	207,21	38,88	16,87	39,97	1,09	4,33	1,99	40,92
Vecchia Dorgia	SEZ_6	220,10	38,06	16,51	39,22	1,16	2,51	1,03	39,54
Vecchia Dorgia	SEZ_7	230,20	36,10	16,84	39,11	3,01	1,38	0,33	39,21
Vecchia Dorgia	SEZ_8	672,58	20,50	15,85	22,00	1,50	3,01	0,97	22,46
Vecchia Dorgia	SEZ_9	748,96	18,45	17,58	20,88	2,43	1,58	0,44	21,01
Vecchia Dorgia	SEZ_10	778,32	18,04	17,85	20,87	2,83	1,13	0,26	20,94
Vecchia Dorgia	SEZ_11	801,55	17,40	17,68	19,48	2,08	1,08	0,25	19,54
Vecchia Dorgia	SEZ_12	813,52	17,34	17,91	19,45	2,11	1,23	0,30	19,53
Vecchia Dorgia	SEZ_13	835,99	16,80	18,21	19,31	2,51	2,34	0,47	19,59
Vecchia Dorgia	SEZ_14	857,61	15,85	18,45	19,24	3,39	1,76	0,30	19,40
Vecchia Dorgia	SEZ_15	869,29	15,62	18,63	19,21	3,59	1,71	0,29	19,36
Vecchia Dorgia	SEZ_16	882,86	15,60	18,85	16,97	1,37	5,03	1,52	18,26
Vecchia Dorgia	SEZ_17	896,00	14,86	19,38	16,41	1,55	3,80	0,98	17,15
Vecchia Dorgia	SEZ_18	948,65	13,49	20,44	15,26	1,77	3,50	0,84	15,88
Vecchia Dorgia	SEZ_19	973,43	12,90	21,04	14,83	1,93	2,12	0,49	15,06
Vecchia Dorgia	SEZ_20	997,52	12,77	22,52	14,73	1,96	2,30	0,52	15,00
Vecchia Dorgia	SEZ_21	1012,12	12,73	22,45	14,47	1,74	3,27	0,79	15,02
Vecchia Dorgia	SEZ_22	1018,15	12,55	22,07	14,45	1,90	2,93	0,68	14,89
Vecchia Dorgia	SEZ_23	1035,45	12,03	21,99	14,29	2,26	3,30	0,72	14,85
Vecchia Dorgia	SEZ_24	1094,61	11,27	21,40	13,68	2,41	2,64	0,58	14,03
Vecchia Dorgia	SEZ_25	1101,98	11,10	21,05	13,64	2,54	2,56	0,57	13,97
Vecchia Dorgia	SEZ_26	1120,84	10,65	20,06	13,52	2,87	3,49	0,66	14,14
Vecchia Dorgia	SEZ_27	1152,61	9,98	13,35	13,17	3,19	2,09	0,37	13,39
Vecchia Dorgia	SEZ_28	1160,27	9,93	17,60	12,98	3,05	2,89	0,53	13,40
Vecchia Dorgia	SEZ_29	1204,77	9,31	16,05	11,80	2,49	3,23	0,65	12,33
Vecchia Dorgia	SEZ_30	1284,39	8,30	19,14	9,98	1,68	3,16	0,78	10,49
Vecchia Dorgia	SEZ_31	1693,58	4,60	21,91	6,42	1,82	3,34	0,79	6,99
Vecchia Dorgia	SEZ_32	2211,65	1,10	28,87	2,47	1,37	4,87	1,34	3,68
Vecchia Dorgia	SEZ_33	2223,69	0,55	29,05	2,30	1,75	3,33	0,80	2,86
Vecchia Dorgia	SEZ_34	2238,43	0,40	29,28	2,22	1,82	3,22	0,76	2,75
Vecchia Dorgia	SEZ_35	2258,39	0,26	29,52	2,12	1,86	3,17	0,74	2,63
Vecchia Dorgia	SEZ_36	2273,17	0,24	29,66	2,05	1,81	3,27	0,78	2,60
Vecchia Dorgia	SEZ_37	2278,17	0,24	29,83	2,03	1,79	3,40	0,81	2,62
Vecchia Dorgia	SEZ_38	2299,31	0,23	30,11	1,92	1,69	3,57	0,88	2,57
Vecchia Dorgia	SEZ_39	2319,79	0,19	30,31	1,79	1,60	3,80	0,96	2,53
Vecchia Dorgia	SEZ_40	2329,36	0,12	30,50	1,72	1,60	3,41	0,86	2,31

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Vecchia Dorgia	SEZ_41	2351,65	0,09	11,26	1,63	1,54	2,00	0,51	1,83
Vecchia Dorgia	SEZ_42	2365,34	0,40	11,80	1,57	1,17	2,36	0,70	1,85
Vecchia Dorgia	SEZ_43	2434,45	0,00	12,33	0,95	0,95	1,26	0,41	1,03
Vecchia Dorgia	SEZ_44	2450,69	-0,34	32,07	0,83	1,17	2,65	0,78	1,19
Vecchia Dorgia	SEZ_45	2460,11	-0,64	32,17	0,83	1,47	2,12	0,56	1,06
Vecchia Dorgia	SEZ_46	2469,45	-0,64	32,15	0,89	1,53	1,48	0,38	1,00
Vecchia Dorgia	SEZ_47	2740,02	-1,30	37,12	0,52	1,82	1,43	0,34	0,62
Vecchia Dorgia	SEZ_48	2744,69	-4,50	37,25	0,51	5,01	0,57	0,04	0,53
Vecchia Dorgia	SEZ_49	2761,64	-4,55	37,46	0,52	5,07	0,57	0,03	0,54
Vecchia Dorgia	SEZ_50	2830,04	-4,78	69,90	0,51	5,29	1,01	0,06	0,56
Vecchia Dorgia	SEZ_51	2854,66	-4,86	69,98	0,52	5,37	1,00	0,05	0,57
Vecchia Dorgia	SEZ_52	2877,66	-4,92	70,47	0,51	5,44	0,99	0,05	0,56
Vecchia Dorgia	SEZ_53	2900,00	-4,92	70,74	0,50	5,42	1,00	0,05	0,55
Vecchia DorgiaB	SEZ_1A	0,00	0,12	19,55	1,72	1,60	1,53	0,39	1,84
Vecchia DorgiaB	SEZ_2A	19,92	0,09	19,50	1,67	1,58	1,54	0,39	1,79
Vecchia DorgiaB	SEZ_3A	31,52	0,06	19,51	1,66	1,60	1,54	0,39	1,77
Vecchia DorgiaB	SEZ_4A	106,67	0,00	19,47	0,95	0,95	2,57	0,84	1,29

Tabella 7 – Risultati di sintesi della simulazione TR500.

In Figura 19 sono rappresentati gli idrogrammi di portata di alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

Anche per questo scenario si osserva come il valore del picco di piena aumenti dal valore di 17,2 m³/s nella sezione iniziale SEZ_1 al valore di 30,5 m³/s poco a monte dell'immissione del ramo della Nuova Dorgia (SEZ_40). Quest'ultimo valore, registrato nella sezione prossima a quella di chiusura del bacino VD_A, risulta inferiore a quello teorico determinato nell'analisi idrologica (pari a 37,8 m³/s). L'aumento di portata lungo l'asta è legato al contributo di portata distribuita uniformemente lungo l'intero tratto generata dal bacino residuo, ed è al netto delle fuoriuscite osservate nei tratti di monte.

Si osserva come il colmo di piena in SEZ_40 sia sostanzialmente equivalente a quello registrato per TR=200 anni, a causa della maggiore entità di esondazioni e fenomeni di innalzamento dei livelli nel tratto di monte, che limitano la portata in alveo e provocano un ritardo maggiore dell'onda con maggiore sfasamento dei colmi. I risultati idrodinamici per il tratto d'alveo terminale pertanto risultano del tutto analoghi tra i due scenari TR200 e TR500.

A monte della linea ferroviaria (SEZ_26) il valore al colmo è pari a 20,1 m³/s. Il valore di picco a valle della confluenza del torrente Nuova Dorgia risulta pari a circa 69,9 m³/s; l'entità di tale colmo è condizionata dallo sfasamento temporale (diversi tempi di corrvazione) tra le onde di piena relative alle due aste fluviali.

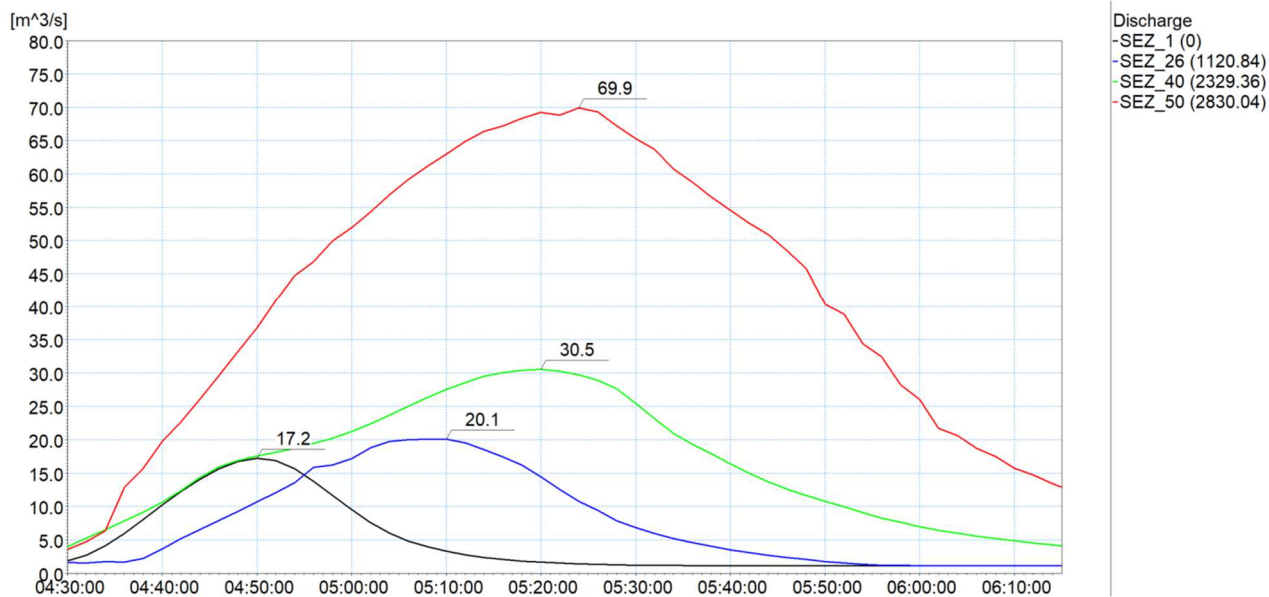


Figura 19 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, torrente Vecchia Dorgia.

5.2 Risultati delle simulazioni MIKE 11: torrente Nuova Dorgia

5.2.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

Nella Tabella 8 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Nuova Dorgia (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come involuppo dei valori massimi. In Figura 20, Figura 21 e Figura 22 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_1	0,00	40,92	38,72	42,82	1,90	4,32	1,22	43,77
Nuova Dorgia	SEZ_2	19,10	40,07	38,72	42,46	2,39	3,01	0,80	42,92
Nuova Dorgia	SEZ_3	38,80	39,83	38,73	42,36	2,53	2,46	0,61	42,67
Nuova Dorgia	SEZ_4	47,00	39,83	38,73	42,32	2,49	2,48	0,56	42,63
Nuova Dorgia	SEZ_5	57,80	39,83	38,74	42,21	2,38	3,03	0,66	42,68
Nuova Dorgia	SEZ_6	61,80	39,33	38,74	41,84	2,51	2,97	0,64	42,29
Nuova Dorgia	SEZ_7	78,40	39,13	38,74	41,76	2,63	2,62	0,53	42,11
Nuova Dorgia	SEZ_8	88,85	39,02	38,74	41,72	2,70	2,54	0,51	42,05
Nuova Dorgia	SEZ_9	90,95	39,02	38,74	41,72	2,70	2,55	0,51	42,05
Nuova Dorgia	SEZ_10	99,30	38,91	38,74	41,71	2,80	2,45	0,48	42,02
Nuova Dorgia	SEZ_11	119,20	38,60	37,26	41,73	3,13	2,08	0,43	41,95
Nuova Dorgia	SEZ_12	128,20	38,50	36,58	40,05	1,55	4,96	1,36	41,31
Nuova Dorgia	SEZ_13	143,90	37,50	36,59	39,58	2,08	3,18	0,73	40,10

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_14	164,90	37,28	36,59	39,46	2,18	3,03	0,68	39,93
Nuova Dorgia	SEZ_15	168,90	36,28	36,64	38,26	1,98	3,71	0,84	38,96
Nuova Dorgia	SEZ_16	187,50	36,21	37,97	38,00	1,79	3,89	0,97	38,77
Nuova Dorgia	SEZ_17	196,70	36,09	38,71	37,88	1,79	3,98	1,00	38,69
Nuova Dorgia	SEZ_18	198,70	36,07	38,76	37,86	1,79	3,99	1,00	38,67
Nuova Dorgia	SEZ_19	209,90	35,93	38,76	37,70	1,77	4,02	1,01	38,52
Nuova Dorgia	SEZ_20	231,10	35,55	38,76	37,41	1,86	3,59	1,01	38,07
Nuova Dorgia	SEZ_21	294,20	34,45	38,76	36,69	2,24	4,66	1,48	37,80
Nuova Dorgia	SEZ_22	362,70	32,49	38,75	34,40	1,91	3,88	1,26	35,17
Nuova Dorgia	SEZ_23	397,20	31,94	38,74	33,70	1,76	3,20	0,78	34,22
Nuova Dorgia	SEZ_24	480,30	30,66	38,73	33,63	2,97	1,87	0,35	33,81
Nuova Dorgia	SEZ_25	504,70	30,94	34,56	33,62	2,68	1,85	0,35	33,80
Nuova Dorgia	SEZ_26	513,90	30,22	33,00	32,77	2,00	2,31	0,50	33,04
Nuova Dorgia	SEZ_27	521,80	30,49	33,02	32,76	2,17	2,24	0,47	33,02
Nuova Dorgia	SEZ_28	535,30	30,14	33,08	31,59	1,15	4,00	1,12	32,41
Nuova Dorgia	SEZ_29	557,60	29,55	34,56	31,14	1,59	3,95	1,14	31,94
Nuova Dorgia	SEZ_30	590,90	28,86	37,39	30,55	1,69	3,71	1,04	31,25
Nuova Dorgia	SEZ_31	625,10	28,26	38,03	30,09	1,83	4,89	1,38	31,31
Nuova Dorgia	SEZ_32	662,80	27,91	38,04	29,17	1,26	5,14	1,69	30,52
Nuova Dorgia	SEZ_33	690,60	26,41	38,18	28,09	1,68	1,95	0,53	28,28
Nuova Dorgia	SEZ_34	721,40	26,10	41,31	28,04	1,94	1,78	0,45	28,20
Nuova Dorgia	SEZ_35	730,80	25,88	40,69	28,05	2,17	1,54	0,36	28,17
Nuova Dorgia	SEZ_36	758,30	25,72	38,32	28,02	2,30	1,35	0,31	28,11
Nuova Dorgia	SEZ_37	770,90	25,60	38,32	27,94	2,34	1,84	0,38	28,11
Nuova Dorgia	SEZ_38	792,70	22,72	38,38	24,41	1,69	1,48	0,38	24,52
Nuova Dorgia	SEZ_39	862,13	21,80	49,69	24,14	2,34	3,22	0,84	24,67
Nuova Dorgia	SEZ_40	919,90	20,88	52,67	23,59	2,71	3,55	0,90	24,23
Nuova Dorgia	SEZ_41	1085,60	19,06	64,96	22,03	2,97	2,16	0,47	22,27
Nuova Dorgia	SEZ_42	1106,40	19,08	58,51	22,17	3,09	1,76	0,36	22,33
Nuova Dorgia	SEZ_43	1118,69	18,72	74,24	21,87	3,15	3,72	0,68	22,57
Nuova Dorgia	SEZ_44	1378,80	15,77	48,22	17,55	1,78	2,95	0,87	17,99
Nuova Dorgia	SEZ_45	1388,80	15,77	48,27	17,46	1,69	3,18	0,96	17,98
Nuova Dorgia	SEZ_46	1400,00	15,49	48,20	17,34	1,85	3,80	1,21	18,08
Nuova Dorgia	SEZ_47	1410,00	15,35	48,47	17,17	1,82	3,14	0,90	17,67
Nuova Dorgia	SEZ_48	1413,00	15,35	48,44	17,14	1,79	3,22	0,93	17,67
Nuova Dorgia	SEZ_49	1418,30	15,30	48,20	17,10	1,80	2,90	0,74	17,53
Nuova Dorgia	SEZ_50	1438,30	15,30	48,05	16,94	1,64	3,22	0,87	17,47
Nuova Dorgia	SEZ_51	1446,90	14,91	48,51	16,83	1,92	3,38	1,15	17,41
Nuova Dorgia	SEZ_52	1485,90	14,37	46,91	16,28	1,91	3,83	1,12	17,03
Nuova Dorgia	SEZ_53	1518,40	14,11	42,77	15,92	1,81	2,70	0,81	16,29

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_54	1551,50	14,05	48,25	15,84	1,79	1,62	0,42	15,97
Nuova Dorgia	SEZ_55	1566,50	14,05	48,30	15,41	1,36	2,27	0,69	15,67
Nuova Dorgia	SEZ_56	1570,60	14,05	48,31	15,39	1,34	2,25	0,68	15,65
Nuova Dorgia	SEZ_57	1572,60	11,73	48,36	13,72	1,99	2,84	0,87	14,13
Nuova Dorgia	SEZ_57a	1595,00	11,50	48,36	13,63	2,13	2,56	0,73	13,96
Nuova Dorgia	SEZ_57b	1600,00	11,45	48,43	13,61	2,15	2,52	0,71	13,93
Nuova Dorgia	SEZ_58	1699,20	10,45	48,80	13,36	2,91	2,03	0,45	13,57
Nuova Dorgia	SEZ_59	1717,00	10,35	48,72	13,23	2,88	2,66	0,58	13,59
Nuova Dorgia	SEZ_60	1723,60	10,35	48,79	12,41	2,06	4,29	1,19	13,35
Nuova Dorgia	SEZ_61	1757,50	9,85	49,26	11,80	1,95	3,17	0,79	12,31
Nuova Dorgia	SEZ_62	1908,90	8,34	50,07	10,59	2,25	3,71	0,79	11,29
Nuova Dorgia	SEZ_63	2059,20	6,00	50,50	8,93	2,93	2,87	0,53	9,35
Nuova Dorgia	SEZ_64	2067,20	6,00	50,81	8,72	2,72	3,12	0,60	9,22
Nuova Dorgia	SEZ_65	2172,10	5,20	51,36	8,01	2,81	3,73	0,71	8,72
Nuova Dorgia	SEZ_66	2271,70	4,20	51,71	6,93	2,73	3,86	0,75	7,69
Nuova Dorgia	SEZ_67	2296,50	3,98	51,86	6,64	2,66	3,36	0,66	7,22
Nuova Dorgia	SEZ_68	2324,40	3,76	52,02	5,79	2,03	3,25	0,73	6,33
Nuova Dorgia	SEZ_69	2353,80	3,45	52,25	5,57	2,12	3,08	0,68	6,05
Nuova Dorgia	SEZ_70	2402,70	3,10	52,46	5,24	2,14	3,07	0,67	5,72
Nuova Dorgia	SEZ_71	2445,60	2,71	52,74	4,97	2,26	2,92	0,62	5,40
Nuova Dorgia	SEZ_73	2479,50	2,65	53,01	4,74	2,10	3,16	0,70	5,25
Nuova Dorgia	SEZ_74	2519,30	2,57	53,01	4,45	1,88	3,52	0,82	5,08
Nuova Dorgia	SEZ_75	2541,50	2,51	53,25	4,23	1,72	3,32	0,81	4,79
Nuova Dorgia	SEZ_76	2571,40	2,32	22,20	4,14	1,82	3,05	0,72	4,62
Nuova Dorgia	SEZ_77	2599,40	2,14	22,90	4,12	1,98	2,90	0,66	4,55
Nuova Dorgia	SEZ_78	2652,40	1,78	20,81	3,71	1,93	2,70	0,62	4,08
Nuova Dorgia	SEZ_79	2659,30	1,73	20,89	3,41	1,68	3,11	0,77	3,90
Nuova Dorgia	SEZ_80	2680,60	1,59	21,00	3,15	1,56	3,37	0,86	3,73
Nuova Dorgia	SEZ_81	2692,10	1,46	21,09	2,98	1,52	1,17	0,30	3,05
Nuova Dorgia	SEZ_82	2743,40	1,04	54,49	2,58	1,54	2,96	0,76	3,03
Nuova Dorgia	SEZ_83	2791,20	0,67	54,79	2,23	1,56	2,95	0,75	2,67
Nuova Dorgia	SEZ_84	2845,50	0,23	55,01	1,85	1,62	2,85	0,71	2,26
Nuova Dorgia	SEZ_85	2872,40	0,08	55,07	1,73	1,65	2,80	0,69	2,13
Nuova Dorgia	SEZ_86	2874,80	0,05	55,07	1,79	1,74	2,11	0,51	2,02
Nuova Dorgia	SEZ_87	3027,60	-0,93	55,06	1,15	2,08	1,76	0,39	1,31
Nuova Dorgia	SEZ_88	3031,60	-0,93	31,01	1,15	2,08	0,99	0,22	1,20
Nuova Dorgia	SEZ_89	3174,49	-1,50	36,71	0,57	2,07	2,22	0,49	0,82
Nuova Dorgia	SEZ_90	3178,49	-4,55	34,20	0,52	5,07	0,83	0,05	0,56
Nuova Dorgia	SEZ_91	3182,49	-4,55	31,52	0,51	5,06	0,77	0,05	0,54
Nuova DorgiaB	SEZ_75bis	0,00	2,51	33,11	4,23	1,72	3,02	0,73	4,69

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova DorgiaB	SEZ_76bis	28,50	2,32	33,14	3,97	1,65	3,14	0,78	4,47
Nuova DorgiaB	SEZ_79bis	146,30	1,46	33,01	2,98	1,52	3,41	0,88	3,57
Nuova DorgiaC	SEZ_B1	0,00	-0,93	24,04	1,15	2,08	1,92	0,43	1,34
Nuova DorgiaC	SEZ_B2	141,51	-5,00	24,04	0,50	5,50	0,72	0,03	0,53
Buonviaggio	SEZB_1	0,00	63,00	27,28	64,53	1,53	6,69	1,83	66,81
Buonviaggio	SEZB_2	22,35	62,14	27,28	63,44	1,30	9,41	3,05	67,95
Buonviaggio	SEZB_3	39,87	58,80	27,28	59,99	1,19	10,61	3,66	65,73
Buonviaggio	SEZB_4	56,59	54,09	27,29	55,18	1,09	7,62	2,77	58,14
Buonviaggio	SEZB_5	75,33	52,12	27,29	53,07	0,95	8,27	3,33	56,56
Buonviaggio	SEZB_6	85,26	49,99	27,28	51,50	1,51	4,95	1,74	52,75
Buonviaggio	SEZB_7	98,90	48,70	27,16	50,95	2,25	1,51	0,42	51,07
Buonviaggio	SEZB_8	123,72	47,38	26,77	50,96	3,58	1,17	0,25	51,03
Buonviaggio	SEZB_9	148,95	45,53	26,04	50,99	5,46	0,67	0,12	51,01
Buonviaggio	SEZB_10	166,28	44,09	25,72	46,53	2,44	2,42	0,56	46,83
Buonviaggio	SEZB_11	176,95	43,20	25,85	44,68	1,48	4,90	1,47	45,90
Buonviaggio	SEZB_12	224,61	41,98	26,25	43,02	1,04	4,22	1,86	43,93
Buonviaggio	SEZB_13	293,75	38,03	26,45	39,46	1,43	4,77	1,48	40,62
Buonviaggio	SEZB_14	344,99	36,49	28,53	37,86	1,37	3,16	1,15	38,37
Buonviaggio	SEZB_15	425,58	34,65	28,47	36,58	1,93	3,24	0,99	37,11
Buonviaggio	SEZB_16	484,42	33,82	28,45	35,86	2,04	1,95	0,58	36,05
Buonviaggio	SEZB_17	544,71	32,51	28,45	35,59	3,08	2,40	0,44	35,88
Buonviaggio	SEZB_18	564,45	32,41	28,45	35,49	3,08	2,40	0,44	35,78
Buonviaggio	SEZB_19	586,71	32,31	28,45	34,01	1,70	5,49	1,35	35,55
Buonviaggio	SEZB_20	617,58	31,31	27,73	32,70	1,39	6,73	2,08	35,01
Buonviaggio	SEZB_21	657,18	28,66	26,17	31,02	2,36	3,34	0,75	31,59
Buonviaggio	SEZB_23	701,76	28,80	25,04	30,74	1,94	2,85	0,72	31,15
Buonviaggio	SEZB_24	705,29	28,78	24,90	30,17	1,39	4,30	1,33	31,11
Buonviaggio	SEZB_26	739,78	27,47	27,88	29,13	1,66	3,24	0,80	29,66
Buonviaggio	SEZB_27	749,68	27,22	28,39	29,01	1,79	3,06	0,73	29,49
Buonviaggio	SEZB_28	751,68	24,62	28,39	28,79	4,17	1,31	0,20	28,88
Buonviaggio	SEZB_29	772,05	24,10	27,02	28,81	4,71	1,11	0,17	28,87
Buonviaggio	SEZB_30	812,05	23,83	24,18	27,57	3,74	3,33	0,92	28,14
Buonviaggio	SEZB_31	814,05	23,13	24,13	27,55	4,42	3,42	0,69	28,15
Buonviaggio	SEZB_32	825,05	23,05	24,36	27,60	4,55	1,79	0,27	27,76
Buonviaggio	SEZB_33	827,05	23,03	22,48	27,65	4,62	1,62	0,24	27,78
Buonviaggio	SEZB_34	834,55	22,72	15,08	24,41	1,69	2,81	0,79	24,81

Tabella 8 – Risultati di sintesi della simulazione TR50, torrente Nuova Dorgia.

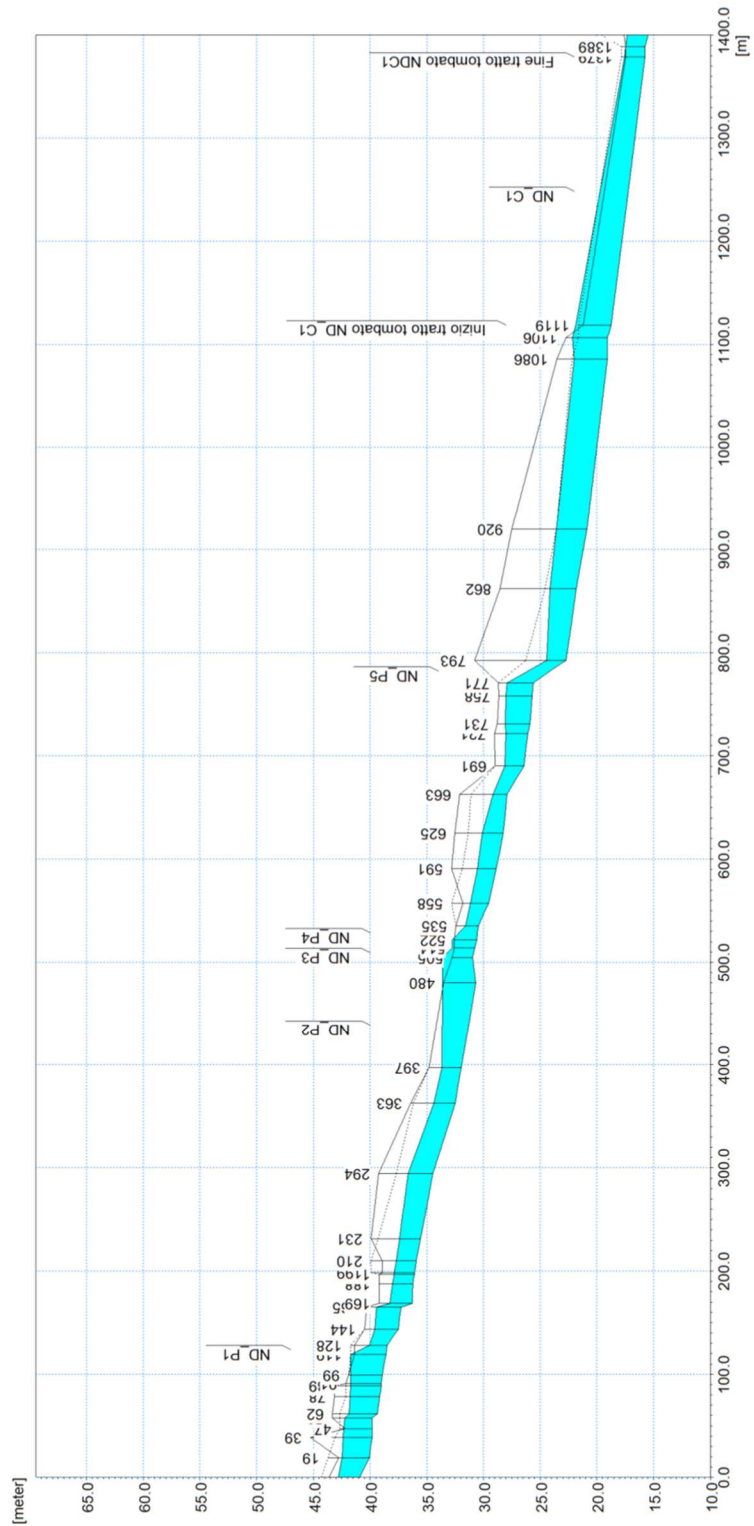


Figura 20 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del torrente Nuova Dorgia, scenario TR50.

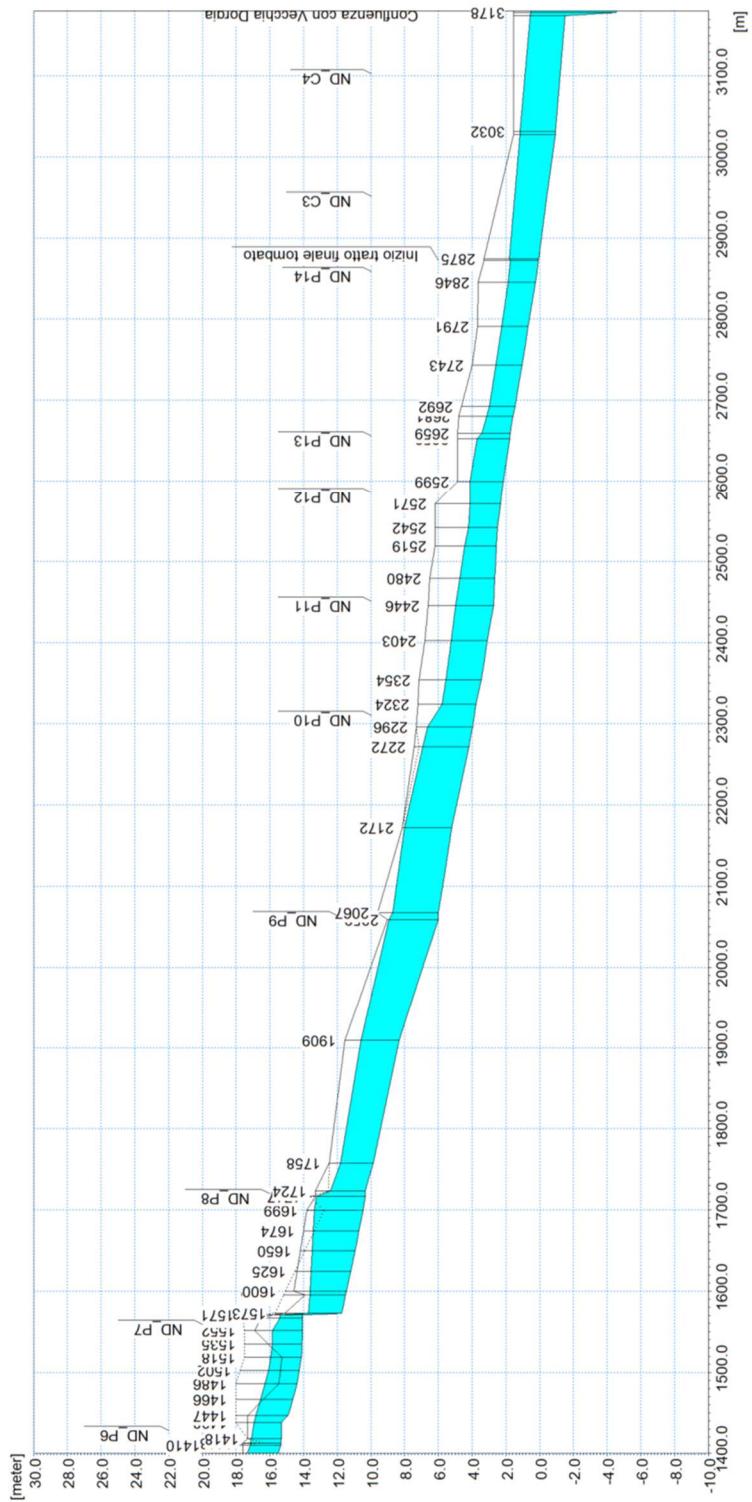


Figura 21 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del torrente Nuova Dorgia, scenario TR50.

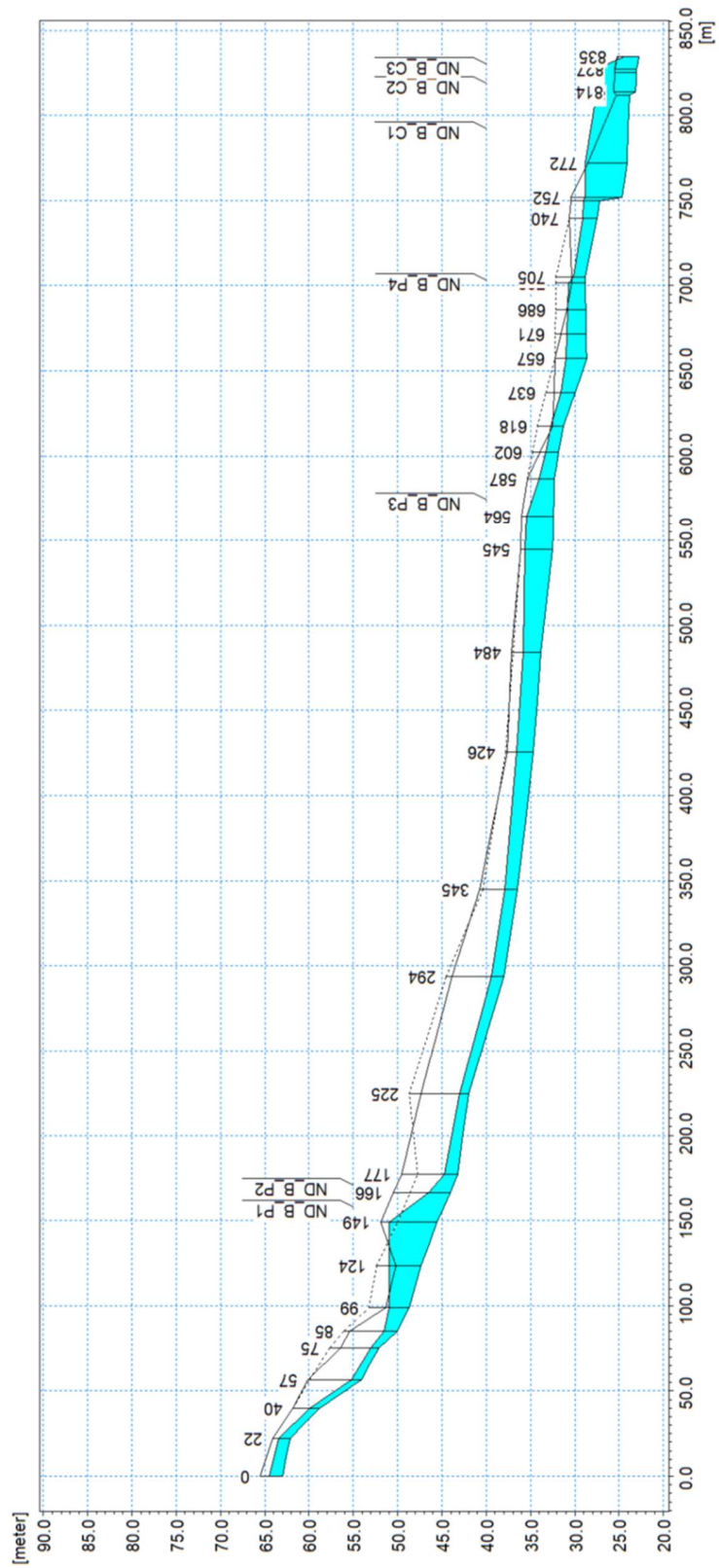


Figura 22 – Profilo longitudinale di corrente del Fosso Buonviaggio, scenario TR50.

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

Torrente Nuova Dorgia.

- L'innalzamento dei livelli idrici a monte del ponticello ND_P1, che funziona in pressione, supera le sommità spondali. L'attraversamento si trova nel tratto di monte del torrente che è stato oggetto di sistemazione fluviale nell'ambito del cantiere per la realizzazione della variante alla S.S.1 Aurelia. Il completamento di tale sistemazione prevede anche la demolizione di questo ponticello.
- L'innalzamento dei livelli idrici a monte degli attraversamenti ND_P3 e ND_P4, il primo funzionante in pressione e il secondo con franco minimo, supera le sommità spondali e raggiunge la quota della S.S.1 Aurelia. L'effetto di rigurgito è significativamente condizionato dalle condizioni di interrimento riscontrate in corrispondenza dell'allargamento di sezione nel tratto interno alla rotonda della S.S.1, che produce un effetto affine a una vasca di sedimentazione.
- Il tratto tombato ND_C1, in corrispondenza dell'area all'incrocio tra la via Aurelia e via Dorgia originariamente interessata dalla presenza di un distributore di carburanti, manifesta condizioni di deflusso in pressione al transito del colmo di piena e induce un profilo di rigurgito che supera le sommità spondali.
- Il livello idrico massimo in alveo supera la sponda destra dell'alveo inciso nel tratto a cielo aperto compreso tra l'attraversamento della linea ferroviaria (ND_P6) e il ponte della via Aurelia (ND_P7). In tale area, a tutti gli effetti golenale, è presente una zona a minor quota rispetto al piano più arretrato su cui si sviluppa il tessuto urbano, in cui si ha un'area di giardino e un accesso al fabbricato residenziale prospiciente a quota inferiore ai livelli di piena.
- L'innalzamento dei livelli idrici a monte dell'attraversamento di Via Felice del Santo (ND_P8) supera la sommità della sponda sinistra, generando limitate esondazioni.
- Nel tratto più a valle, fino alla confluenza nel ramo sistemato della Vecchia Dorgia, non si riscontrano evidenti criticità, se non localmente la presenza di un franco ridotto a monte del ponte di via Bragarina (ND_P9) e nel tratto più a valle parallelo a via Palmaria.

Fosso Buonviaggio.

- Nel tratto di monte si evidenzia la presenza di una tombinatura (ND_B_P1) che attraversa un fabbricato a uso residenziale, manifestando un deflusso in pressione al transito del colmo di piena. L'effetto di rigurgito prodotto a monte comporta il superamento delle sommità spondali dell'alveo inciso, ma la portata rimane comunque contenuta nell'area depressa in cui si sviluppa l'alveo, approfondita di diversi metri rispetto al piano viabile soprastante.
- Il livello idrico massimo in alveo supera le sommità spondali nel tratto a cielo aperto compreso tra la sezione SEZB_20 e la sezione SEZB_23, adiacente a via Favaro, che si trova a monte dell'attraversamento ND_B_P4.
- Un elemento di particolare criticità è rappresentato dalla tombinatura terminale del Fosso Buonviaggio a confluenza in Dorgia (ND_B_C1, ND_B_C2, ND_B_C3), la quale presenta un imbocco a sezione relativamente ampia ma uno sbocco costituito da tre tubazioni sovrapposte di diametro 1,0 m, con rilevante riduzione della capacità di smaltimento di portata. Il funzionamento in pressione di questo manufatto comporta un rilevante innalzamento dei livelli idrici a monte con fenomeni di esondazione laterale.

In Figura 23 e Figura 24 sono rappresentati gli idrogrammi di portata in alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

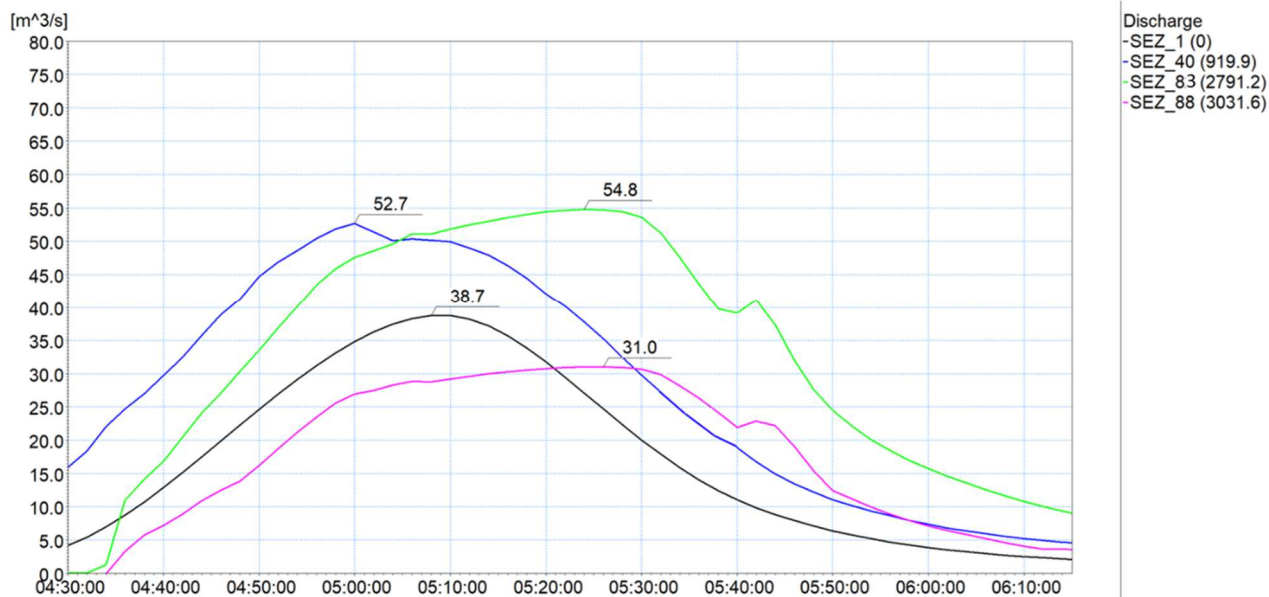


Figura 23 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni su alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, torrente Nuova Dorgia.

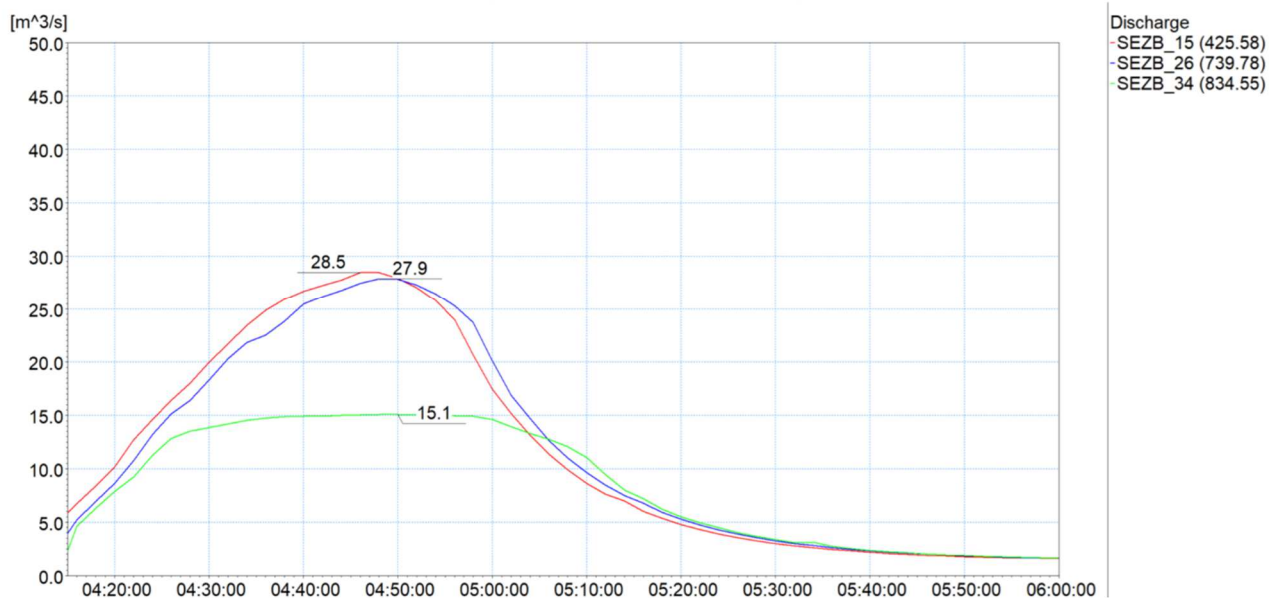


Figura 24 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 50 anni su alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Fosso Buonviaggio.

In particolare la Figura 23 mostra come il colmo di piena cresca, al netto delle esondazioni, da circa 38,7 m³/s nella sezione di ingresso di monte (SEZ_1) a circa 54,8 m³/s (SEZ_83) nel tratto di valle, a monte dell'imbocco della tombinatura terminale sotto viale S. Bartolomeo. Tale valore risulta di poco superiore a quello teorico di 52,6 m³/s determinato dall'analisi idrologica per la sezione di chiusura del bacino (ND_A). A valle della biforcazione dell'alveo al di sotto del Molo Fornelli, la portata massima che confluisce nella Vecchia Dorgia (SEZ_88) risulta pari a 31 m³/s.

La SEZ_40 è ubicata a valle della confluenza con il Fosso Buonviaggio, e mostra come i contributi netti di valle non siano particolarmente rilevanti per l'incremento del colmo di piena.

In Figura 24 si nota come il valore di portata al colmo, durante la propagazione dell'idrogramma di piena lungo l'asta del Fosso Buonviaggio, diminuisca da 28,5 m³/s nella sezione a valle dell'immissione del Fosso Pellizzaro (SEZB_15) a 27,9 m³/s a monte della tombinatura terminale (SEZB_26). La capacità massima di deflusso di quest'ultima (ND_B_C1, ND_B_C2, ND_B_C3) risulta pari a circa 15 m³/s, generando rilevanti volumi di esondazione.

5.2.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

Nella Tabella 9 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Nuova Dorgia (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come involucro dei valori massimi. In Figura 25, Figura 26 e Figura 27 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

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.

Non si rilevano ulteriori punti di esondazione, ma si evidenzia come i tratti che mostravano franco ridotto per l'evento TR50 risultino per TR200 con franco pressoché nullo: a monte del ponte di via Bragarina (ND_P9) e nel tratto più a valle parallelo a via Palmaria. Si segnala inoltre l'incipiente funzionamento in pressione della tombinatura al di sotto dell'area portuale (ND_C3, ND_C4).

In Figura 28 e Figura 29 sono rappresentati gli idrogrammi di portata in alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_1	0,00	40,92	47,17	43,06	2,14	4,39	1,18	44,04
Nuova Dorgia	SEZ_2	19,10	40,07	47,17	42,73	2,66	3,05	0,78	43,20
Nuova Dorgia	SEZ_3	38,80	39,83	47,18	42,65	2,82	2,54	0,59	42,98
Nuova Dorgia	SEZ_4	47,00	39,83	47,18	42,60	2,77	2,65	0,56	42,96
Nuova Dorgia	SEZ_5	57,80	39,83	47,18	42,49	2,66	3,27	0,67	43,03
Nuova Dorgia	SEZ_6	61,80	39,33	47,18	42,05	2,72	3,30	0,68	42,61
Nuova Dorgia	SEZ_7	78,40	39,13	47,18	41,95	2,82	2,96	0,58	42,40
Nuova Dorgia	SEZ_8	88,85	39,02	47,18	41,90	2,88	2,90	0,56	42,33
Nuova Dorgia	SEZ_9	90,95	39,02	47,18	41,89	2,87	2,91	0,56	42,32
Nuova Dorgia	SEZ_10	99,30	38,91	47,18	41,88	2,97	2,81	0,54	42,28
Nuova Dorgia	SEZ_11	119,20	38,60	42,93	41,95	3,35	2,19	0,43	42,20
Nuova Dorgia	SEZ_12	128,20	38,50	41,01	40,22	1,72	4,95	1,30	41,47
Nuova Dorgia	SEZ_13	143,90	37,50	41,75	39,80	2,30	3,27	0,71	40,34
Nuova Dorgia	SEZ_14	164,90	37,28	42,73	39,66	2,38	3,22	0,69	40,19
Nuova Dorgia	SEZ_15	168,90	36,28	42,94	38,46	2,18	3,88	0,91	39,23

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_16	187,50	36,21	45,60	38,19	1,98	4,19	0,99	39,09
Nuova Dorgia	SEZ_17	196,70	36,09	46,85	38,07	1,97	4,33	1,03	39,02
Nuova Dorgia	SEZ_18	198,70	36,07	46,93	38,04	1,97	4,34	1,03	39,00
Nuova Dorgia	SEZ_19	209,90	35,93	46,94	37,88	1,95	4,38	1,05	38,86
Nuova Dorgia	SEZ_20	231,10	35,55	46,92	37,58	2,03	3,83	1,03	38,33
Nuova Dorgia	SEZ_21	294,20	34,45	46,94	36,79	2,34	5,11	1,58	38,12
Nuova Dorgia	SEZ_22	362,70	32,49	46,98	34,55	2,06	3,97	1,21	35,36
Nuova Dorgia	SEZ_23	397,20	31,94	47,01	33,91	1,97	3,41	0,78	34,50
Nuova Dorgia	SEZ_24	480,30	30,66	47,02	33,77	3,11	2,16	0,39	34,01
Nuova Dorgia	SEZ_25	504,70	30,94	40,03	33,79	2,85	2,02	0,37	34,00
Nuova Dorgia	SEZ_26	513,90	30,22	37,41	32,90	2,13	2,47	0,52	33,21
Nuova Dorgia	SEZ_27	521,80	30,49	37,19	32,90	2,31	2,39	0,49	33,19
Nuova Dorgia	SEZ_28	535,30	30,14	36,81	31,71	1,27	4,08	1,09	32,56
Nuova Dorgia	SEZ_29	557,60	29,55	39,66	31,29	1,74	4,04	1,10	32,12
Nuova Dorgia	SEZ_30	590,90	28,86	44,76	30,71	1,85	3,95	1,05	31,51
Nuova Dorgia	SEZ_31	625,10	28,26	45,61	30,26	2,00	5,21	1,39	31,64
Nuova Dorgia	SEZ_32	662,80	27,91	45,76	29,33	1,42	5,29	1,60	30,76
Nuova Dorgia	SEZ_33	690,60	26,41	45,93	28,35	1,94	1,98	0,49	28,55
Nuova Dorgia	SEZ_34	721,40	26,10	46,09	28,31	2,21	1,71	0,40	28,46
Nuova Dorgia	SEZ_35	730,80	25,88	46,09	28,32	2,44	1,52	0,33	28,44
Nuova Dorgia	SEZ_36	758,30	25,72	46,09	28,29	2,57	1,43	0,30	28,39
Nuova Dorgia	SEZ_37	770,90	25,60	46,09	28,20	2,60	1,99	0,39	28,40
Nuova Dorgia	SEZ_38	792,70	22,72	46,09	24,65	1,93	1,54	0,37	24,77
Nuova Dorgia	SEZ_39	862,13	21,80	59,81	24,38	2,58	3,34	0,83	24,95
Nuova Dorgia	SEZ_40	919,90	20,88	63,72	23,85	2,97	3,68	0,87	24,54
Nuova Dorgia	SEZ_41	1085,60	19,06	65,16	22,38	3,32	1,85	0,39	22,55
Nuova Dorgia	SEZ_42	1106,40	19,08	62,43	22,38	3,30	1,73	0,34	22,53
Nuova Dorgia	SEZ_43	1118,69	18,72	61,04	22,22	3,50	2,74	0,47	22,60
Nuova Dorgia	SEZ_44	1378,80	15,77	51,35	17,58	1,81	3,05	0,88	18,05
Nuova Dorgia	SEZ_45	1388,80	15,77	51,35	17,50	1,73	3,28	0,98	18,05
Nuova Dorgia	SEZ_46	1400,00	15,49	51,08	17,38	1,89	3,87	1,22	18,14
Nuova Dorgia	SEZ_47	1410,00	15,35	51,53	17,20	1,85	3,24	0,92	17,74
Nuova Dorgia	SEZ_48	1413,00	15,35	51,64	17,18	1,83	3,30	0,94	17,74
Nuova Dorgia	SEZ_49	1418,30	15,30	53,05	17,13	1,83	3,12	0,79	17,63
Nuova Dorgia	SEZ_50	1438,30	15,30	54,62	17,00	1,70	3,52	0,93	17,63
Nuova Dorgia	SEZ_51	1446,90	14,91	52,46	16,90	1,99	3,40	1,12	17,49
Nuova Dorgia	SEZ_52	1485,90	14,37	50,98	16,35	1,98	3,93	1,12	17,14
Nuova Dorgia	SEZ_53	1518,40	14,11	46,15	15,99	1,88	2,76	0,81	16,38
Nuova Dorgia	SEZ_54	1551,50	14,05	52,23	15,91	1,86	1,68	0,42	16,05
Nuova Dorgia	SEZ_55	1566,50	14,05	52,40	15,46	1,41	2,34	0,70	15,74

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_56	1570,60	14,05	52,38	15,44	1,39	2,32	0,69	15,71
Nuova Dorgia	SEZ_57	1572,60	11,73	52,51	13,85	2,12	2,76	0,81	14,24
Nuova Dorgia	SEZ_57a	1595,00	11,50	52,24	13,77	2,26	2,48	0,68	14,08
Nuova Dorgia	SEZ_57b	1600,00	11,45	52,35	13,75	2,29	2,45	0,67	14,06
Nuova Dorgia	SEZ_58	1699,20	10,45	53,61	13,52	3,07	2,07	0,44	13,74
Nuova Dorgia	SEZ_59	1717,00	10,35	52,94	13,38	3,03	2,69	0,57	13,75
Nuova Dorgia	SEZ_60	1723,60	10,35	53,10	12,51	2,16	4,32	1,16	13,46
Nuova Dorgia	SEZ_61	1757,50	9,85	54,42	11,94	2,09	3,23	0,77	12,47
Nuova Dorgia	SEZ_62	1908,90	8,34	56,32	10,79	2,45	3,84	0,78	11,54
Nuova Dorgia	SEZ_63	2059,20	6,00	53,18	9,13	3,13	2,83	0,51	9,54
Nuova Dorgia	SEZ_64	2067,20	6,00	53,71	8,88	2,88	3,11	0,58	9,37
Nuova Dorgia	SEZ_65	2172,10	5,20	54,99	8,20	3,00	3,74	0,69	8,91
Nuova Dorgia	SEZ_66	2271,70	4,20	55,44	7,21	3,01	3,75	0,69	7,93
Nuova Dorgia	SEZ_67	2296,50	3,98	55,70	6,96	2,98	3,23	0,60	7,49
Nuova Dorgia	SEZ_68	2324,40	3,76	56,05	5,92	2,16	3,28	0,71	6,47
Nuova Dorgia	SEZ_69	2353,80	3,45	56,58	5,72	2,27	3,12	0,66	6,22
Nuova Dorgia	SEZ_70	2402,70	3,10	57,20	5,39	2,29	3,12	0,66	5,89
Nuova Dorgia	SEZ_71	2445,60	2,71	57,71	5,13	2,42	2,98	0,61	5,58
Nuova Dorgia	SEZ_73	2479,50	2,65	58,21	4,91	2,26	3,22	0,68	5,44
Nuova Dorgia	SEZ_74	2519,30	2,57	58,62	4,62	2,05	3,58	0,80	5,27
Nuova Dorgia	SEZ_75	2541,50	2,51	58,96	4,41	1,90	3,33	0,77	4,98
Nuova Dorgia	SEZ_76	2571,40	2,32	22,30	4,27	1,95	2,87	0,66	4,69
Nuova Dorgia	SEZ_77	2599,40	2,14	22,87	4,18	2,04	2,80	0,63	4,58
Nuova Dorgia	SEZ_78	2652,40	1,78	21,82	3,76	1,98	2,75	0,62	4,15
Nuova Dorgia	SEZ_79	2659,30	1,73	22,01	3,52	1,78	3,09	0,74	4,01
Nuova Dorgia	SEZ_80	2680,60	1,59	22,22	3,27	1,68	3,30	0,81	3,83
Nuova Dorgia	SEZ_81	2692,10	1,46	22,42	3,12	1,66	1,14	0,28	3,19
Nuova Dorgia	SEZ_82	2743,40	1,04	61,83	2,73	1,69	3,08	0,76	3,21
Nuova Dorgia	SEZ_83	2791,20	0,67	62,55	2,38	1,71	3,08	0,75	2,86
Nuova Dorgia	SEZ_84	2845,50	0,23	66,25	2,02	1,79	3,11	0,74	2,51
Nuova Dorgia	SEZ_85	2872,40	0,08	63,60	1,91	1,83	2,93	0,69	2,35
Nuova Dorgia	SEZ_86	2874,80	0,05	63,26	1,96	1,91	2,21	0,51	2,21
Nuova Dorgia	SEZ_87	3027,60	-0,93	63,40	1,34	2,27	1,86	0,39	1,52
Nuova Dorgia	SEZ_88	3031,60	-0,93	35,57	1,34	2,27	1,04	0,22	1,40
Nuova Dorgia	SEZ_89	3174,49	-1,50	42,21	0,59	2,09	2,53	0,56	0,92
Nuova Dorgia	SEZ_90	3178,49	-4,55	39,81	0,51	5,06	0,96	0,06	0,56
Nuova Dorgia	SEZ_91	3182,49	-4,55	37,19	0,51	5,06	0,91	0,06	0,55
Nuova DorgiaB	SEZ_75bis	0,00	2,51	38,56	4,41	1,90	3,18	0,74	4,93
Nuova DorgiaB	SEZ_76bis	28,50	2,32	38,49	4,15	1,83	3,30	0,78	4,70
Nuova DorgiaB	SEZ_79bis	146,30	1,46	38,40	3,12	1,66	3,63	0,90	3,79

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova DorgiaC	SEZ_B1	0,00	-0,93	27,98	1,34	2,27	2,05	0,43	1,55
Nuova DorgiaC	SEZ_B2	141,51	-5,00	27,95	0,50	5,50	0,84	0,03	0,54
Buonviaggio	SEZB_1	0,00	63,00	33,52	64,69	1,69	7,33	1,90	67,43
Buonviaggio	SEZB_2	22,35	62,14	33,52	63,57	1,43	10,16	3,09	68,83
Buonviaggio	SEZB_3	39,87	58,80	33,52	60,11	1,31	11,44	3,70	66,78
Buonviaggio	SEZB_4	56,59	54,09	33,53	55,30	1,21	7,98	2,76	58,55
Buonviaggio	SEZB_5	75,33	52,12	33,52	53,21	1,09	8,10	3,00	56,55
Buonviaggio	SEZB_6	85,26	49,99	33,49	51,98	1,99	3,66	1,12	52,66
Buonviaggio	SEZB_7	98,90	48,70	33,29	51,78	3,08	1,00	0,25	51,83
Buonviaggio	SEZB_8	123,72	47,38	32,59	51,76	4,38	1,03	0,20	51,81
Buonviaggio	SEZB_9	148,95	45,53	29,72	51,79	6,26	0,60	0,10	51,81
Buonviaggio	SEZB_10	166,28	44,09	28,50	46,67	2,58	2,50	0,57	46,99
Buonviaggio	SEZB_11	176,95	43,20	29,11	44,79	1,59	5,01	1,45	46,07
Buonviaggio	SEZB_12	224,61	41,98	31,07	43,09	1,11	4,36	1,81	44,06
Buonviaggio	SEZB_13	293,75	38,03	32,29	39,61	1,58	5,05	1,50	40,91
Buonviaggio	SEZB_14	344,99	36,49	34,24	37,98	1,49	3,27	1,12	38,53
Buonviaggio	SEZB_15	425,58	34,65	34,26	36,80	2,15	3,24	0,93	37,33
Buonviaggio	SEZB_16	484,42	33,82	34,24	36,18	2,36	1,81	0,49	36,35
Buonviaggio	SEZB_17	544,71	32,51	34,20	35,91	3,40	2,61	0,45	36,26
Buonviaggio	SEZB_18	564,45	32,41	34,19	35,80	3,39	2,62	0,45	36,15
Buonviaggio	SEZB_19	586,71	32,31	34,19	34,21	1,90	5,89	1,36	35,98
Buonviaggio	SEZB_20	617,58	31,31	32,92	32,82	1,51	7,17	2,10	35,44
Buonviaggio	SEZB_21	657,18	28,66	30,92	31,19	2,53	3,62	0,78	31,86
Buonviaggio	SEZB_23	701,76	28,80	28,92	30,90	2,10	3,00	0,72	31,36
Buonviaggio	SEZB_24	705,29	28,78	28,61	30,32	1,54	4,32	1,26	31,27
Buonviaggio	SEZB_26	739,78	27,47	33,34	29,35	1,88	3,41	0,79	29,94
Buonviaggio	SEZB_27	749,68	27,22	34,15	29,23	2,01	3,26	0,73	29,77
Buonviaggio	SEZB_28	751,68	24,62	34,15	29,01	4,39	1,50	0,23	29,12
Buonviaggio	SEZB_29	772,05	24,10	31,27	29,03	4,93	1,22	0,18	29,11
Buonviaggio	SEZB_30	812,05	23,83	25,36	27,66	3,83	3,49	0,96	28,28
Buonviaggio	SEZB_31	814,05	23,13	25,31	27,65	4,52	3,58	0,72	28,31
Buonviaggio	SEZB_32	825,05	23,05	25,55	27,70	4,65	1,83	0,27	27,87
Buonviaggio	SEZB_33	827,05	23,03	23,47	27,75	4,72	1,66	0,24	27,89
Buonviaggio	SEZB_34	834,55	22,72	15,28	24,65	1,93	2,39	0,64	24,94

Tabella 9 – Risultati di sintesi della simulazione TR200, torrente Nuova Dorgia.

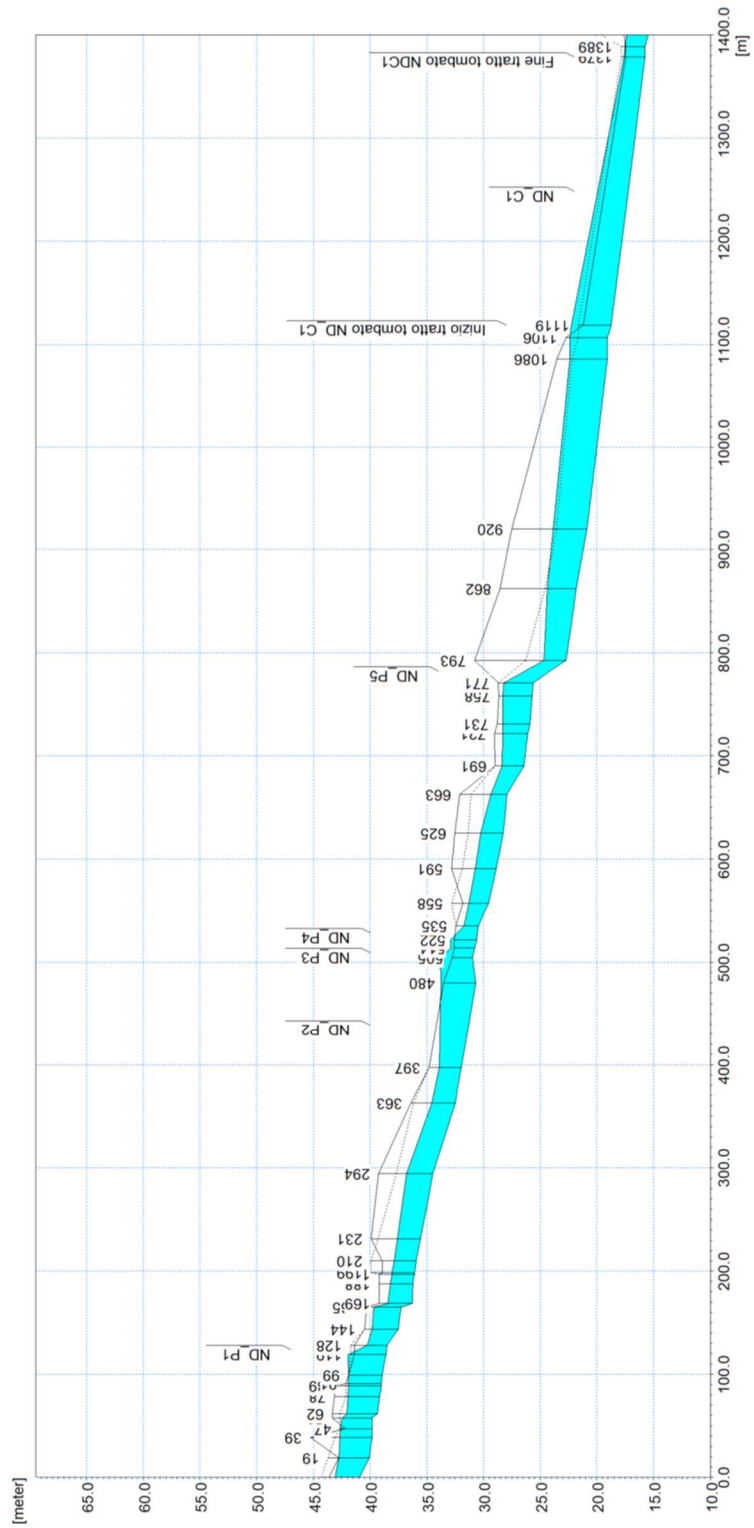


Figura 25 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del torrente Nuova Dorgia, scenario TR200.

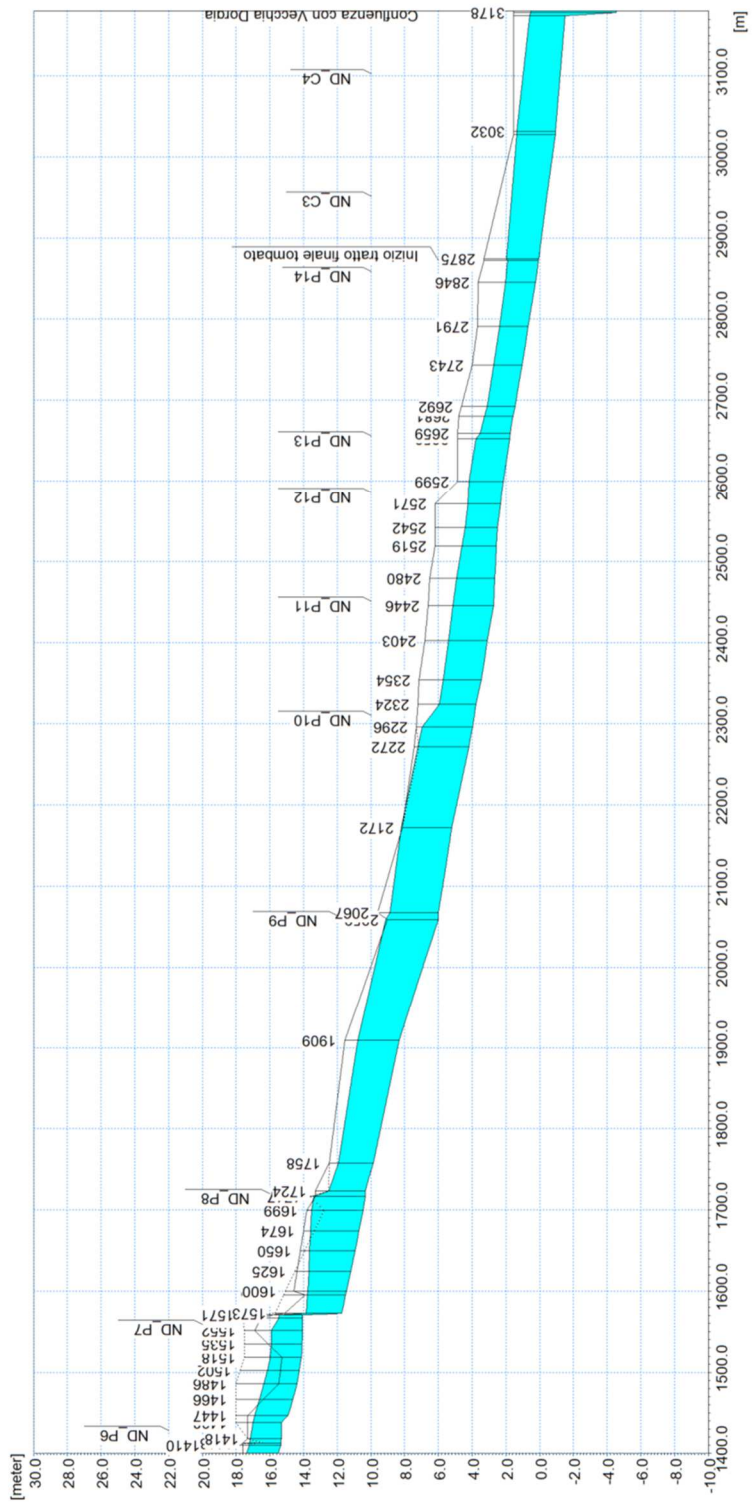


Figura 26 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del torrente Nuova Dorgia, scenario TR200.

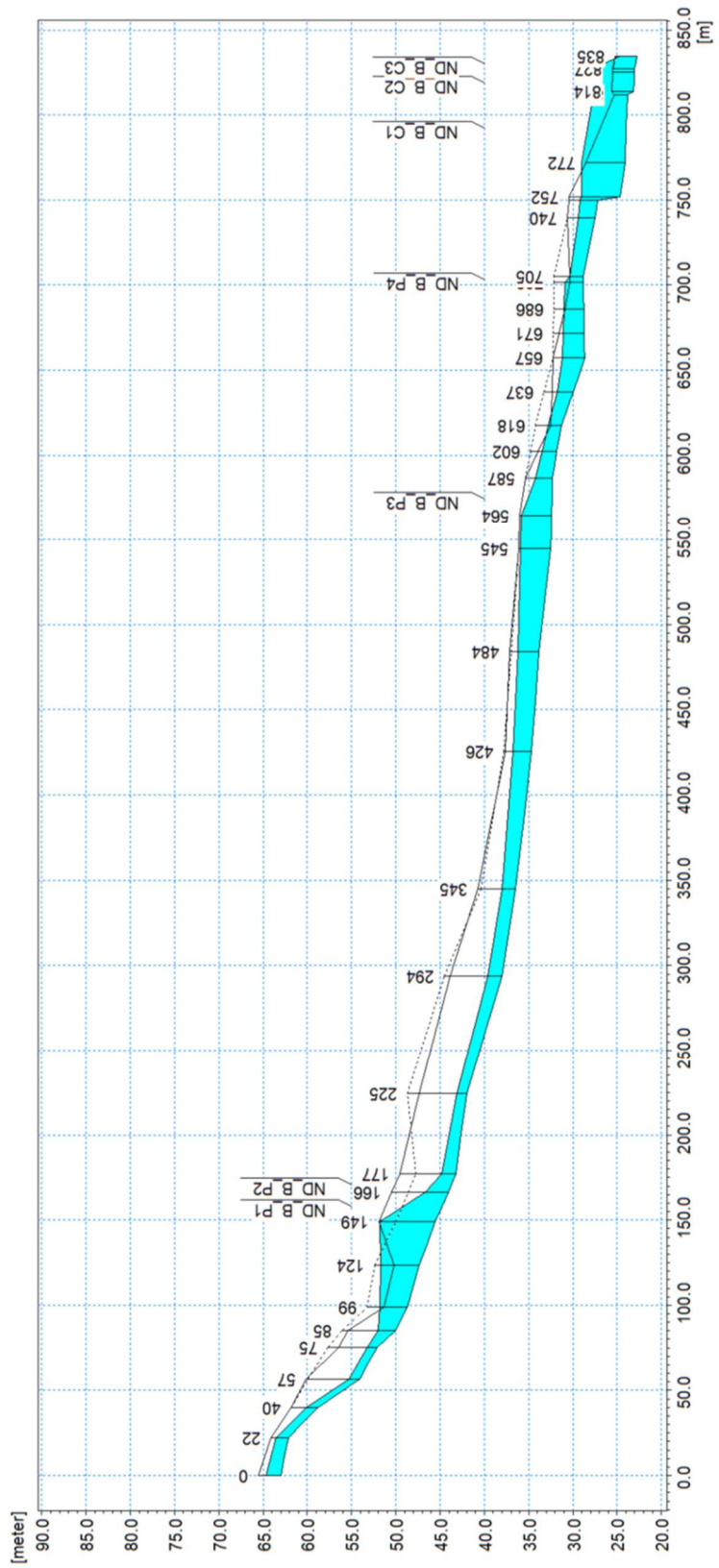


Figura 27 – Profilo longitudinale di corrente del Fosso Buonviaggio, scenario TR200.

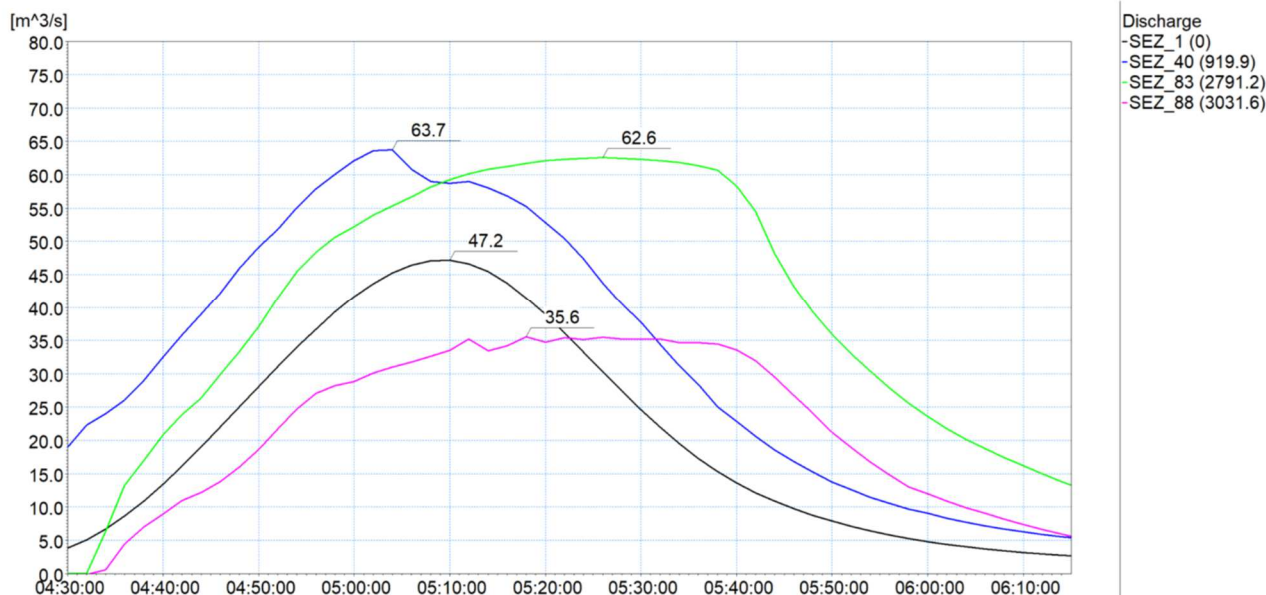


Figura 28 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, torrente Nuova Dorgia.

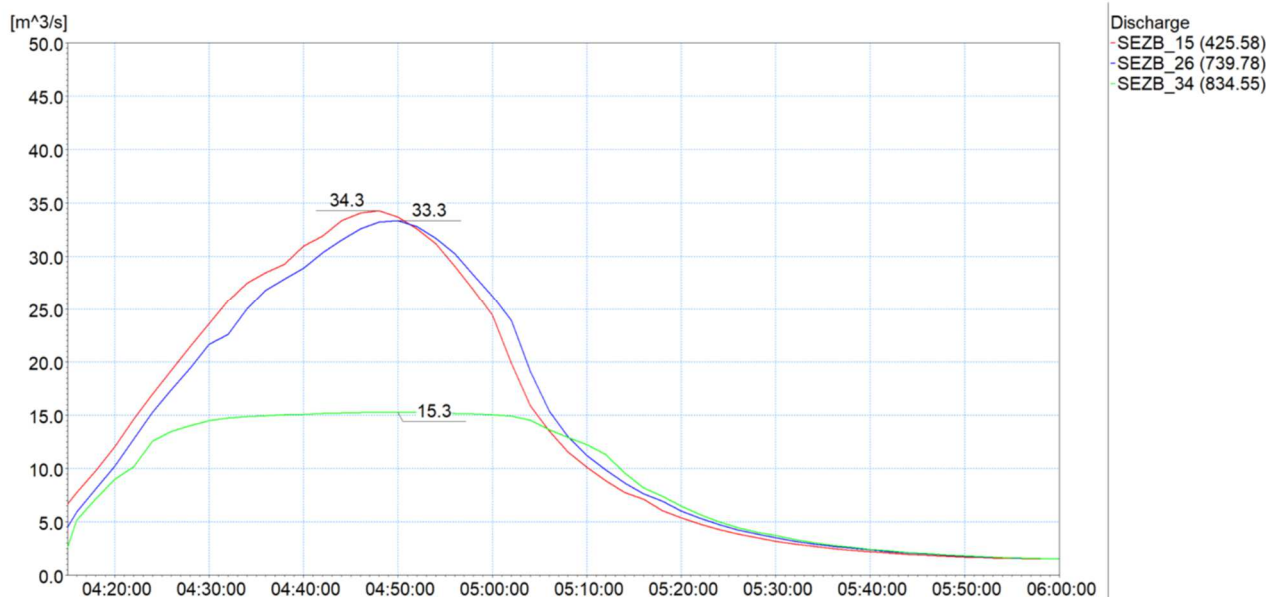


Figura 29 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 200 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Fosso Buonviaggio.

In particolare la Figura 28 mostra come il colmo di piena cresca, al netto delle esondazioni, da circa 47,2 m³/s nella sezione di ingresso di monte (SEZ_1) a circa 62,6 m³/s (SEZ_83) nel tratto di valle, a monte dell'imbocco della tombinatura terminale sotto viale S. Bartolomeo. Tale valore risulta circa del 10% inferiore a quello teorico di 70,9 m³/s determinato dall'analisi idrologica per la sezione di chiusura del bacino (ND_A), per effetto delle portate esondate. A valle della biforcazione dell'alveo al di sotto del Molo Fornelli, la portata massima che confluisce nella Vecchia Dorgia (SEZ_88) risulta pari a 35,6 m³/s.

In Figura 29 si nota come il valore di portata al colmo, durante la sua propagazione lungo l'asta del Fosso Buonviaggio, diminuisca da 34,3 m³/s nella sezione a valle dell'immissione del Fosso Pellizzaro (SEZB_15) a 33,3 m³/s a monte della tombinatura terminale (SEZB_26). La capacità massima di deflusso di quest'ultima (ND_B_C1, ND_B_C2, ND_B_C3) risulta pari a 15,3 m³/s, del tutto analoga al valore già riscontrato per TR50, generando rilevanti volumi di esondazione.

5.2.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

Nella Tabella 10 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Nuova Dorgia (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involucro dei valori massimi. In Figura 30, Figura 31 e Figura 32 sono rappresentati graficamente i profili di corrente del medesimo scenario.

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

Si riscontrano condizioni di franco circa nullo rispetto alle sponde presso l'attraversamento ND_P5, a monte della confluenza con il Fosso Buonviaggio, oltre che per i tratti già evidenziati per TR200.

In Figura 33 e Figura 34 sono rappresentati gli idrogrammi di alcune sezioni significative del modello monodimensionale.

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_1	0,00	40,92	52,72	43,20	2,28	4,46	1,17	44,21
Nuova Dorgia	SEZ_2	19,10	40,07	52,73	42,88	2,81	3,09	0,78	43,37
Nuova Dorgia	SEZ_3	38,80	39,83	52,74	42,80	2,97	2,62	0,60	43,15
Nuova Dorgia	SEZ_4	47,00	39,83	52,59	42,75	2,92	2,77	0,57	43,14
Nuova Dorgia	SEZ_5	57,80	39,83	52,15	42,64	2,81	3,40	0,68	43,23
Nuova Dorgia	SEZ_6	61,80	39,33	52,06	42,16	2,83	3,48	0,70	42,78
Nuova Dorgia	SEZ_7	78,40	39,13	52,06	42,06	2,93	3,15	0,60	42,56
Nuova Dorgia	SEZ_8	88,85	39,02	52,06	41,99	2,97	3,09	0,59	42,48
Nuova Dorgia	SEZ_9	90,95	39,02	52,06	41,98	2,96	3,10	0,59	42,47
Nuova Dorgia	SEZ_10	99,30	38,91	52,06	41,97	3,06	3,00	0,56	42,43
Nuova Dorgia	SEZ_11	119,20	38,60	46,38	42,06	3,46	2,27	0,44	42,32
Nuova Dorgia	SEZ_12	128,20	38,50	43,81	40,33	1,83	4,91	1,26	41,56
Nuova Dorgia	SEZ_13	143,90	37,50	45,11	39,93	2,43	3,31	0,70	40,49
Nuova Dorgia	SEZ_14	164,90	37,28	46,86	39,78	2,50	3,34	0,70	40,35
Nuova Dorgia	SEZ_15	168,90	36,28	47,16	38,58	2,30	3,99	0,91	39,39
Nuova Dorgia	SEZ_16	187,50	36,21	50,85	38,31	2,10	4,38	1,01	39,29
Nuova Dorgia	SEZ_17	196,70	36,09	52,51	38,19	2,09	4,55	1,05	39,24
Nuova Dorgia	SEZ_18	198,70	36,07	52,62	38,16	2,09	4,56	1,05	39,22
Nuova Dorgia	SEZ_19	209,90	35,93	52,62	38,00	2,07	4,61	1,07	39,08

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_20	231,10	35,55	52,62	37,69	2,14	3,99	1,05	38,50
Nuova Dorgia	SEZ_21	294,20	34,45	52,61	36,88	2,43	5,27	1,59	38,29
Nuova Dorgia	SEZ_22	362,70	32,49	52,59	34,66	2,17	4,04	1,19	35,49
Nuova Dorgia	SEZ_23	397,20	31,94	52,57	34,06	2,12	3,55	0,78	34,70
Nuova Dorgia	SEZ_24	480,30	30,66	52,54	33,85	3,19	2,35	0,42	34,13
Nuova Dorgia	SEZ_25	504,70	30,94	43,48	33,90	2,96	2,12	0,38	34,13
Nuova Dorgia	SEZ_26	513,90	30,22	40,08	32,98	2,21	2,57	0,53	33,32
Nuova Dorgia	SEZ_27	521,80	30,49	39,72	32,97	2,38	2,47	0,50	33,28
Nuova Dorgia	SEZ_28	535,30	30,14	39,11	31,79	1,35	4,10	1,07	32,65
Nuova Dorgia	SEZ_29	557,60	29,55	42,95	31,39	1,84	4,08	1,07	32,24
Nuova Dorgia	SEZ_30	590,90	28,86	49,62	30,81	1,95	4,08	1,05	31,66
Nuova Dorgia	SEZ_31	625,10	28,26	50,83	30,37	2,11	5,38	1,38	31,85
Nuova Dorgia	SEZ_32	662,80	27,91	51,15	29,45	1,54	5,33	1,53	30,90
Nuova Dorgia	SEZ_33	690,60	26,41	51,71	28,56	2,15	1,98	0,46	28,76
Nuova Dorgia	SEZ_34	721,40	26,10	52,25	28,52	2,42	1,74	0,38	28,68
Nuova Dorgia	SEZ_35	730,80	25,88	52,24	28,52	2,64	1,57	0,33	28,65
Nuova Dorgia	SEZ_36	758,30	25,72	52,18	28,50	2,78	1,48	0,30	28,61
Nuova Dorgia	SEZ_37	770,90	25,60	52,15	28,40	2,80	2,09	0,40	28,62
Nuova Dorgia	SEZ_38	792,70	22,72	52,17	24,75	2,03	1,65	0,38	24,89
Nuova Dorgia	SEZ_39	862,13	21,80	65,98	24,48	2,68	3,46	0,84	25,09
Nuova Dorgia	SEZ_40	919,90	20,88	70,24	23,96	3,08	3,82	0,88	24,70
Nuova Dorgia	SEZ_41	1085,60	19,06	70,62	22,52	3,46	1,89	0,39	22,70
Nuova Dorgia	SEZ_42	1106,40	19,08	66,69	22,53	3,45	1,75	0,33	22,69
Nuova Dorgia	SEZ_43	1118,69	18,72	65,12	22,36	3,64	2,81	0,48	22,76
Nuova Dorgia	SEZ_44	1378,80	15,77	52,92	17,61	1,84	3,07	0,88	18,09
Nuova Dorgia	SEZ_45	1388,80	15,77	53,05	17,53	1,76	3,30	0,98	18,09
Nuova Dorgia	SEZ_46	1400,00	15,49	53,13	17,41	1,92	3,92	1,22	18,19
Nuova Dorgia	SEZ_47	1410,00	15,35	53,17	17,24	1,89	3,25	0,91	17,78
Nuova Dorgia	SEZ_48	1413,00	15,35	53,23	17,21	1,86	3,34	0,94	17,78
Nuova Dorgia	SEZ_49	1418,30	15,30	54,05	17,17	1,87	3,10	0,77	17,66
Nuova Dorgia	SEZ_50	1438,30	15,30	54,65	17,01	1,71	3,49	0,92	17,63
Nuova Dorgia	SEZ_51	1446,90	14,91	54,68	16,93	2,02	3,42	1,11	17,53
Nuova Dorgia	SEZ_52	1485,90	14,37	53,16	16,38	2,01	3,99	1,12	17,19
Nuova Dorgia	SEZ_53	1518,40	14,11	48,05	16,03	1,92	2,77	0,80	16,42
Nuova Dorgia	SEZ_54	1551,50	14,05	54,72	15,96	1,91	1,71	0,43	16,11
Nuova Dorgia	SEZ_55	1566,50	14,05	54,92	15,49	1,44	2,39	0,70	15,78
Nuova Dorgia	SEZ_56	1570,60	14,05	54,91	15,47	1,42	2,37	0,69	15,76
Nuova Dorgia	SEZ_57	1572,60	11,73	55,07	13,92	2,19	2,72	0,78	14,30
Nuova Dorgia	SEZ_57a	1595,00	11,50	55,65	13,86	2,36	2,48	0,67	14,17
Nuova Dorgia	SEZ_57b	1600,00	11,45	56,02	13,84	2,39	2,45	0,65	14,15

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Nuova Dorgia	SEZ_58	1699,20	10,45	56,84	13,60	3,15	2,12	0,44	13,83
Nuova Dorgia	SEZ_59	1717,00	10,35	55,91	13,48	3,13	2,73	0,57	13,86
Nuova Dorgia	SEZ_60	1723,60	10,35	55,93	12,60	2,25	4,31	1,13	13,54
Nuova Dorgia	SEZ_61	1757,50	9,85	57,68	12,02	2,17	3,27	0,77	12,57
Nuova Dorgia	SEZ_62	1908,90	8,34	60,67	10,89	2,55	3,97	0,79	11,69
Nuova Dorgia	SEZ_63	2059,20	6,00	53,89	9,16	3,16	2,84	0,51	9,57
Nuova Dorgia	SEZ_64	2067,20	6,00	54,61	8,91	2,91	3,13	0,59	9,41
Nuova Dorgia	SEZ_65	2172,10	5,20	56,26	8,22	3,02	3,80	0,70	8,96
Nuova Dorgia	SEZ_66	2271,70	4,20	55,82	7,23	3,03	3,76	0,69	7,95
Nuova Dorgia	SEZ_67	2296,50	3,98	55,97	6,97	2,99	3,22	0,59	7,50
Nuova Dorgia	SEZ_68	2324,40	3,76	56,46	5,96	2,20	3,25	0,70	6,50
Nuova Dorgia	SEZ_69	2353,80	3,45	57,27	5,76	2,31	3,10	0,65	6,25
Nuova Dorgia	SEZ_70	2402,70	3,10	58,22	5,44	2,34	3,11	0,65	5,93
Nuova Dorgia	SEZ_71	2445,60	2,71	59,01	5,18	2,47	2,98	0,60	5,63
Nuova Dorgia	SEZ_73	2479,50	2,65	59,77	4,96	2,31	3,23	0,68	5,49
Nuova Dorgia	SEZ_74	2519,30	2,57	60,41	4,67	2,10	3,59	0,79	5,33
Nuova Dorgia	SEZ_75	2541,50	2,51	60,92	4,47	1,96	3,34	0,76	5,04
Nuova Dorgia	SEZ_76	2571,40	2,32	21,43	4,32	2,00	2,68	0,60	4,69
Nuova Dorgia	SEZ_77	2599,40	2,14	21,98	4,22	2,08	2,64	0,58	4,57
Nuova Dorgia	SEZ_78	2652,40	1,78	22,60	3,81	2,03	2,79	0,63	4,21
Nuova Dorgia	SEZ_79	2659,30	1,73	22,89	3,58	1,85	3,10	0,73	4,07
Nuova Dorgia	SEZ_80	2680,60	1,59	23,23	3,34	1,75	3,32	0,80	3,90
Nuova Dorgia	SEZ_81	2692,10	1,46	23,55	3,19	1,73	1,15	0,28	3,26
Nuova Dorgia	SEZ_82	2743,40	1,04	65,34	2,81	1,77	3,11	0,75	3,30
Nuova Dorgia	SEZ_83	2791,20	0,67	66,33	2,47	1,80	3,10	0,74	2,96
Nuova Dorgia	SEZ_84	2845,50	0,23	71,42	2,10	1,87	3,21	0,75	2,63
Nuova Dorgia	SEZ_85	2872,40	0,08	67,45	1,98	1,90	2,98	0,69	2,43
Nuova Dorgia	SEZ_86	2874,80	0,05	67,31	2,04	1,99	2,26	0,51	2,30
Nuova Dorgia	SEZ_87	3027,60	-0,93	67,59	1,43	2,36	1,91	0,40	1,62
Nuova Dorgia	SEZ_88	3031,60	-0,93	37,74	1,43	2,36	1,07	0,22	1,49
Nuova Dorgia	SEZ_89	3174,49	-1,50	43,82	0,61	2,11	2,60	0,57	0,96
Nuova Dorgia	SEZ_90	3178,49	-4,55	41,05	0,52	5,07	0,99	0,06	0,57
Nuova Dorgia	SEZ_91	3182,49	-4,55	38,80	0,52	5,07	0,95	0,06	0,57
Nuova DorgiaB	SEZ_75bis	0,00	2,51	40,51	4,47	1,96	3,24	0,74	5,01
Nuova DorgiaB	SEZ_76bis	28,50	2,32	40,40	4,21	1,89	3,35	0,78	4,78
Nuova DorgiaB	SEZ_79bis	146,30	1,46	40,30	3,19	1,73	3,66	0,89	3,87
Nuova DorgiaC	SEZ_B1	0,00	-0,93	29,91	1,43	2,36	2,11	0,44	1,66
Nuova DorgiaC	SEZ_B2	141,51	-5,00	29,92	0,50	5,50	0,90	0,04	0,54
Buonviaggio	SEZB_1	0,00	63,00	37,54	64,79	1,79	7,71	1,93	67,82
Buonviaggio	SEZB_2	22,35	62,14	37,54	63,65	1,51	10,63	3,13	69,41

Ramo	ID	Progr.	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
	Sezione	(m)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m)	(m/s)	(-)	(m s.m.)
Buonviaggio	SEZB_3	39,87	58,80	37,54	60,18	1,38	11,92	3,71	67,42
Buonviaggio	SEZB_4	56,59	54,09	37,55	55,38	1,29	8,20	2,77	58,81
Buonviaggio	SEZB_5	75,33	52,12	37,54	53,31	1,19	7,94	2,81	56,52
Buonviaggio	SEZB_6	85,26	49,99	37,50	52,25	2,26	3,26	0,93	52,79
Buonviaggio	SEZB_7	98,90	48,70	37,27	52,13	3,43	0,92	0,21	52,17
Buonviaggio	SEZB_8	123,72	47,38	36,93	52,11	4,73	1,03	0,19	52,16
Buonviaggio	SEZB_9	148,95	45,53	32,13	52,14	6,61	0,60	0,09	52,16
Buonviaggio	SEZB_10	166,28	44,09	29,88	46,74	2,65	2,53	0,57	47,07
Buonviaggio	SEZB_11	176,95	43,20	30,97	44,86	1,66	5,02	1,42	46,14
Buonviaggio	SEZB_12	224,61	41,98	34,53	43,14	1,16	4,46	1,78	44,15
Buonviaggio	SEZB_13	293,75	38,03	36,58	39,71	1,68	5,23	1,52	41,11
Buonviaggio	SEZB_14	344,99	36,49	38,76	38,07	1,58	3,37	1,10	38,65
Buonviaggio	SEZB_15	425,58	34,65	38,71	36,94	2,29	3,27	0,91	37,48
Buonviaggio	SEZB_16	484,42	33,82	38,73	36,41	2,59	1,75	0,45	36,57
Buonviaggio	SEZB_17	544,71	32,51	38,73	36,14	3,63	2,77	0,46	36,53
Buonviaggio	SEZB_18	564,45	32,41	38,73	36,01	3,60	2,79	0,47	36,41
Buonviaggio	SEZB_19	586,71	32,31	38,73	34,36	2,05	6,20	1,38	36,32
Buonviaggio	SEZB_20	617,58	31,31	36,99	32,91	1,60	7,50	2,12	35,78
Buonviaggio	SEZB_21	657,18	28,66	34,42	31,32	2,66	3,82	0,80	32,06
Buonviaggio	SEZB_23	701,76	28,80	31,81	30,99	2,19	3,12	0,73	31,49
Buonviaggio	SEZB_24	705,29	28,78	31,38	30,43	1,65	4,36	1,22	31,40
Buonviaggio	SEZB_26	739,78	27,47	37,40	29,51	2,04	3,52	0,79	30,14
Buonviaggio	SEZB_27	749,68	27,22	38,43	29,39	2,17	3,40	0,74	29,98
Buonviaggio	SEZB_28	751,68	24,62	38,43	29,15	4,53	1,63	0,24	29,29
Buonviaggio	SEZB_29	772,05	24,10	34,38	29,19	5,09	1,30	0,19	29,28
Buonviaggio	SEZB_30	812,05	23,83	26,15	27,73	3,90	3,60	0,99	28,39
Buonviaggio	SEZB_31	814,05	23,13	26,09	27,71	4,58	3,70	0,74	28,41
Buonviaggio	SEZB_32	825,05	23,05	26,35	27,77	4,72	1,86	0,27	27,95
Buonviaggio	SEZB_33	827,05	23,03	24,13	27,82	4,79	1,68	0,24	27,96
Buonviaggio	SEZB_34	834,55	22,72	15,40	24,75	2,03	2,24	0,59	25,01

Tabella 10 – Risultati di sintesi della simulazione TR500, torrente Nuova Dorgia.

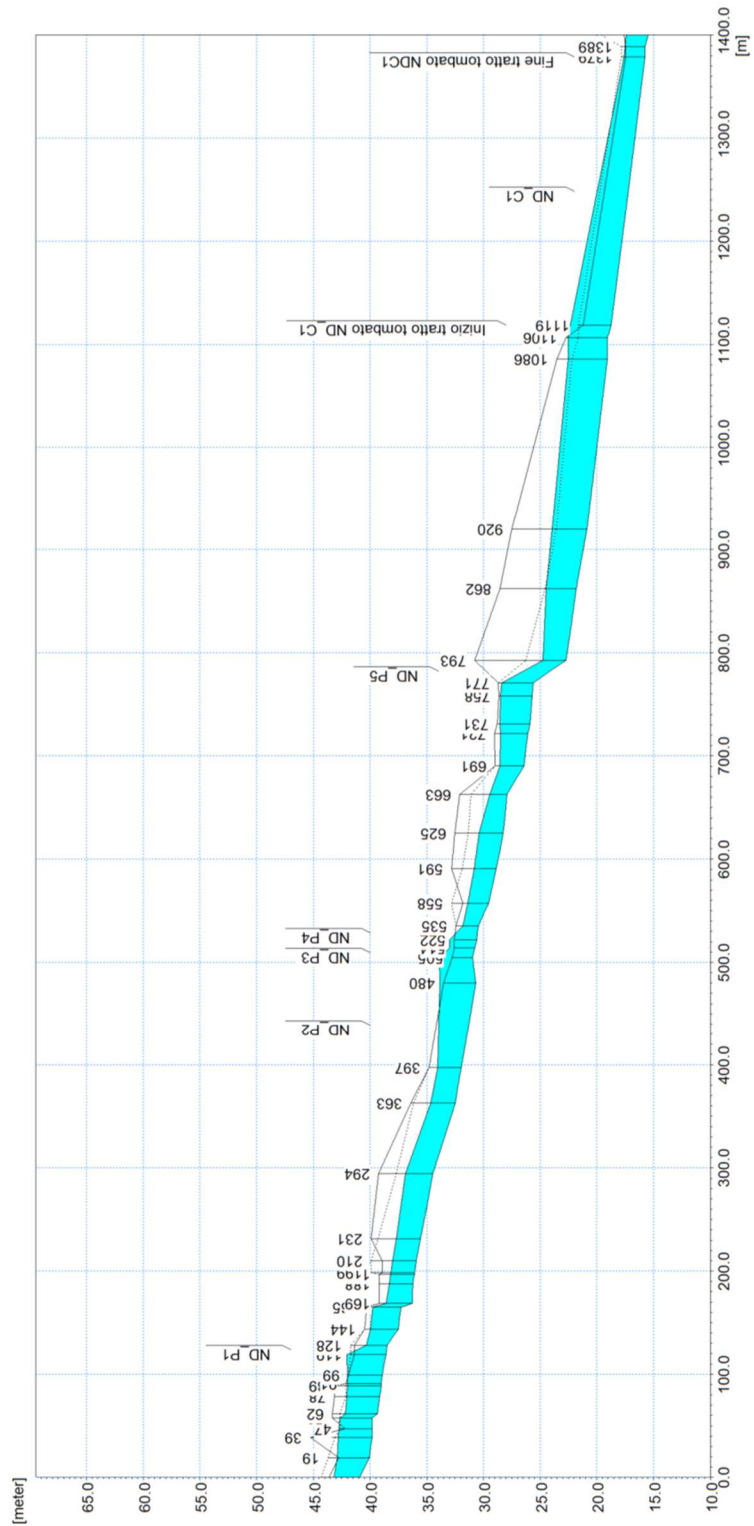


Figura 30 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di monte del torrente Nuova Dorgia, scenario TR500.

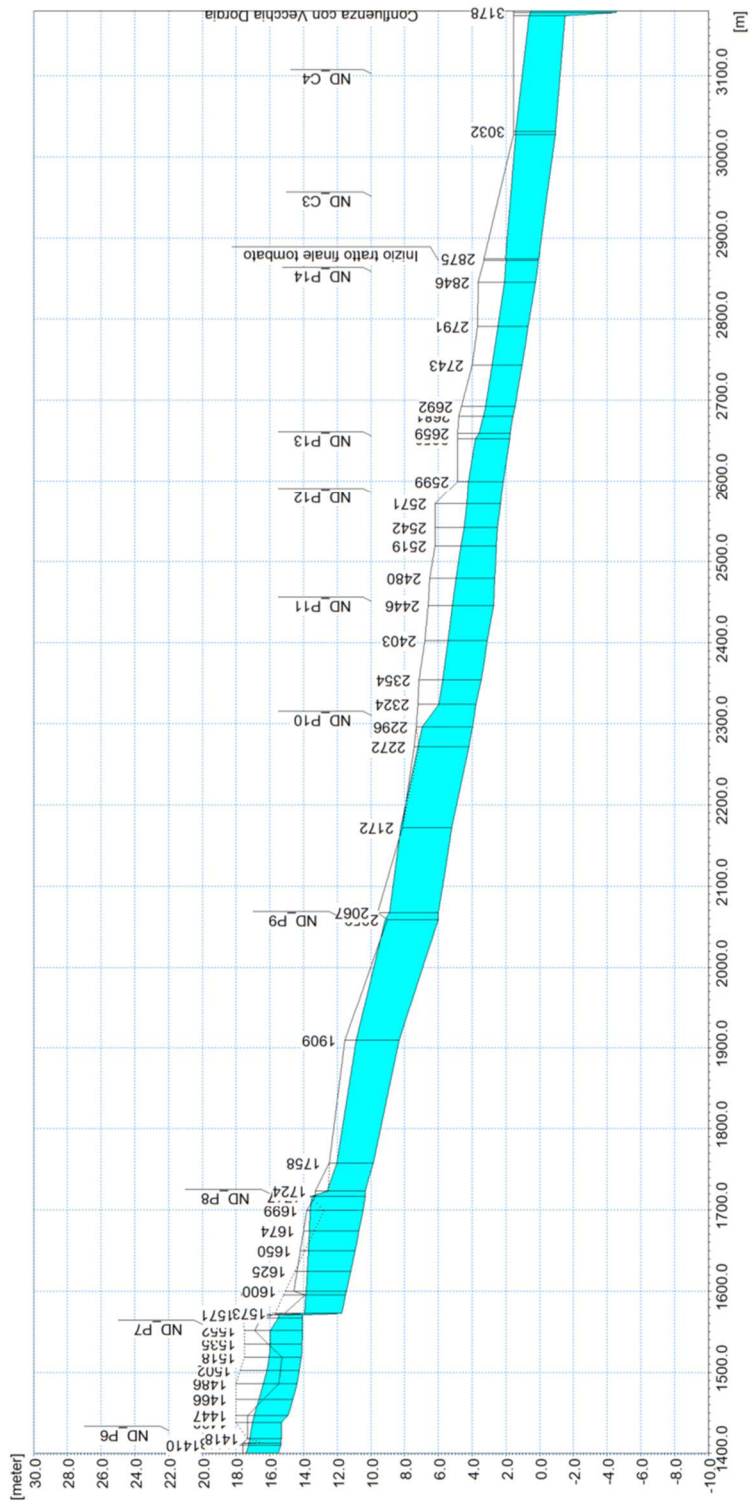


Figura 31 – Profilo longitudinale di corrente del tratto di valle del torrente Nuova Dorgia, scenario TR500.

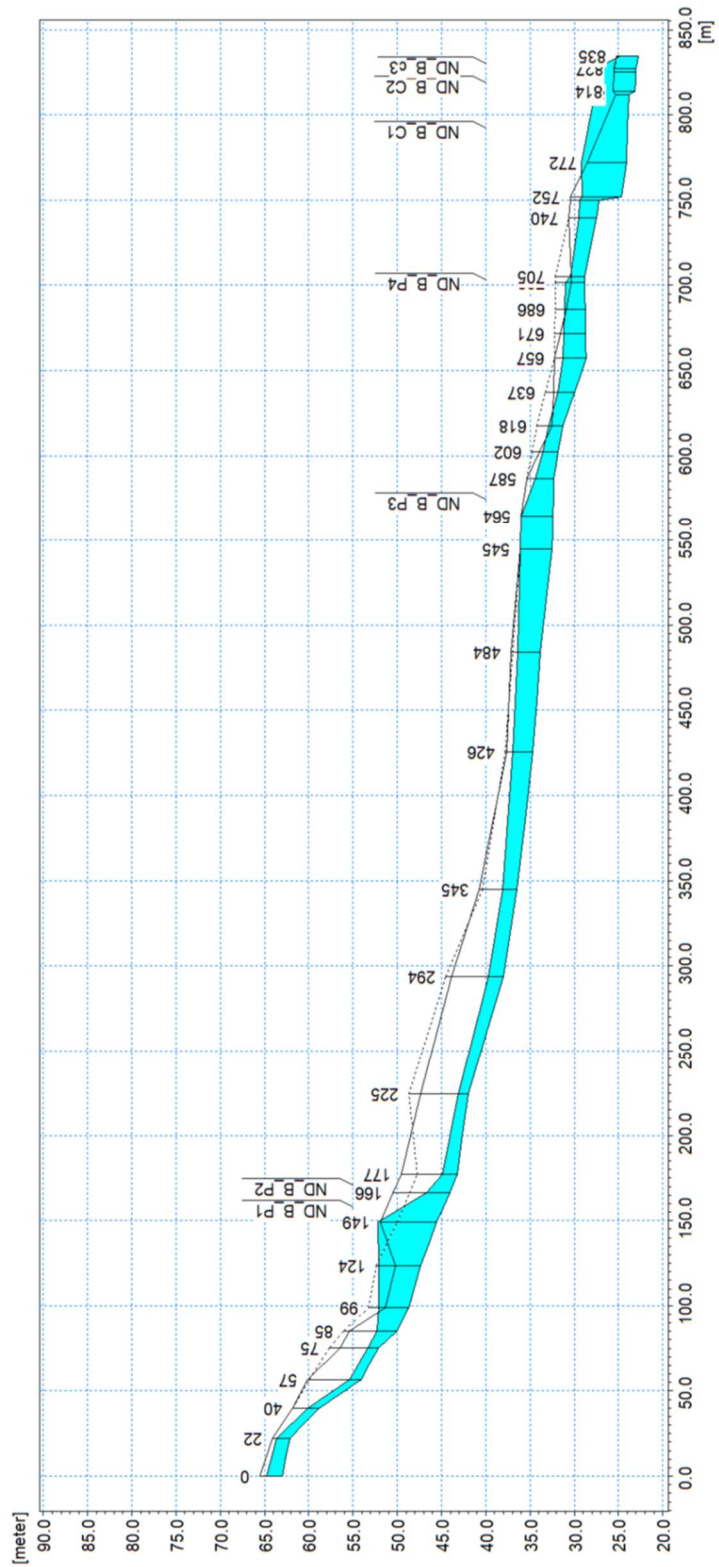


Figura 32 – Profilo longitudinale di corrente del Fosso Buonviaggio, scenario TR500.

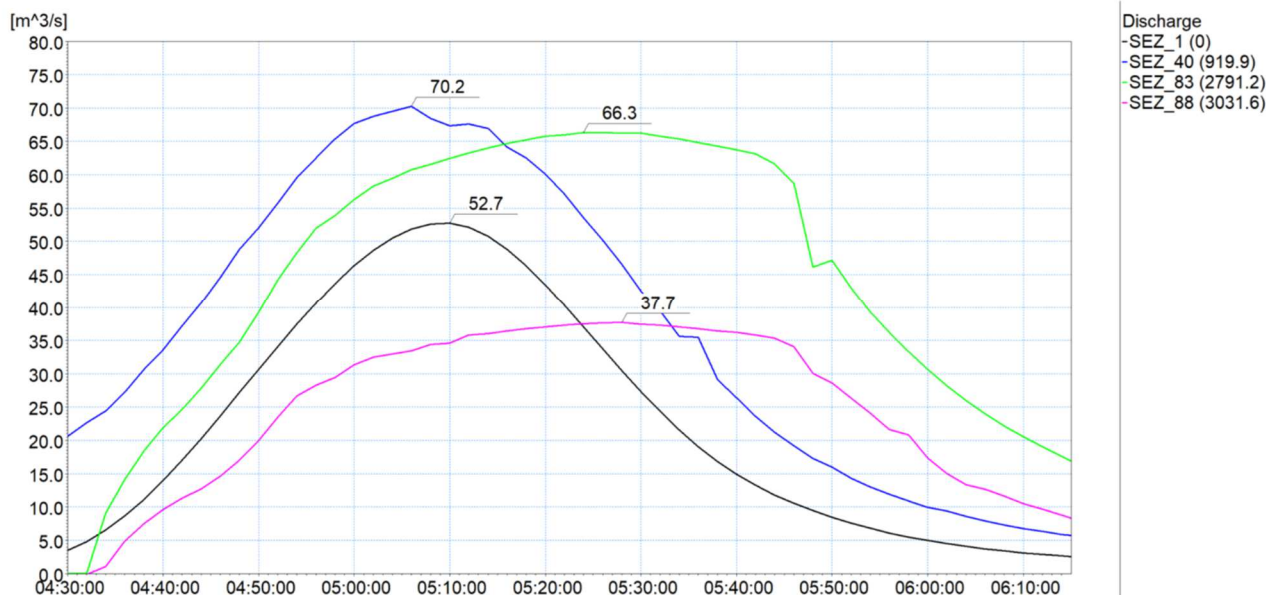


Figura 33 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, torrente Nuova Dorgia.

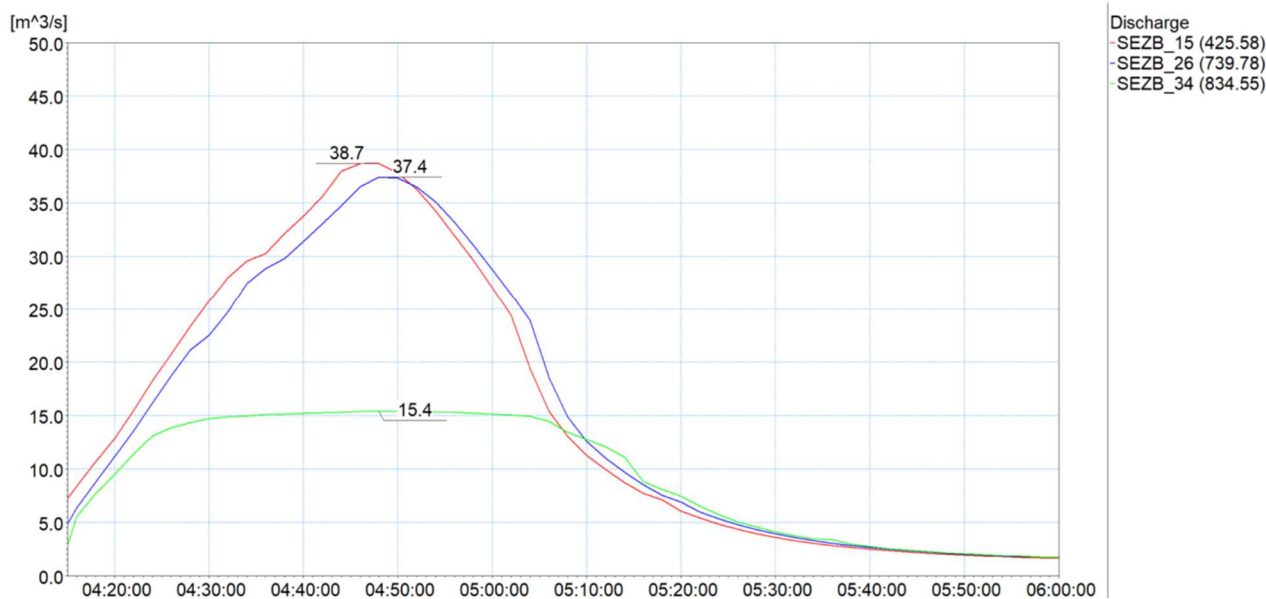


Figura 34 – Idrogrammi estratti dai risultati della simulazione con tempo di ritorno di 500 anni in alcune sezioni trasversali significative del modello monodimensionale, Fosso Buonviaggio.

In particolare la Figura 33 mostra come il colmo di piena cresca, al netto delle esondazioni, da circa 52,7 m³/s nella sezione di ingresso di monte (SEZ_1) a circa 66,3 m³/s (SEZ_83) nel tratto di valle, a monte dell'imbocco della tombinatura terminale sotto viale S. Bartolomeo. Tale valore risulta significativamente inferiore (-22%) a quello teorico di 85,3 m³/s determinato dall'analisi idrologica per la sezione di chiusura del bacino (ND_A), per effetto delle esondazioni. A valle della biforcazione dell'alveo al di sotto del Molo Fornelli, la portata massima che confluisce nella Vecchia Dorgia (SEZ_88) risulta pari a 37,7 m³/s.

La SEZ_40 è ubicata a valle della confluenza con il Fosso Buonviaggio, e mostra come il colmo di piena si riduca a valle del contributo dell'affluente, in relazione alle esondazioni che si verificano.

In Figura 34 si nota come il valore di portata al colmo, durante la sua propagazione lungo l'asta del Fosso Buonviaggio, diminuisca da 38,7 m³/s nella sezione a valle dell'immissione del Fosso Pellizzaro (SEZB_15) a 37,4 m³/s a monte della tombinatura terminale (SEZB_26). La capacità massima di deflusso di quest'ultima (ND_B_C1, ND_B_C2, ND_B_C3) risulta pari a 15,4 m³/s, del tutto analoga al valore già riscontrato per gli scenari precedenti, generando rilevanti volumi di esondazione.

5.3 Analisi dei franchi idraulici sui manufatti interferenti

In Tabella 11 e Tabella 12 sono sintetizzati i franchi minimi di sicurezza (rispettivamente per il torrente Vecchia Dorgia e il torrente Nuova Dorgia) 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 tombinature 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.

ID Sezione	ID Struttura	TR50	TR200	TR500
		FR_INTR [m]	FR_INTR [m]	FR_INTR [m]
SEZ_3	VD_P1	1,04	0,77	0,59
SEZ_7	VD_C1	-0,71	-0,91	-1,01
SEZ_10	VD_P2	-0,39	-0,69	-0,83
SEZ_15	VD_P3	-0,68	-1,14	-1,39
SEZ_20	VD_P4	0,12	0,00	-0,14
SEZ_22	VD_P5	0,07	-0,13	-0,20
SEZ_28	VD_C2	-0,91	-1,00	-1,05
SEZ_42	VD_C3	0,51	0,42	0,43
SEZ_46	VD_C5	0,74	0,66	0,67
SEZ_53	VD_C6	0,80	0,80	0,80
SEZ_3A	VD_C4	0,09	0,01	0,00

Tabella 11 – Franco disponibile dalla quota del pelo libero simulato (per gli scenari TR50, TR200 e TR500) alla quota di intradosso degli attraversamenti e delle tombinature del torrente Vecchia Dorgia.

ID Sezione	ID Struttura	TR50	TR200	TR500
		FR_INTR [m]	FR_INTR [m]	FR_INTR [m]
SEZ_11	ND_P1	-0,43	-0,65	-0,76
SEZ_24	ND_P2	-0,12	-0,26	-0,34
SEZ_25	ND_P3	-0,33	-0,50	-0,61
SEZ_27	ND_P4	0,13	-0,01	-0,08
SEZ_37	ND_P5	1,46	1,20	1,00
SEZ_43	ND_C1	-1,25	-1,60	-1,74
SEZ_49	ND_P6	0,20	0,17	0,13
SEZ_54	ND_P7	0,18	0,11	0,06
SEZ_59	ND_P8	-0,73	-0,88	-0,98
SEZ_63	ND_P9	-0,73	-0,93	-0,96
SEZ_67	ND_P10	-0,66	-0,98	-0,99
SEZ_77	ND_P12	0,02	-0,04	-0,08
SEZ_78	ND_P13	1,07	1,02	0,97
SEZ_85	ND_P14	0,70	0,52	0,45
SEZ_87	ND_C3	0,20	0,01	-0,08
SEZ_88	ND_C4	0,40	0,21	0,12
SEZB_9	ND_B_P1	-3,06	-3,86	-4,21
SEZB_10	ND_B_P2	2,86	2,72	2,65
SEZB_18	ND_B_P3	-0,28	-0,59	-0,80
SEZB_23	ND_B_P4	1,06	0,90	0,81
SEZB_29	ND_B_C1	-3,21	-3,43	-3,59
SEZB_32	ND_B_C2	-2,05	-2,05	-2,15
SEZB_33	ND_B_C3	-3,62	-3,62	-3,72
SEZ_76bis	ND_C2	0,35	0,17	0,11
SEZ_B1	ND_C5	0,20	0,01	-0,08

Tabella 12 – Franco disponibile dalla quota del pelo libero simulato (per gli scenari TR50, TR200 e TR500) alla quota di intradosso degli attraversamenti e delle tombinate del torrente Nuova Dorgia e dell’affluente Fosso Buonviaggio.

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 13).

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 gli attraversamenti e le tombinate sulla Vecchia Dorgia e sul Fosso Buonviaggio rientrerebbero 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 m³/s. Essendo tali norme meno stringenti di quelle definite nel PdB, si fa riferimento a queste ultime.

Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b)			
		Reticolo principale e secondario	Reticolo minore
(a)		$U^2/2g,$	$0,5 U^2/2g,$
(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 tombinate (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m. 12	cm. 150/200	cm 100

Tabella 13 – 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. I corsi d'acqua di primo livello o principali sono le aste fluviali con bacino sotteso > 1 km²;
- b. I corsi d'acqua di secondo livello o secondari sono le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 1 e 0,25 km²;
- c. corsi d'acqua di terzo livello o minori sono le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 0,25 e 0,1 km², con l'aggiunta delle aste con bacini inferiori a 0,1 km² con fasce di inondabilità perimetrate nel Piano.

I corsi d'acqua in esame presentano un bacino sotteso di estensione maggiore di 1 km² e quindi, secondo il PdB, ricadono nell'ambito del reticolo principale. Il bacino può essere considerato poco dissestato, con previsione di contenuto trasporto solido in caso di piena, per cui si ritiene applicabile il valore minimo tra quelli indicati in Tabella 13.

Per il torrente Vecchia Dorgia tutti gli attraversamenti risultano idraulicamente inadeguati secondo i criteri definiti in precedenza; vi sono tuttavia il ponte VD_P1 e la tombinatura terminale (VD_C6) che mostrano franchi idraulici significativi, dell'ordine di 0,80 m per l'evento TR200, assai prossimi quindi a condizioni di corretto smaltimento della portata di piena di riferimento.

Sul torrente Nuova Dorgia risultano idraulicamente adeguati da normativa vigente gli attraversamenti ND_P5 (monte confluenza Buonviaggio) e ND_P13 (passerella a valle di via Carducci). Sul Fosso Buonviaggio risultano adeguati gli attraversamenti ND_B_P2 e (sostanzialmente, con franco 0,90 m sulla piena TR200) ND_B_P4. Tutti gli altri attraversamenti e tombinate sono da considerarsi inadeguati ai sensi della normativa vigente.

5.4 Risultati delle simulazioni MIKE 21: torrente Vecchia Dorgia

5.4.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

In Figura 35 e Figura 36 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. Sono rappresentate sia le aree di esondazione del torrente Vecchia Dorgia che quelle del torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

In Figura 35 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 36 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.

Il deflusso dell'evento di piena TR50 nel torrente Vecchia Dorgia determina esondazioni significativamente estese nelle aree urbane adiacenti.

La dinamica delle esondazioni per alcuni tratti significativi a monte della ferrovia viene descritta in Figura 37, Figura 38 e Figura 39, che rappresentano la distribuzione delle altezze d'acqua sul piano campagna in istanti successivi dell'evento simulato. Analoga rappresentazione è fornita in Figura 40 e Figura 41 per le aree a valle ferrovia.

- Nel tratto più a monte del torrente si ha inizialmente fuoriuscita di portata a monte della tombinatura VD_C1, nell'area del cantiere della variante alla S.S.1, che manifesta un deflusso in pressione al transito del colmo di piena. I livelli superano la quota spondale in destra, dove è presente un'area, depressa rispetto alla viabilità adiacente, sulla quale sorgono fabbricati a uso residenziale. La portata esondata si propaga per ruscellamento superficiale secondo la pendenza del terreno, invadendo la sede stradale di Via Privata da Passano e Salita Castelvecchio e convergendo in direzione di Via della Pieve. L'esondazione prosegue quindi verso Sud lungo la strada, e si espande anche verso Sud-Ovest nell'area del campo sportivo, fino a raggiungere in entrambi i casi la sede ferroviaria.
- Contestualmente, nel tratto tra il ponticello VD_P4 di accesso al cimitero e l'imbocco della tombinatura VD_C2 si verificano esondazioni in sponda destra (in larga parte dovute all'effetto di rigurgito dato dal funzionamento in pressione della tombinatura) con fuoriuscita di portata lungo via della Pieve che va ad allagare le aree limitrofe e lo spiazzo in prossimità della linea ferroviaria, unendosi ai flussi in arrivo da monte.
- Lo spiazzo antistante la linea ferroviaria è separato da quest'ultima da un muretto continuo in calcestruzzo, alto circa 1 m ed esteso anche a monte, a definire il limite di proprietà delle aree residenziali adiacenti. Parallelo alla ferrovia scorre inoltre il Fosso Ponticelli, che nel modello è rappresentato unicamente come immissione puntuale di portata sull'asta della Vecchia Dorgia (l'alveo è parzialmente descritto dalla batimetria del modello 2D). Il muretto è stato considerato nel modello 2D come elemento in grado di creare interferenza al deflusso della corrente di piena; esso tuttavia non è sufficiente a contenere i livelli idrici conseguenti all'invaso in questo spiazzo (punto di "corda molle" della strada, corrispondente all'originario fondovalle) delle portate provenienti da monte, per cui viene sormontato provocando l'allagamento della sede ferroviaria retrostante. Quest'ultima è anche raggiunta da deflussi di esondazione provenienti dall'area più a monte (campo sportivo).

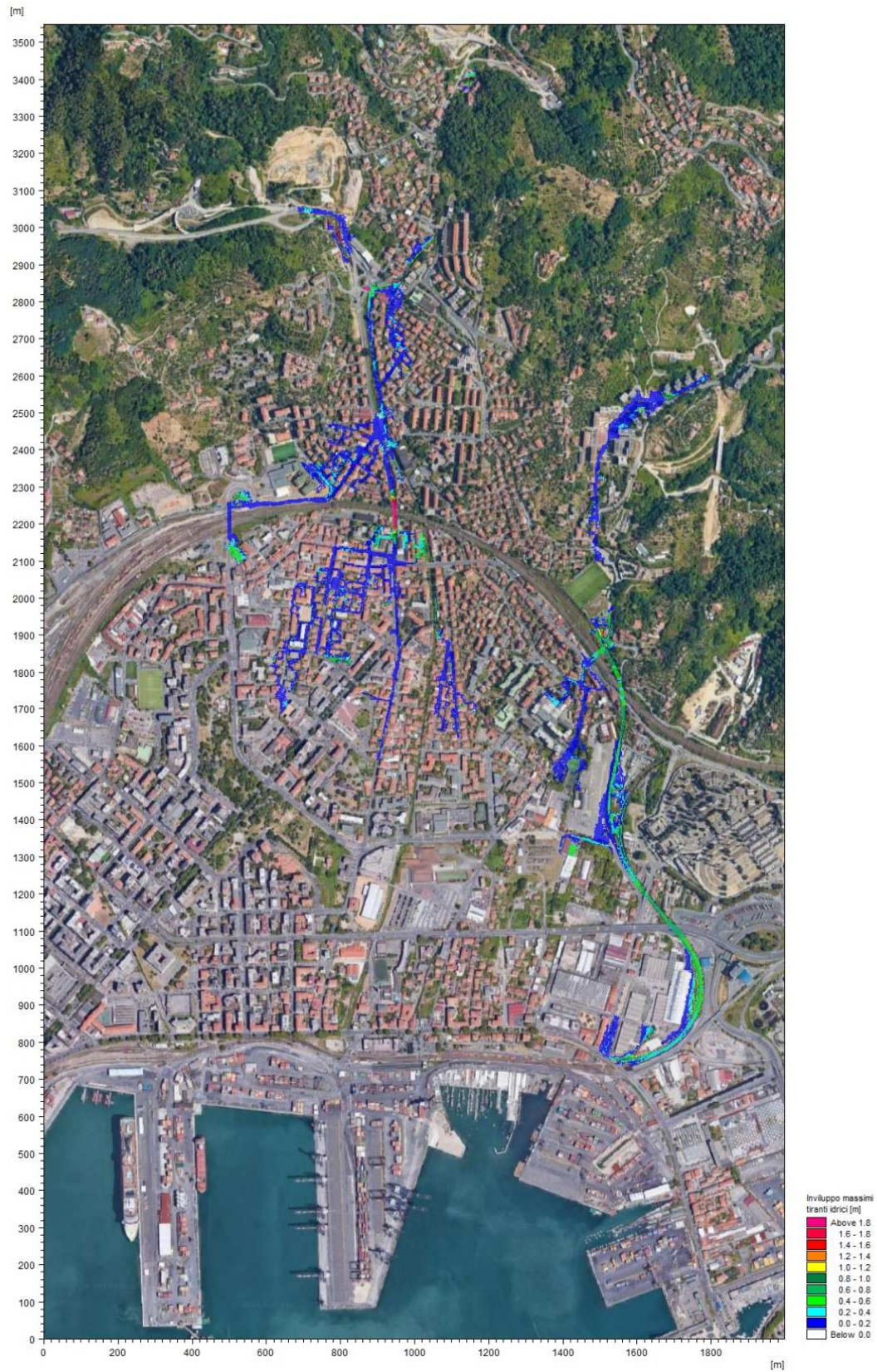


Figura 35 – Distribuzione involucro delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna. TR=50 anni.

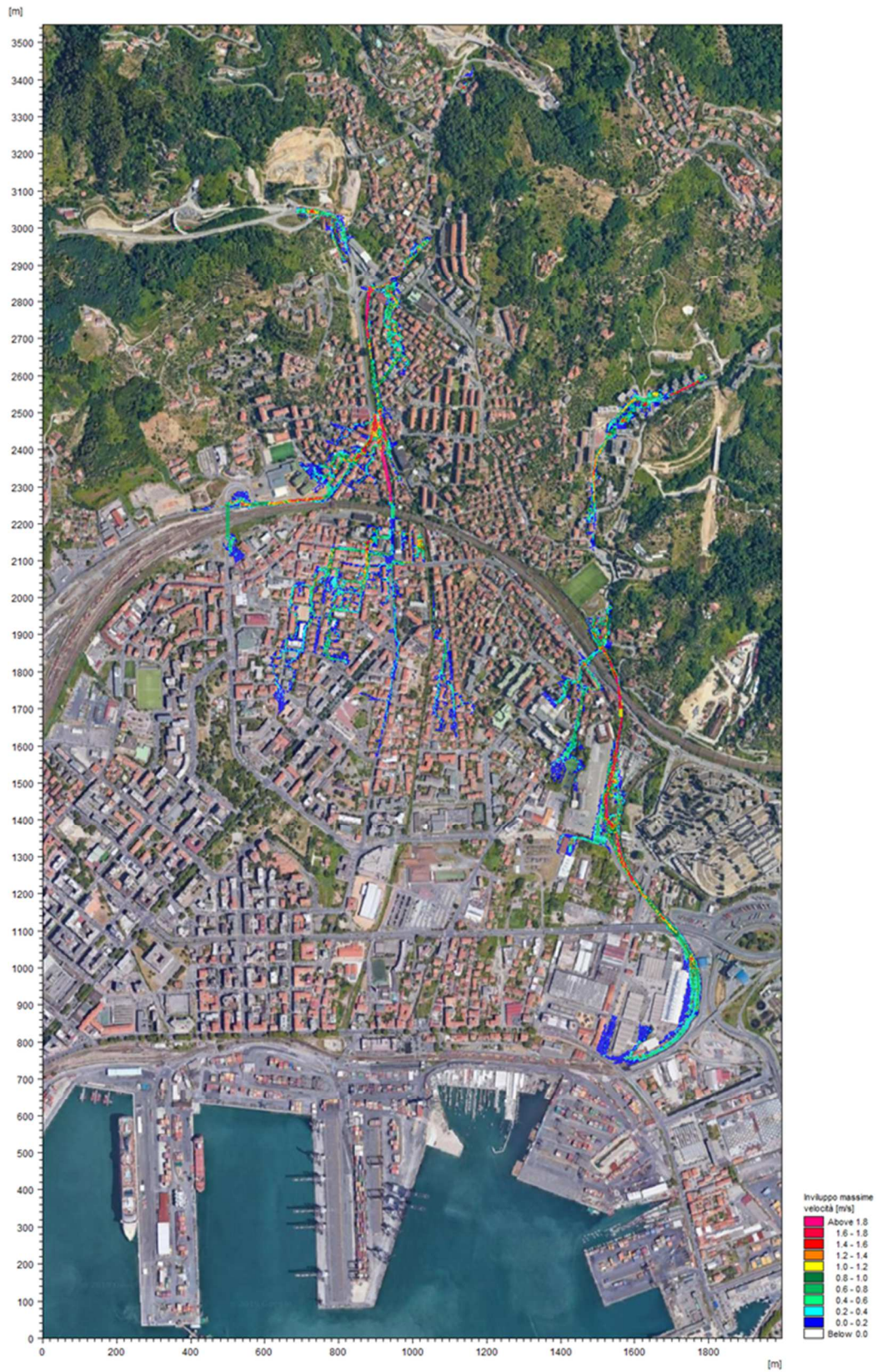


Figura 36 – Distribuzione involpo delle massime velocità di flusso. TR=50 anni.

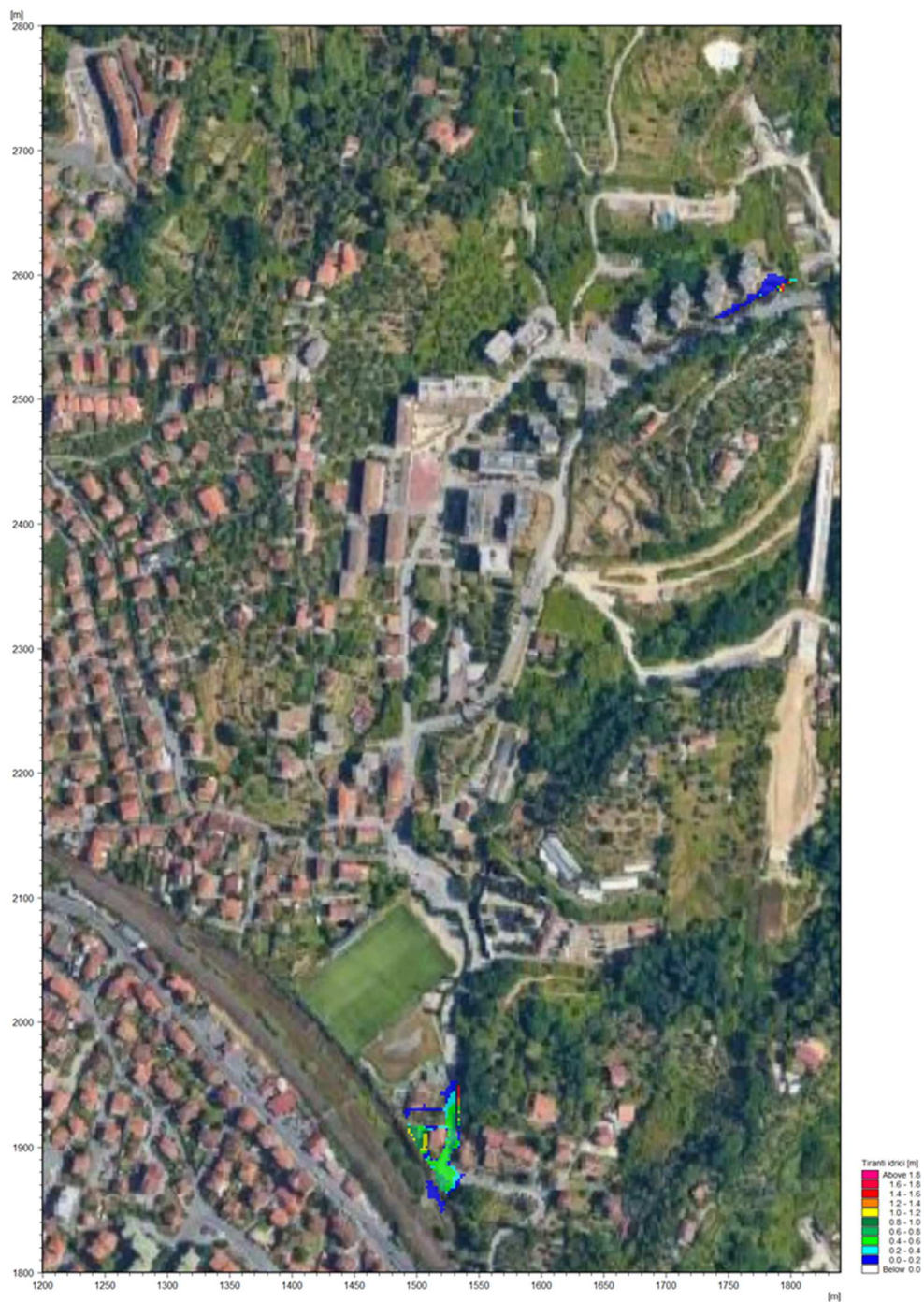


Figura 37 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:52 dell’evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 13). L’area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del torrente Vecchia Dorgia.



Figura 38 – 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 di Figura 13). L'area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del Torrente Vecchia Dorgia.



Figura 39 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:10 dell’evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 13). L’area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del Torrente Vecchia Dorgia.

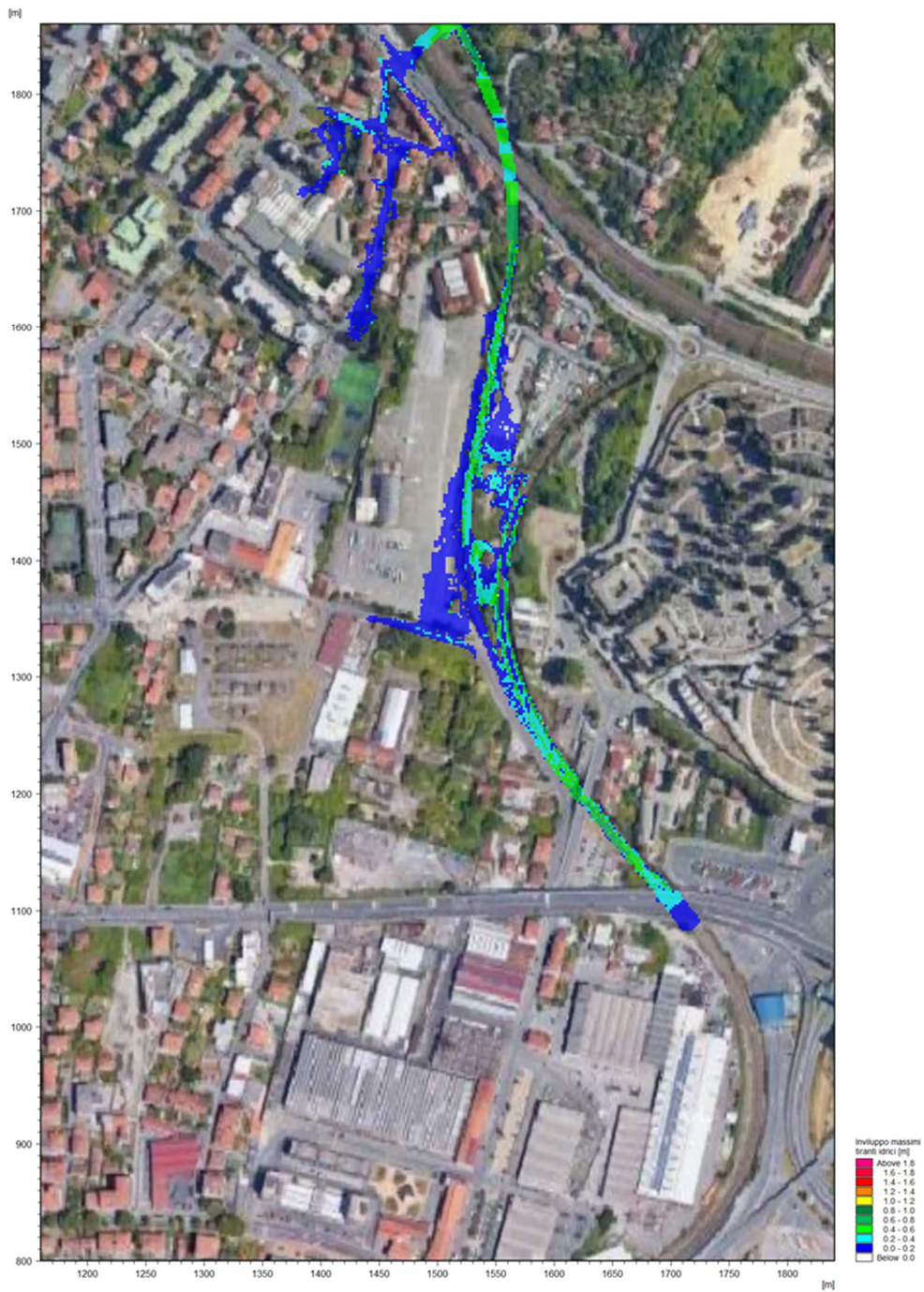


Figura 40 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:10 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 13). L'area rappresentata è relativa al tratto a valle della ferrovia del Torrente Vecchia Dorgia.

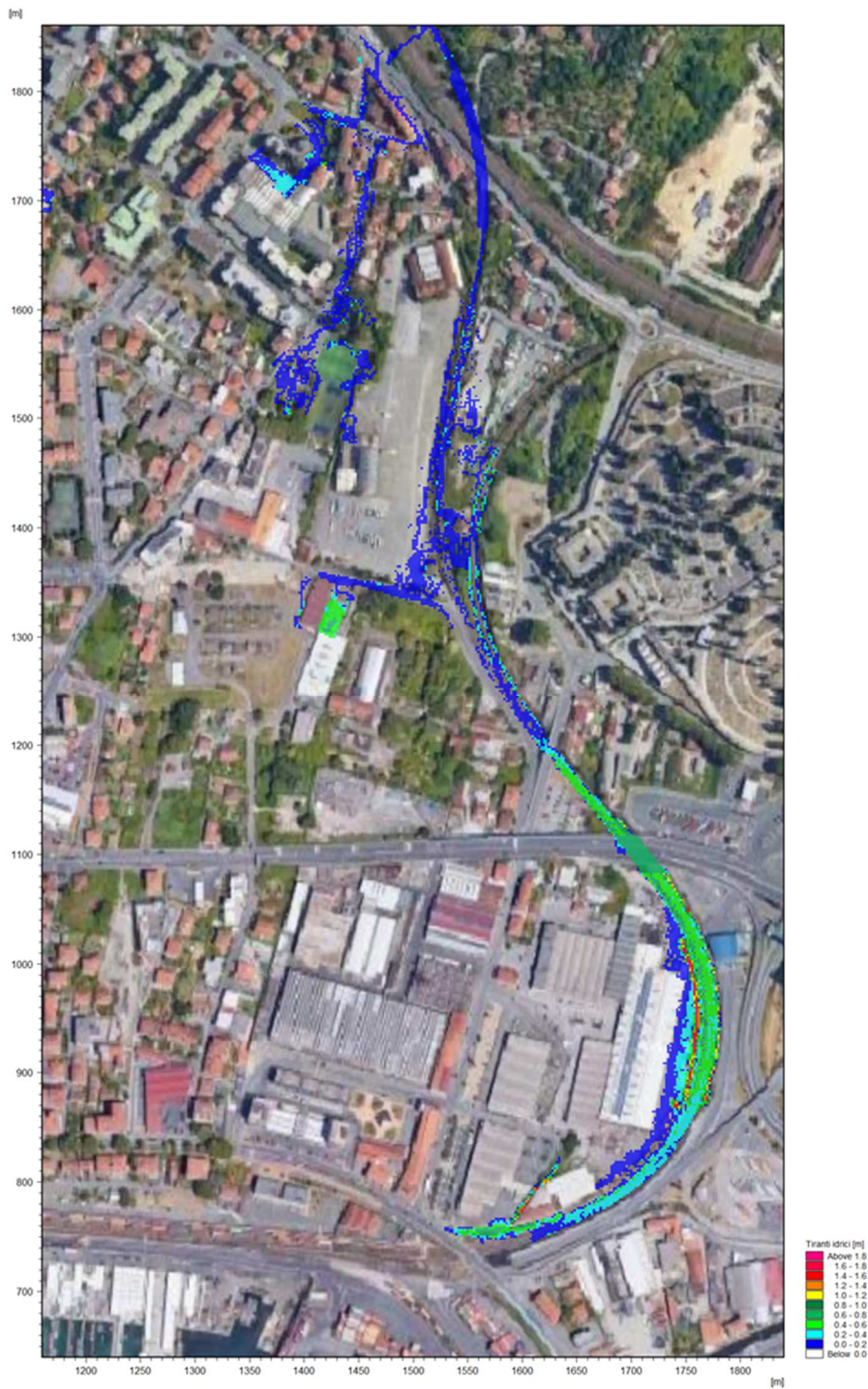


Figura 41 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:40 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 13). L'area rappresentata è relativa al tratto a valle della ferrovia del Torrente Vecchia Dorgia.

La portata afferente al sedime ferroviario si propaga ulteriormente verso valle lungo due vie preferenziali.

- In direzione Sud-Est proseguendo lungo la linea ferroviaria a quota inferiore, che imbocca una galleria sottopassando la via Aurelia e proseguendo in direzione Sud.
La portata, inizialmente contenuta dalla sede ferroviaria, a valle galleria si propaga in sponda sinistra interessando un'area di rimessaggio automezzi e imbarcazioni e allagando anche una porzione della linea proveniente da levante, che si congiunge alla precedente in prossimità del sovrappasso di via del Molo. Il piazzale posto in destra è posto a quota maggiore e non viene allagato; si rileva unicamente una limitata esondazione sul lato di valle dello stesso, che si propaga lungo via Maralunga in direzione Ovest, con tiranti dell'ordine dei 10 cm, contenuta dai muri continui che delimitano la strada, fino a invasarsi in una zona depressa entro l'adiacente area industriale, alla quale accede mediante il varco costituito dal cancello di entrata che interrompe il muro.
La portata defluente lungo la ferrovia ne allaga la sede fino circa in corrispondenza del viadotto di viale S.Bartolomeo, dove il flusso residuo si propaga in destra interessando una porzione dell'area industriale compresa tra via Fossamastra e via del Molo.
- In direzione Sud-Ovest all'interno del sottopasso che sbocca sulla via Aurelia, interessandone la carreggiata per un breve tratto e proseguendo verso valle lungo il passaggio ribassato verso via Pianta. Di qui si ha propagazione lungo il primo tratto di via Sardegna, fino all'area artigianale (officina), e lungo via Pianta fino all'altezza dei campi sportivi, ovunque con altezze d'acqua assai modeste (dell'ordine della decina di centimetri).

5.4.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

In Figura 42 e Figura 43 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. Sono rappresentate sia le aree di esondazione del torrente Vecchia Dorgia che quelle del torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

La simulazione dell'evento duecentennale mostra una sostanziale sovrapposibilità con i risultati delle simulazioni precedenti ad eccezione della maggiore entità in termini di valori dei tiranti idrici e dell'aumento dell'estensione delle aree bagnate.

Valgono in generale le medesime osservazioni già esposte per l'evento TR50 in merito alle dinamiche di propagazione delle esondazioni; si riscontra in particolare quanto segue:

- a monte della ferrovia un interessamento delle esondazioni anche del tratto di monte di Salita Castelvecchio;
- un più diffuso allagamento delle aree a valle di via della Pieve fino al sedime ferroviario e una maggiore entità delle portate che afferiscono a quest'ultimo;
- le portate che si propagano verso Sud-Ovest all'interno del sottopasso proseguono maggiormente verso valle congiungendosi con quelle che defluiscono lungo via Maralunga; il flusso totale prosegue quindi lungo via privata Cieli fino a lambire via Carducci;
- le portate che si propagano lungo la ferrovia allagano maggiormente le aree adiacenti a via Fossamastra e via del Molo; inoltre si propagano anche a Est della ferrovia con sversamento di portata all'interno della galleria subalvea in corrispondenza dell'imbocco di quest'ultima a monte di viale S.Bartolomeo.

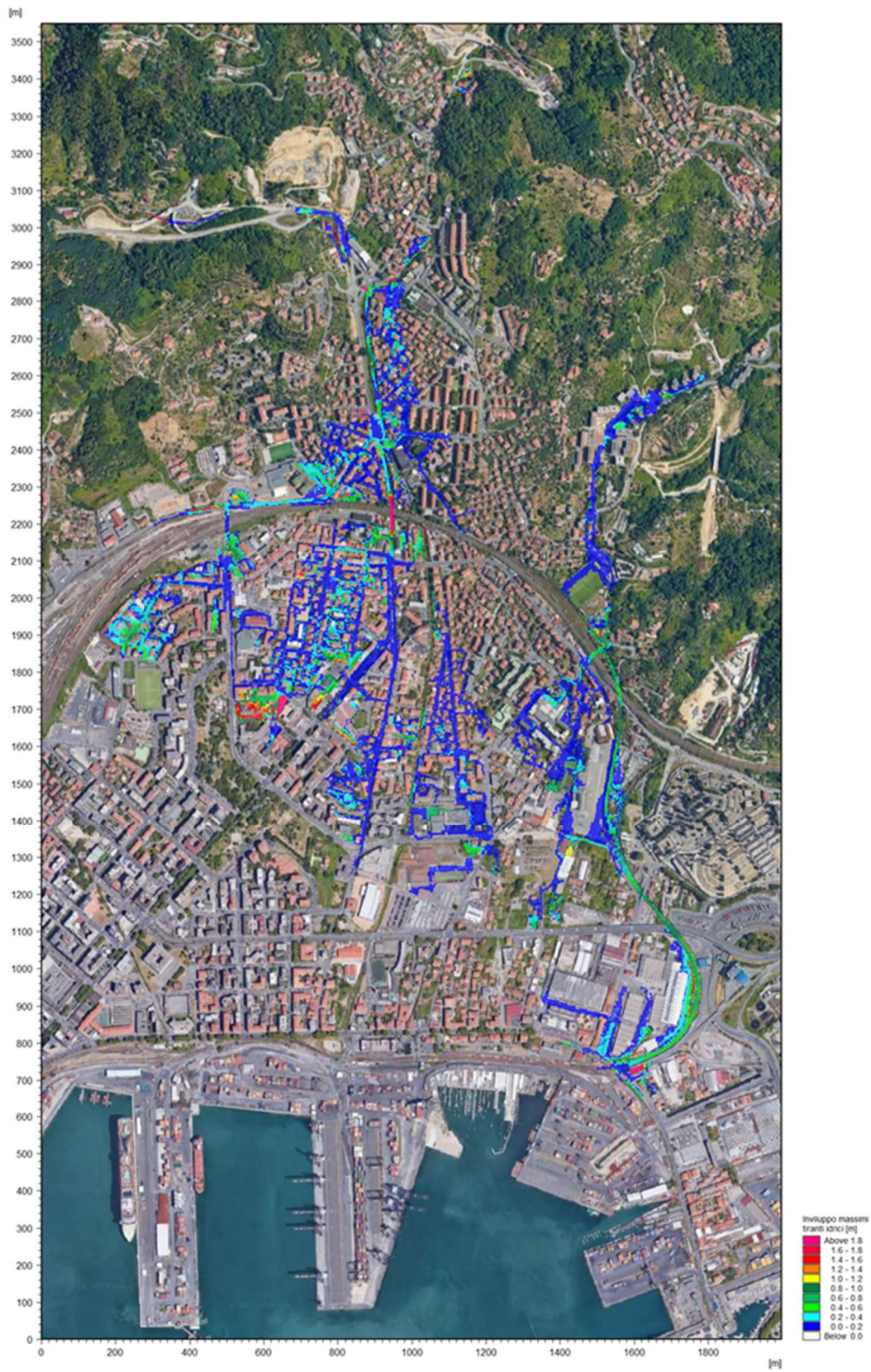


Figura 42 – Distribuzione involucro delle massime altezze idriche rispetto al piano campagna. TR=200 anni.

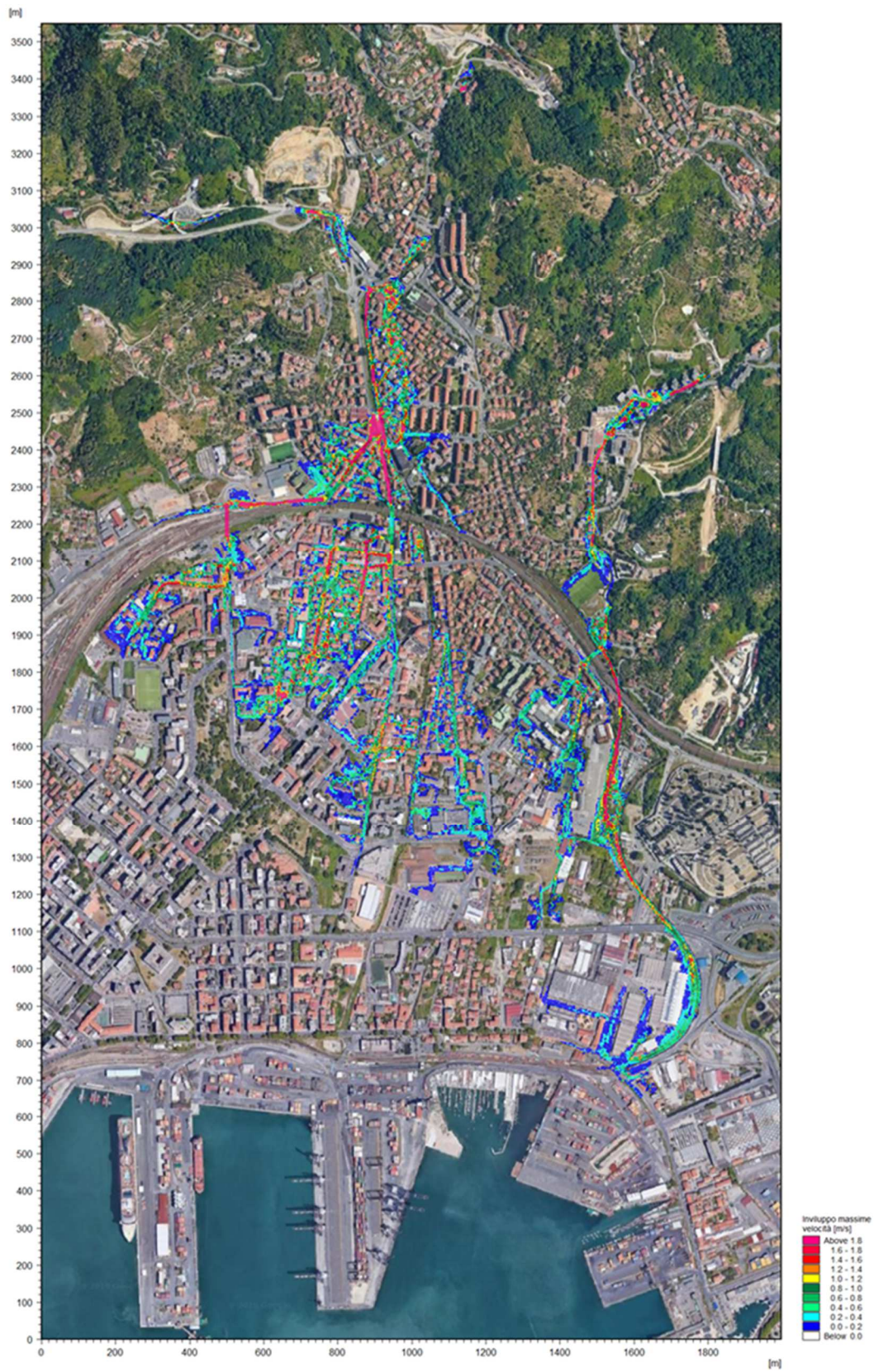


Figura 43 – Distribuzione involucro delle massime velocità. TR=200 anni.

5.4.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

In Figura 44 e Figura 45 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. Sono rappresentate sia le aree di esondazione del torrente Vecchia Dorgia che quelle del torrente Nuova Dorgia.

La simulazione dell'evento TR500 mostra una sostanziale sovrapposibilità con i risultati delle simulazioni precedenti ad eccezione della maggiore entità in termini di valori dei tiranti idrici e dell'aumento dell'estensione delle aree bagnate.

Valgono in generale le medesime osservazioni già esposte per gli eventi TR50 e TR200 in merito alle dinamiche di propagazione delle esondazioni; si riscontra in particolare quanto segue:

- un più diffuso allagamento delle aree comprese tra via Sardegna e via della Pieve;
- la propagazione anche in sponda destra delle acque che si propagano lungo la linea ferroviaria, con esondazione sul piazzale a monte di via Maralunga;
- una maggiore estensione degli allagamenti lungo via Fossamastra e via del Molo;
- la prosecuzione dell'allagamento del sedime ferroviario anche a valle del viadotto di viale S.Bartolomeo;
- una maggiore estensione degli allagamenti a Est della ferrovia, lungo viale S.Bartolomeo e aree limitrofe.

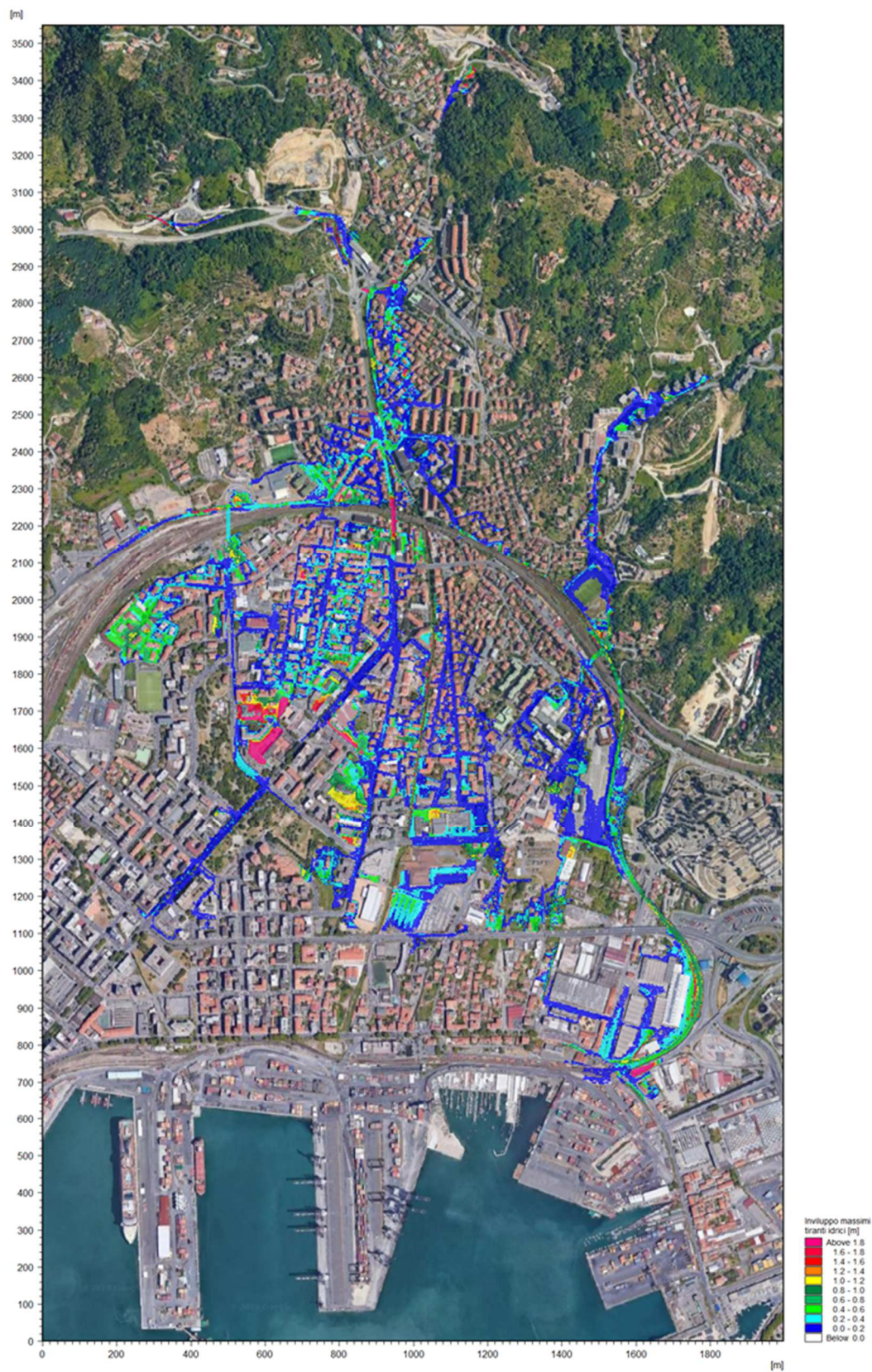


Figura 44 – Distribuzione inviluppo dei massimi tiranti idrici rispetto al piano campagna. TR=500 anni.

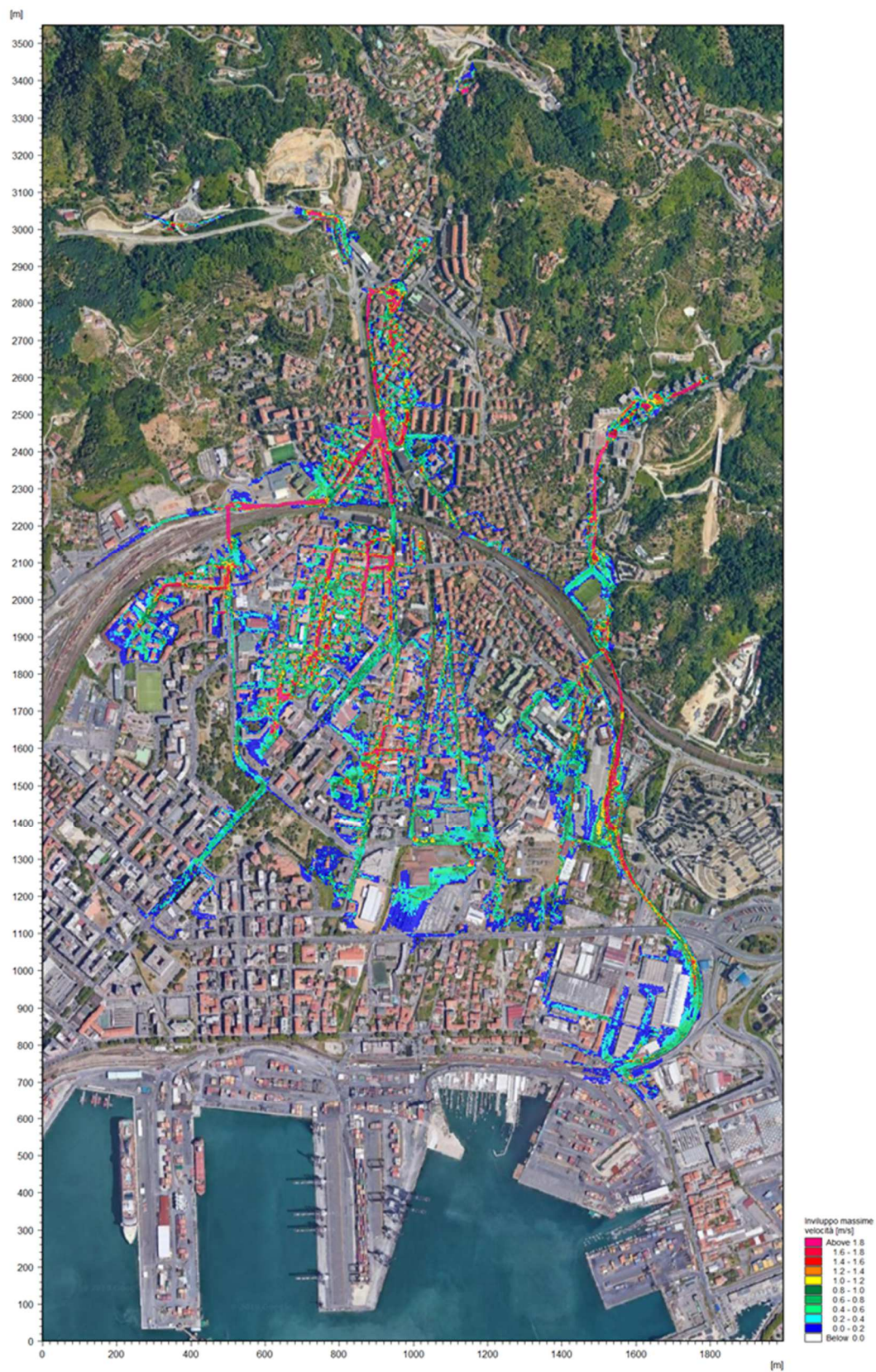


Figura 45 – Distribuzione inviluppo delle massime velocità. TR=500 anni.

5.5 Risultati delle simulazioni MIKE 21: torrente Nuova Dorgia

5.5.1 Scenario TR50 (tempo di ritorno 50 anni)

In Figura 35 e Figura 36 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 35 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 36 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.

Il torrente Nuova Dorgia e il suo affluente Fosso Buonviaggio determinano esondazioni significativamente estese nell'area cittadina.

La dinamica delle esondazioni per alcuni tratti significativi a monte della ferrovia viene descritta in Figura 47, Figura 48 e Figura 49.

- Sul Fosso Buonviaggio il deflusso in pressione nella tombinatura terminale (ND_B_C1, ND_B_C2, ND_B_C3), dovuto alla modesta capacità di smaltimento di portata delle tre tubazioni di diametro 1,0 m, induce un profilo di rigurgito a monte che provoca esondazioni in sponda destra e sinistra, fino a monte dell'attraversamento ND_B_P4 (SEZB_20).
- La portata esondata dal Fosso Buonviaggio si propaga per ruscellamento superficiale secondo la pendenza del terreno, allagando l'area residenziale tra via Magra e via Dorgia e ruscellando lungo via Dorgia, in sinistra al torrente Nuova Dorgia.
- A valle del ponte ND_P5 anche il torrente Nuova Dorgia presenta alcuni tratti in cui il livello idrico supera la sponda sinistra, producendo delle esondazioni che vanno a sommarsi a quelle del Fosso Buonviaggio. Nello specifico, come descritto nel capitolo 5.2, tali esondazioni sono condizionate dall'effetto di rigurgito prodotto dall'imbocco della tombinatura ND_C1 (area precedentemente interessata dalla presenza di un distributore di carburanti). La portata defluisce al di sopra della copertura, verso Sud, incanalandosi lungo la via Aurelia e allagando le aree residenziali limitrofe.
- Dalla via Aurelia il flusso si suddivide lungo due direttrici:
 - Via Buonviaggio – via Fontevivo, propagandosi verso Ovest lungo la linea ferroviaria, raggiungendo e allagando il sottopasso stradale verso Corso Nazionale, ma senza propagarsi oltre in direzione Sud;
 - Via Aurelia – via del Canaletto, oltrepassando la ferrovia (allagando il relativo sottopasso) e propagandosi verso Sud, sommandosi alle portate esondate in destra a valle della ferrovia, fino a raggiungere via Bragarina, allagando le aree poste a Ovest dell'asse di scorrimento (tra via Stradone Doria, viale Italia e via del Canaletto).

La dinamica dell'esondazione delle aree in destra idrografica del torrente Nuova Dorgia a valle della ferrovia viene descritta in particolare in Figura 50 e Figura 51.

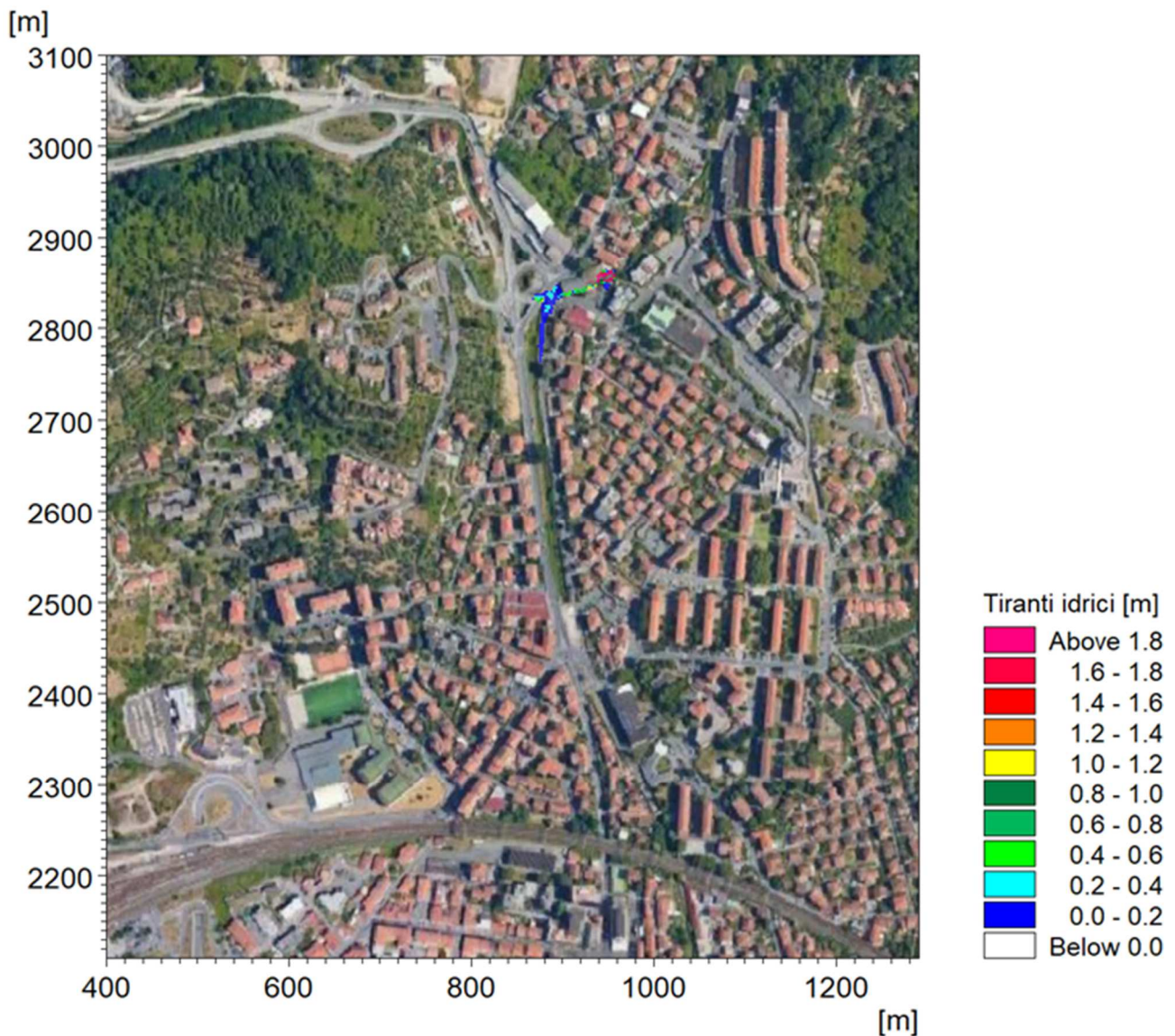


Figura 46 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:26 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 23). L'area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del Torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

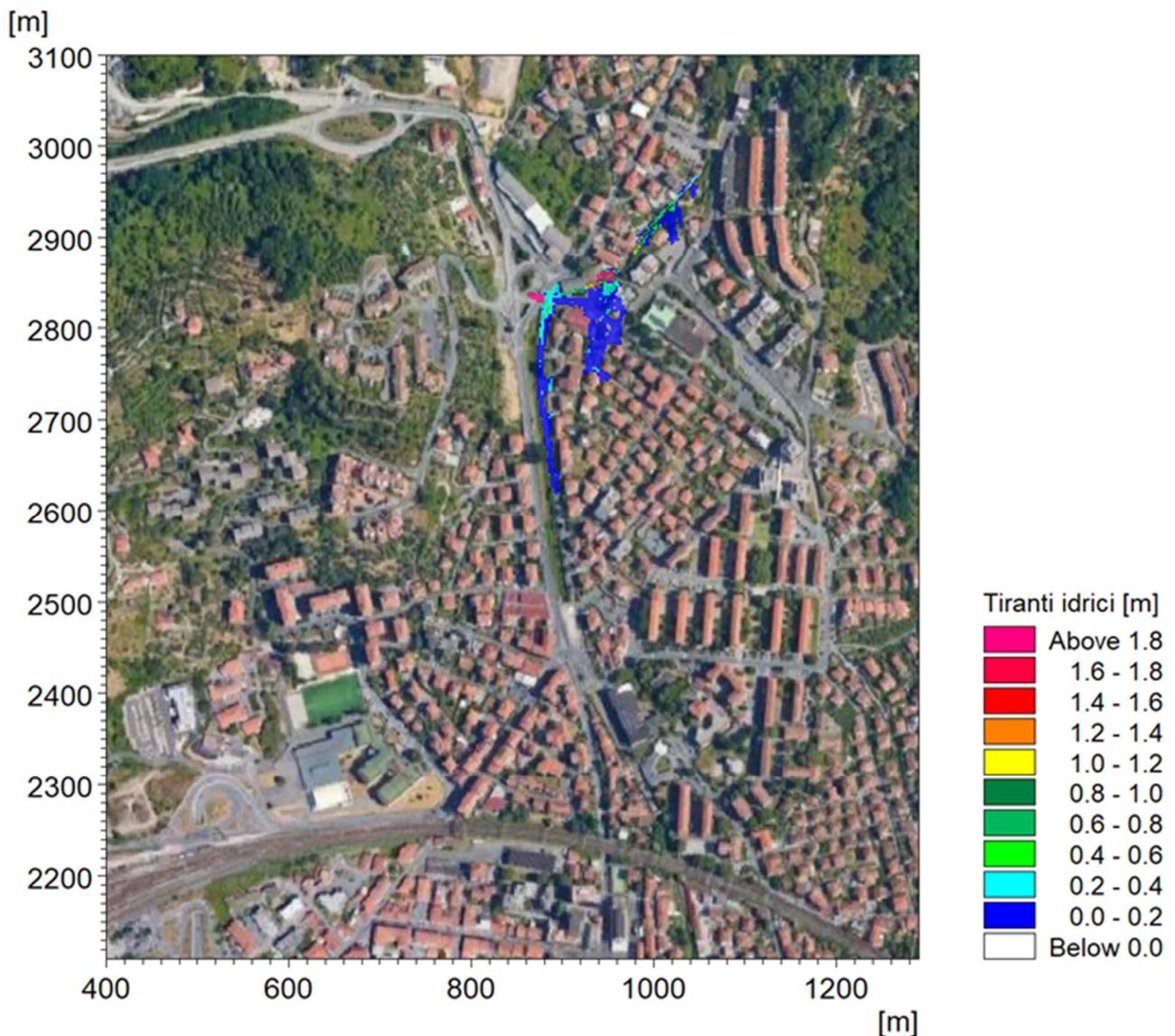


Figura 47 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:30 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 23). L'area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del Torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

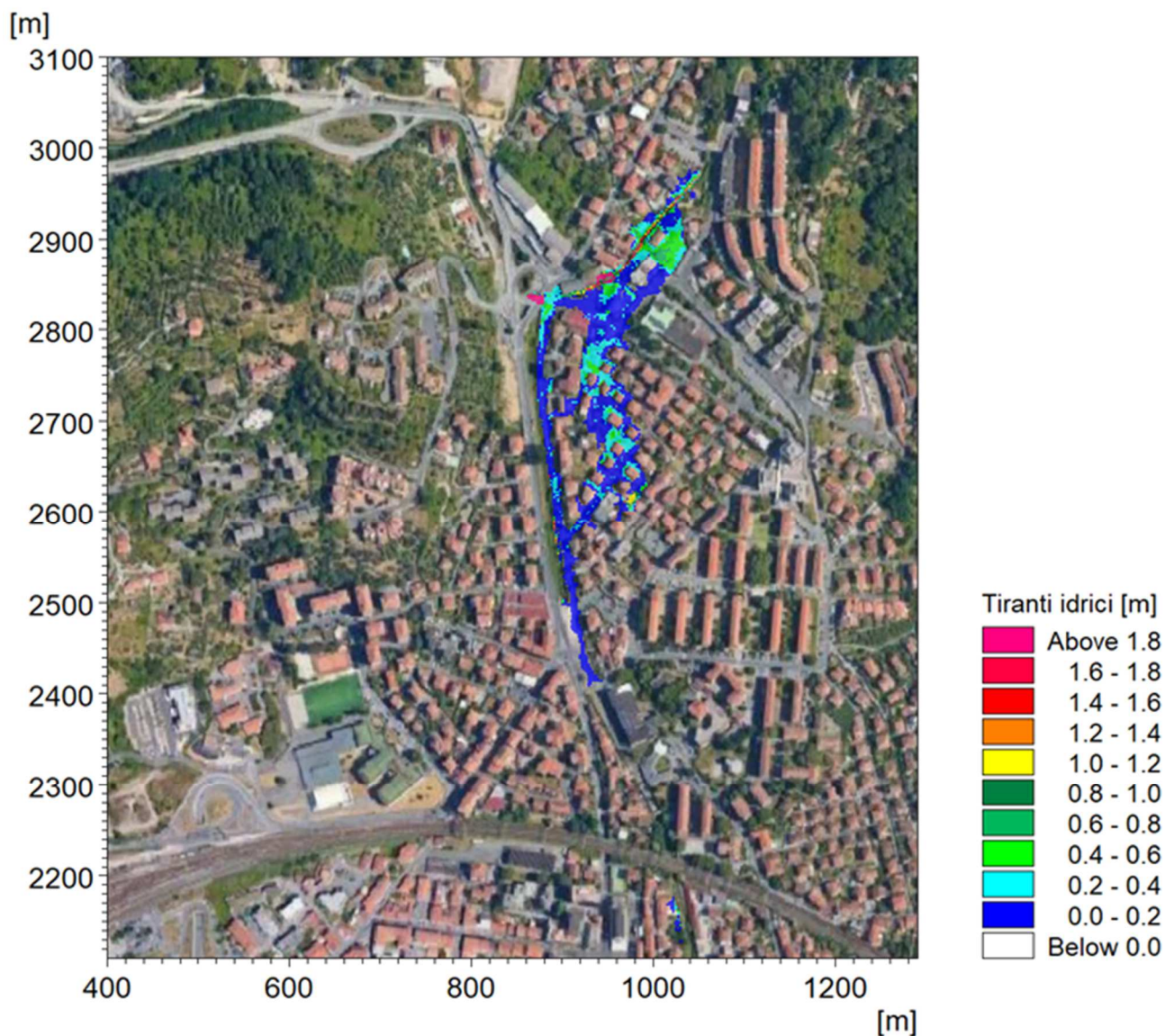


Figura 48 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:38 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 23). L'area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del Torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

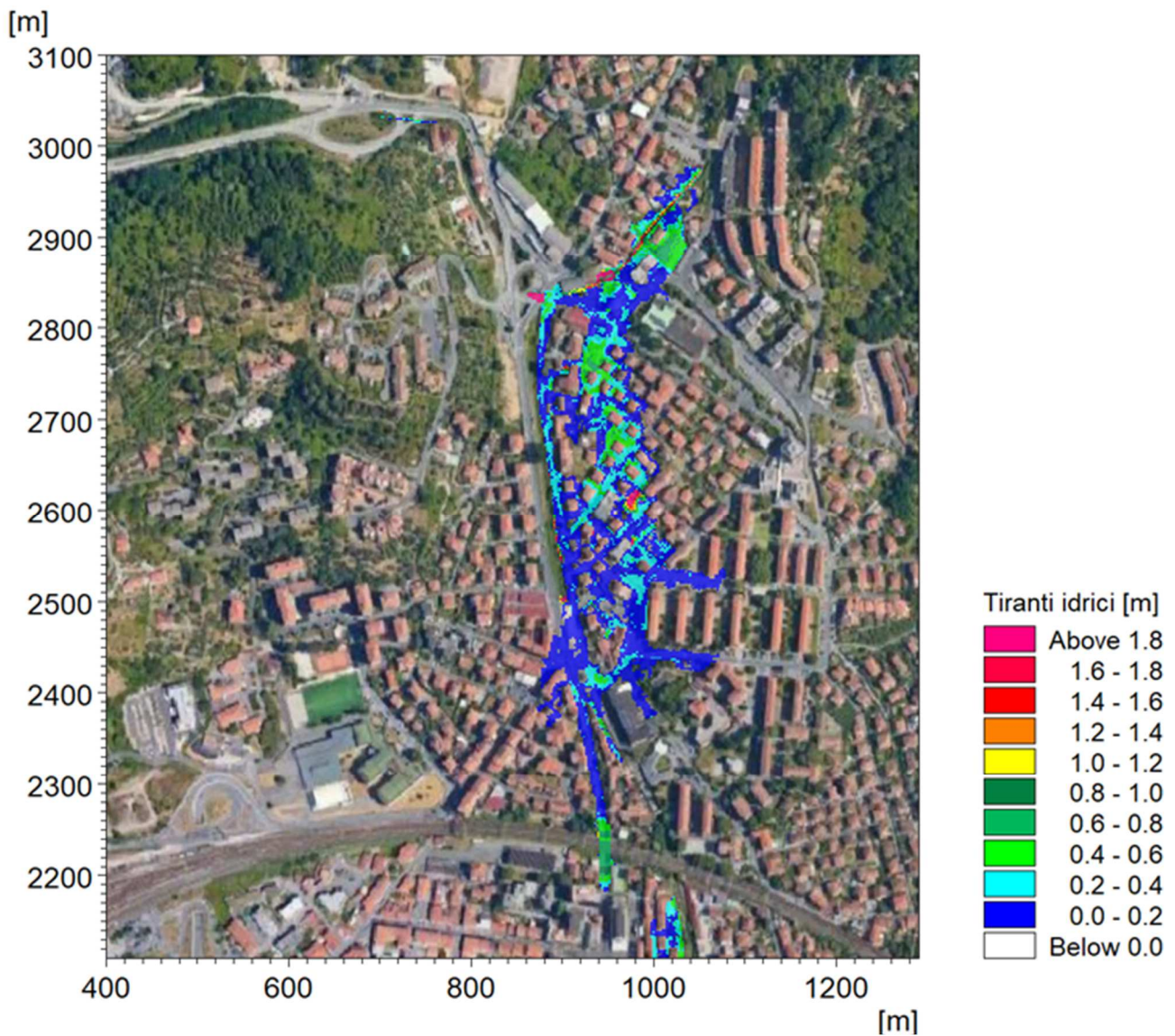


Figura 49 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:50 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 23). L'area rappresentata è relativa al tratto a monte della ferrovia del Torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

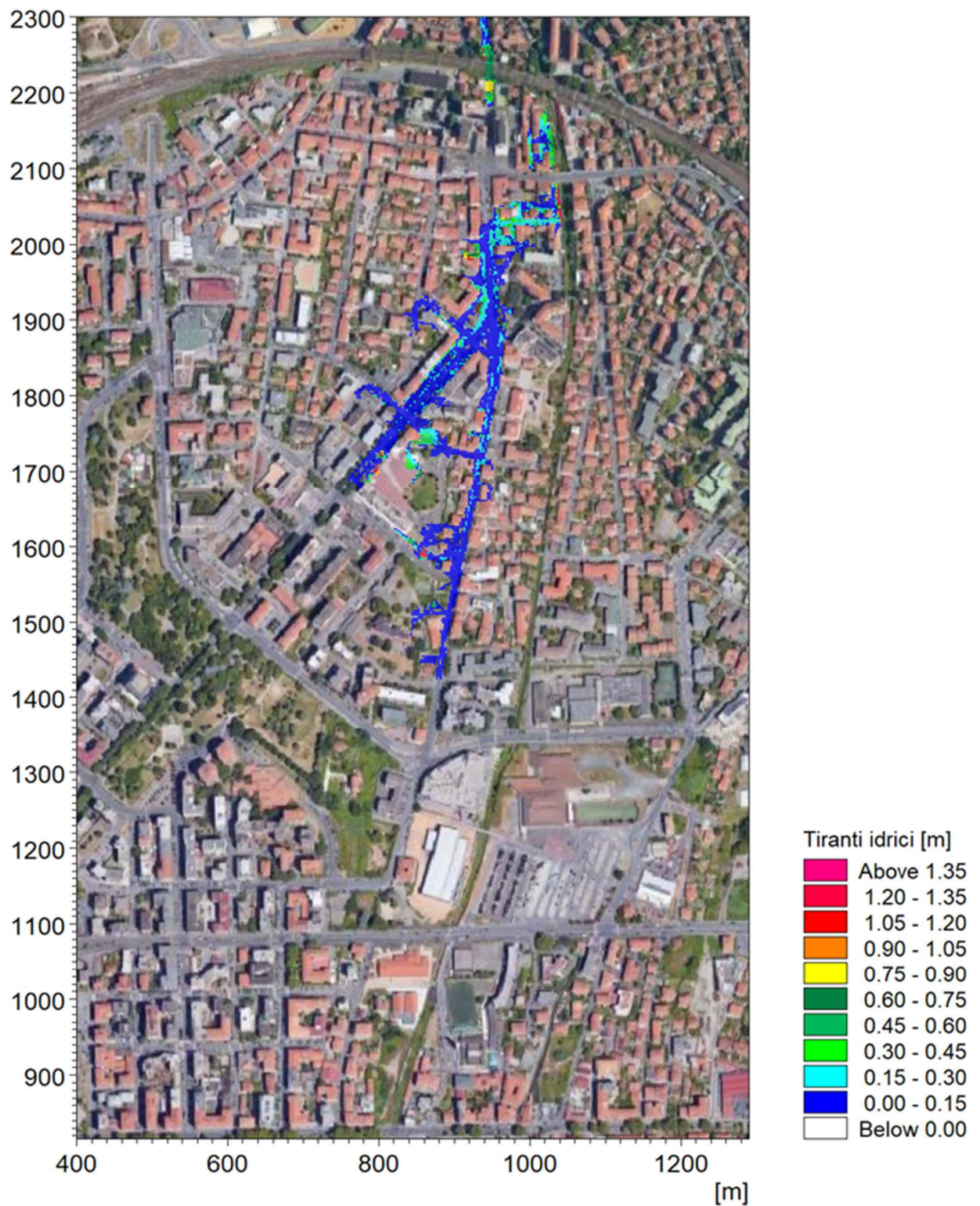


Figura 50 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 04:50 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 23). L'area rappresentata è relativa al tratto a valle della ferrovia del Torrente Nuova Dorgia.

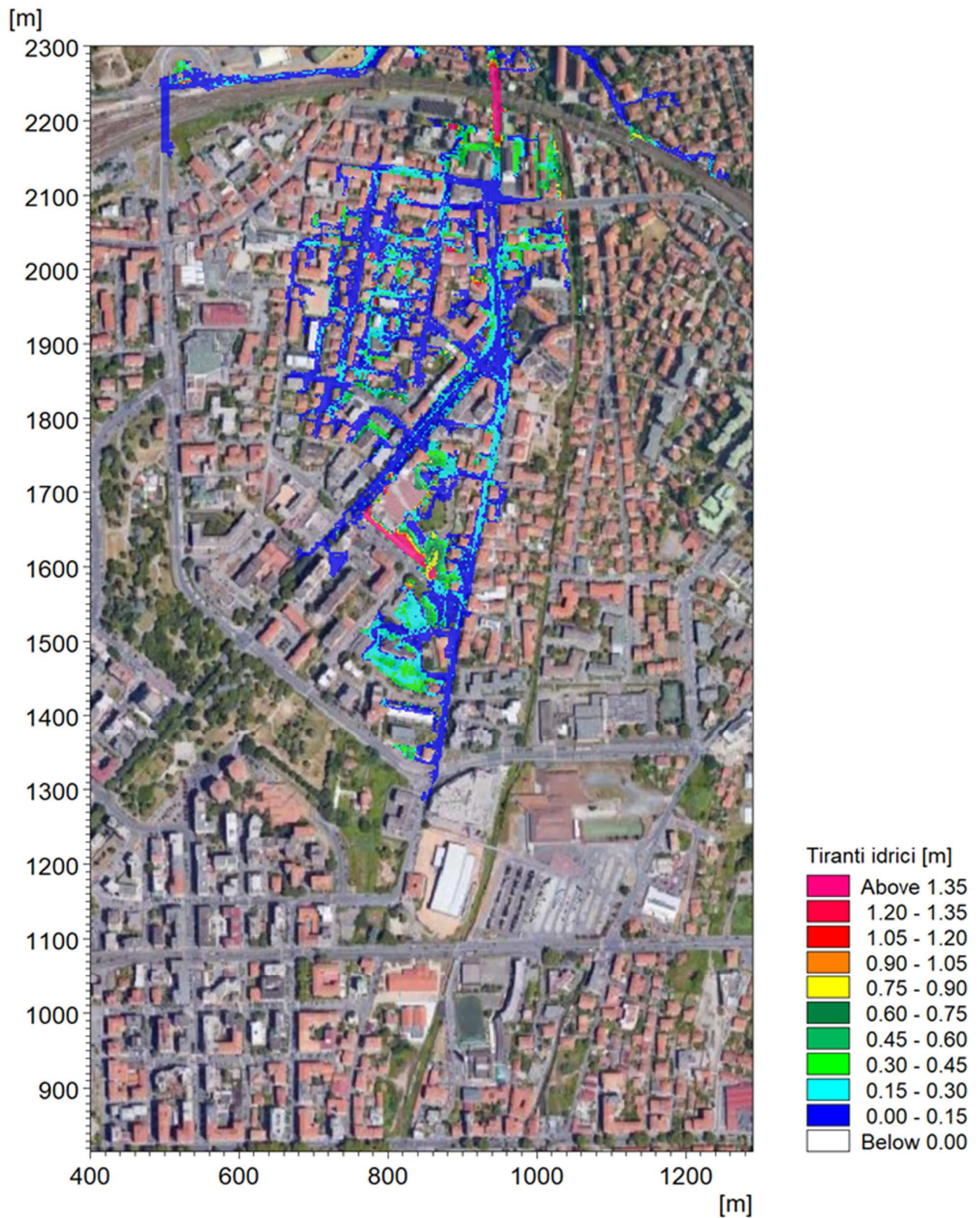


Figura 51 – Distribuzione delle altezze idriche rispetto al piano campagna alle ore 05:18 dell'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni (vedi idrogramma di Figura 23). L'area rappresentata è relativa al tratto a valle della ferrovia del Torrente Nuova Dorgia.

5.5.2 Scenario TR200 (tempo di ritorno 200 anni)

In Figura 42 e Figura 43 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. Sono rappresentate sia le aree di esondazione del torrente Vecchia Dorgia che quelle del torrente Nuova Dorgia.

La simulazione dell'evento duecentennale mostra una sostanziale analogia con i risultati delle simulazioni precedenti ma la maggiore entità in termini di valori dei tiranti idrici induce un conseguente aumento dell'estensione delle aree bagnate (Figura 42).

Il flusso che raggiunge e allaga il sottopasso stradale di collegamento tra via Fontevivo e Corso Nazionale si propaga ulteriormente in direzione Sud fino a raggiungere via Bologna e via Ravenna.

La portata esondata che proviene da Via Aurelia e prosegue su via del Canaletto, dopo aver attraversato la ferrovia, si propaga verso Sud sommandosi alle portate esondate lungo il tratto di corso d'acqua a valle della ferrovia fino ad interessare quasi interamente l'area delimitata a monte di Corso Nazionale e Via Federici.

5.5.3 Scenario TR500 (tempo di ritorno 500 anni)

In Figura 44 e Figura 45 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. Sono rappresentate sia le aree di esondazione del torrente Vecchia Dorgia che quelle del torrente Nuova Dorgia.

La simulazione dell'evento cinquecentennale mostra nel tratto di valle del Fosso Buonviaggio una sostanziale sovrapposibilità con i risultati delle simulazioni per lo scenario TR200, ad eccezione della maggiore entità in termini di valori dei tiranti idrici con un lieve aumento delle aree bagnate. A valle della ferrovia l'area di esondazione arriva a lambire Via Carducci. Nel tratto di monte invece l'aumento di portata, rispetto alle simulazioni precedenti, induce un maggiore aumento dell'area bagnata nell'area depressa in cui si sviluppa l'alveo a monte della copertura ND_B_P1 che attraversa un fabbricato a uso residenziale.

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) lungo l'asta fluviale del torrente Nuova Dorgia in corrispondenza del tratto tombinato che si trova subito a monte della ferrovia. In fascia B è rappresentato quasi l'intero tratto del torrente Nuova Dorgia, ad eccezione del tratto più a monte parallelo a via del Forno e il tratto subito a valle della confluenza con il Fosso Buonviaggio che non rientrano nella

perimetrazione del PAI. Risulta in Fascia C l'area in sponda sinistra a monte della confluenza del Fosso Buonviaggio.

L'area del torrente Vecchia Dorgia interessata da fascia A è quella subito a monte della ferrovia, in sponda sinistra, che si trova subito a valle di un'area in fascia B. Più estesa risulta la perimetrazione in fascia B nel tratto terminale della Vecchia Dorgia, a valle di via C.A. Federici.

Nel presente studio è stata condotta un'analisi idrodinamica di dettaglio con simulazioni che considerano contemporaneamente i corsi d'acqua Vecchia Dorgia e Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio, interessati dal deflusso di eventi di piena con pari tempo di ritorno.

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.

In Figura 52 e negli elaborati grafici annessi (codice 3636-04-01100) è rappresentata l'estensione delle fasce A, B e C proposte per il torrente Vecchia Dorgia e per il torrente Nuova Dorgia con il suo affluente Buonviaggio. Per immediato riscontro delle variazioni introdotte rispetto alle perimetrazioni del vigente PdB, si riporta in Figura 53 una sovrapposizione di queste ultime con gli ambiti di pericolosità definiti dal presente studio (rappresentati in colore nero). Si precisa come l'immagine estratta dal PdB includa anche le fasce fluviali associate ai rii Rossano e Cappelletto.

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, sia a monte che a valle della ferrovia. Gli allagamenti interessano anche la stessa sede ferroviaria (per il ramo a servizio dell'area portuale), con allagamento delle aree prospicienti l'alveo del rio Melara.

Si riscontra al contempo una riduzione dell'attuale fascia B nel tratto di valle del torrente Nuova Dorgia, dove le aree di esondazione non si estendono oltre via Carducci, grazie alle sistemazioni idrauliche realizzate nel tratto terminale.

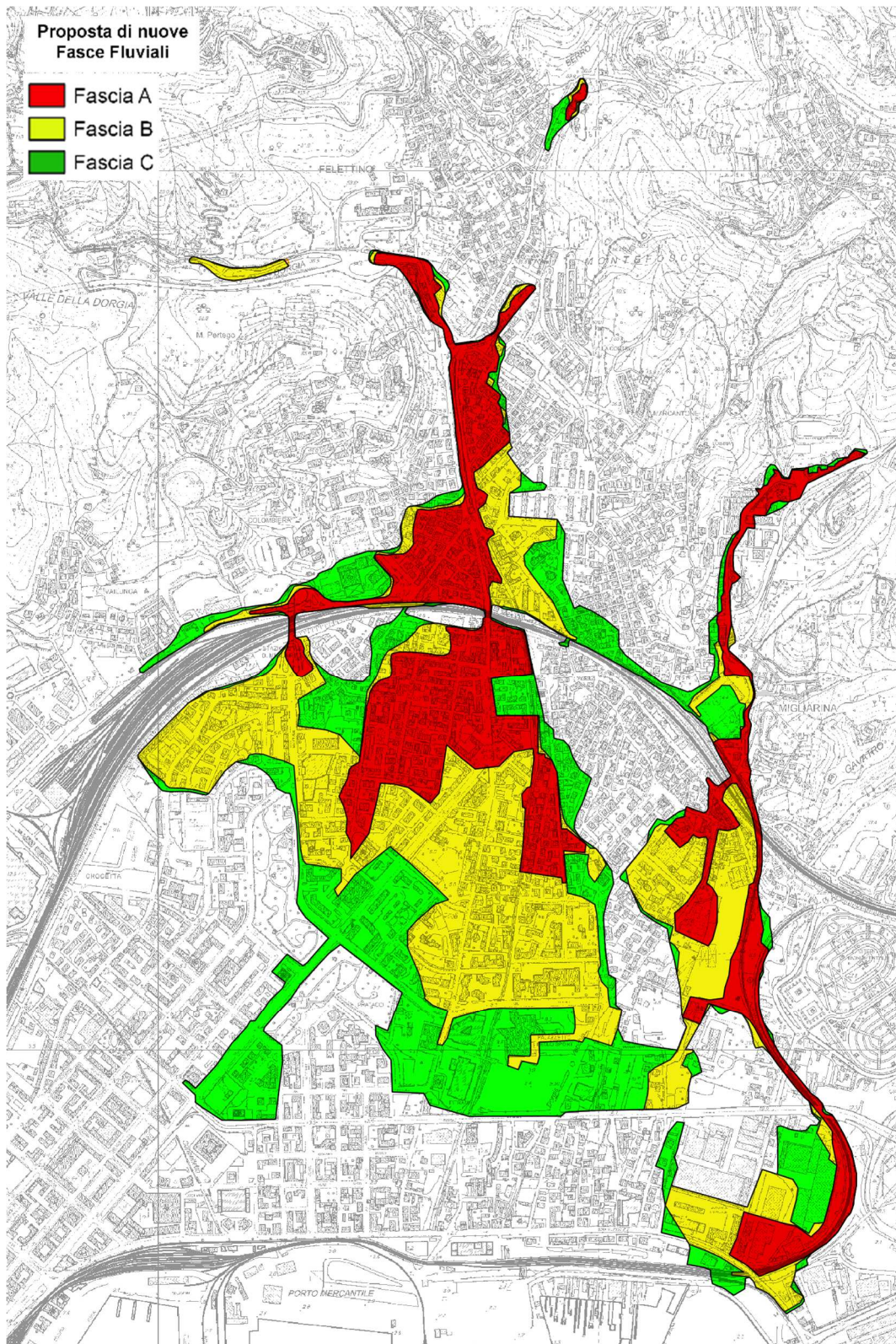


Figura 52 – Estensione delle fasce A, B e C proposte per il torrente Vecchia Dorgia e per il torrente Nuova Dorgia con l’affluente Fosso Buonviaggio.

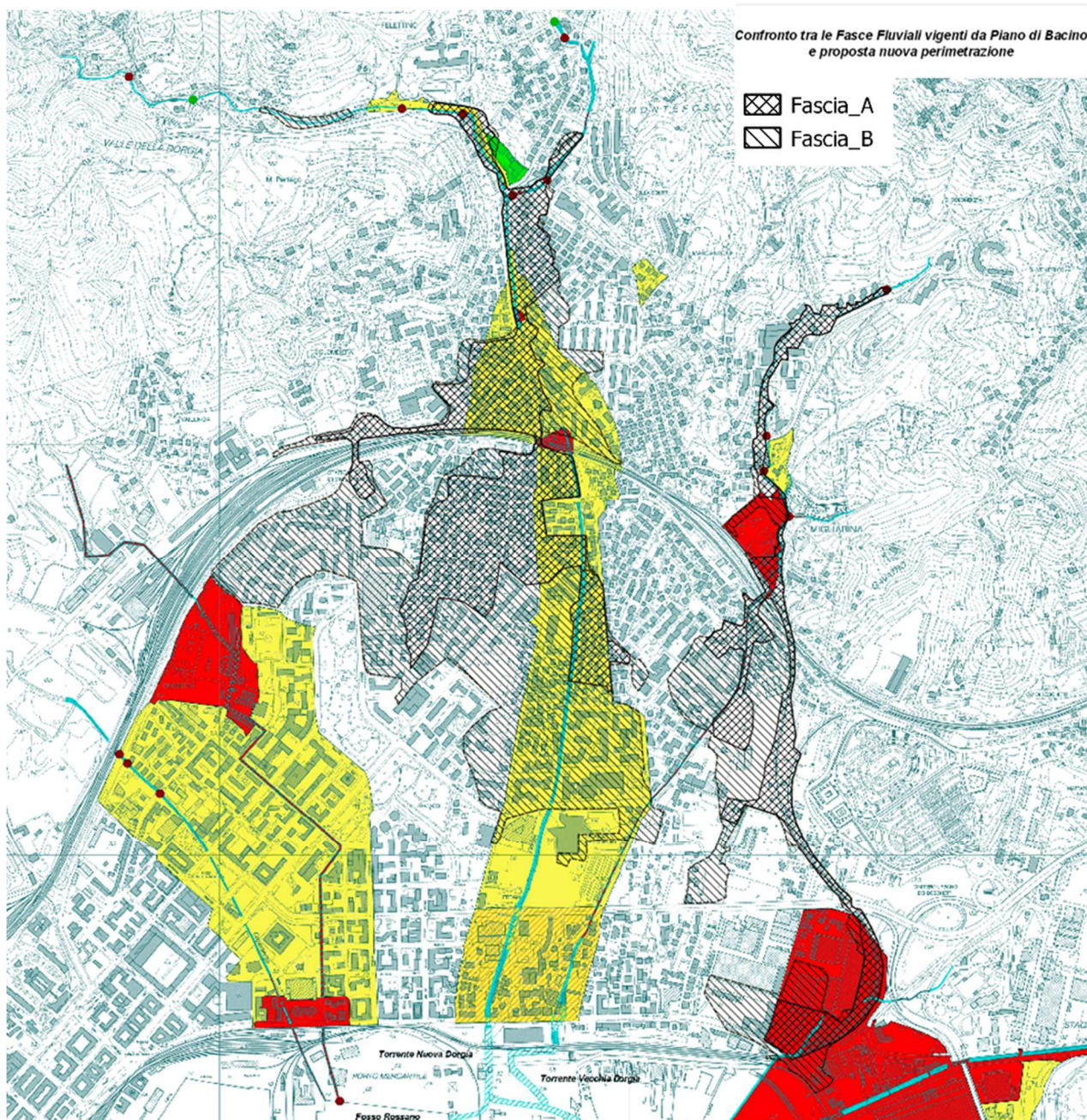


Figura 53 – Confronto tra le Fasce Fluviali vigenti da Piano di Bacino e la proposta di nuova perimetrazione.

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 torrenti.

Per il torrente Vecchia Dorgia, come descritto in maggior dettaglio nei capitoli precedenti, le esondazioni riguardano prevalentemente il tratto a monte della ferrovia. Nello specifico il sormonto delle sponde durante l'evento di piena interessa il tratto a cielo aperto a monte dell'imbocco della tombinatura VD_C1, dove il corso

d'acqua è interferito dal cantiere ANAS per la realizzazione della variante alla S.S.1 Aurelia, e il tratto di tombinatura tra il ponticello di attraversamento VD_P4 per l'accesso al cimitero e l'imbocco della tombinatura VD_C2 (Figura 54).

La portata esondata nel tratto di monte del torrente Vecchia Dorgia segue due vie preferenziali di propagazione al di sotto dell'attraversamento ferroviario. Si tratta del sottopasso di Via della Pieve e della linea ferroviaria che imbecca una galleria verso Sud Est.



Figura 54 – Vista da valle del ponticello di attraversamento VD_P4 per accesso al cimitero(sx) e l'imbocco della tombinatura VD_C2 (dx).

I tratti che risultano maggiormente critici per quanto riguarda le esondazioni del torrente Nuova Dorgia sono:

- il tratto a monte della tombinatura ND_C1, area originariamente interessata dalla presenza di un distributore di carburanti, la cui portata esondata si incanala lungo via Aurelia che diventa quindi la via preferenziale di deflusso della portata esondata al di sotto dell'attraversamento ferroviario.
- Il tratto a cielo aperto compreso tra l'attraversamento della linea ferroviaria (ND_P6) e il ponte che attraversa la via Aurelia (ND_P7).
- Il tratto a monte dell'attraversamento di Via Felice del Santo (ND_P8)



Figura 55 – Imbocco della copertura ND_C1 (sx), ponte ND_P7 sull'Aurelia (centro) e passerella ND_P8 (dx).

Da notare che l'innalzamento dei livelli idrici a monte degli attraversamenti ND_P3 e ND_P4 supera le sommità spondali e raggiunge la quota della S.S.1 Aurelia. Tuttavia, in tale area si è riscontrata la presenza di rilevanti depositi di sedimento che ostruiscono parzialmente soprattutto le sezioni di sbocco e imbocco dell'attraversamento ND_P3. Il ripristino delle geometrie originarie consentirebbe una significativa riduzione dei massimi livelli idrici di piena.

Si evidenzia la criticità dell'allagamento di due importanti sottopassi viabili, ovvero quello di via Aurelia e quello da via Fontevivo verso Corso Nazionale, entrambi perimetrati in fascia A. Analogamente risulta allagato il sottopasso al di sotto della ferrovia di collegamento tra la S.S.1 e via della Pieve.

Per quanto riguarda il Fosso Buonviaggio si rilevano le criticità della copertura ND_B_P1 (Figura 56) che attraversa un fabbricato a uso residenziale nel tratto di monte, e della tombinatura terminale a confluenza in Dorgia (ND_B_C1, ND_B_C2, ND_B_C3), che presenta un imbocco a sezione relativamente ampia ma che allo sbocco è costituita da tre tubazioni sovrapposte di diametro 1,0 m, con rilevante riduzione della capacità di smaltimento di portata. Il funzionamento in pressione di questo manufatto comporta un rilevante innalzamento dei livelli idrici a monte con fenomeni di esondazione laterale.



Figura 56 – Imbocco della tombinatura ND_B_P1 sotto edificio (sx) e sbocco della tombinatura ND_B_C3 (dx) del Fosso Buonviaggio.

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 57.

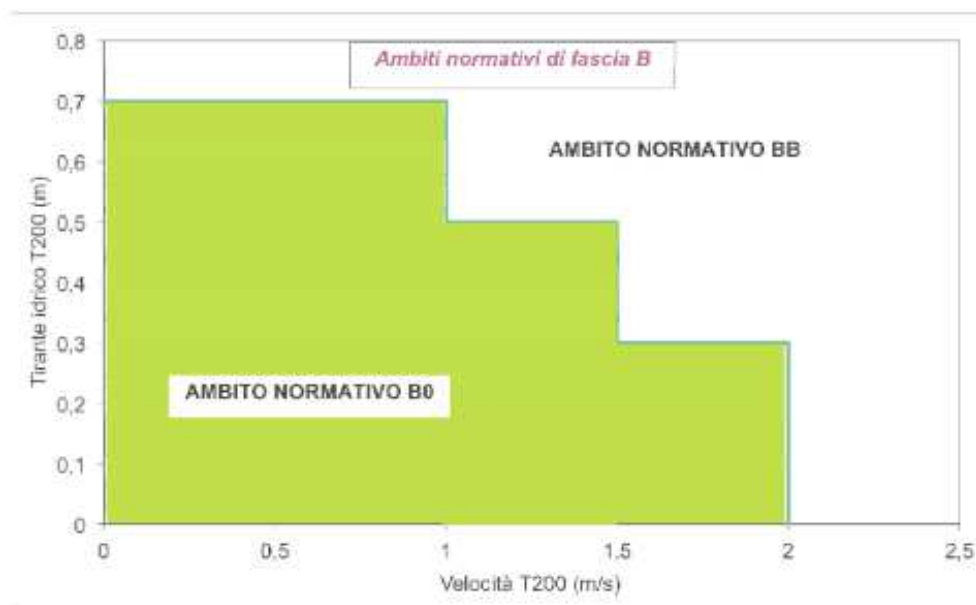


Figura 57 – Definizione delle fasce fluviali BB e B0 ai sensi della DGR 91/2013.

Gli ambiti “B0” e “BB” per i tratti di studio del torrente Vecchia Dorgia e il torrente Nuova Dorgia con l’affluente Buonviaggio sono rappresentati in Figura 58.

La maggioranza delle aree perimetrare in fascia B sono associabili a un ambito di minore pericolosità B0, particolarmente a valle della ferrovia; fanno eccezione le direttrici principali di propagazione del flusso, ovvero la via Aurelia (e via Fontevivo fino al sottopasso verso Corso Nazionale) e la diramazione ferroviaria verso il porto.

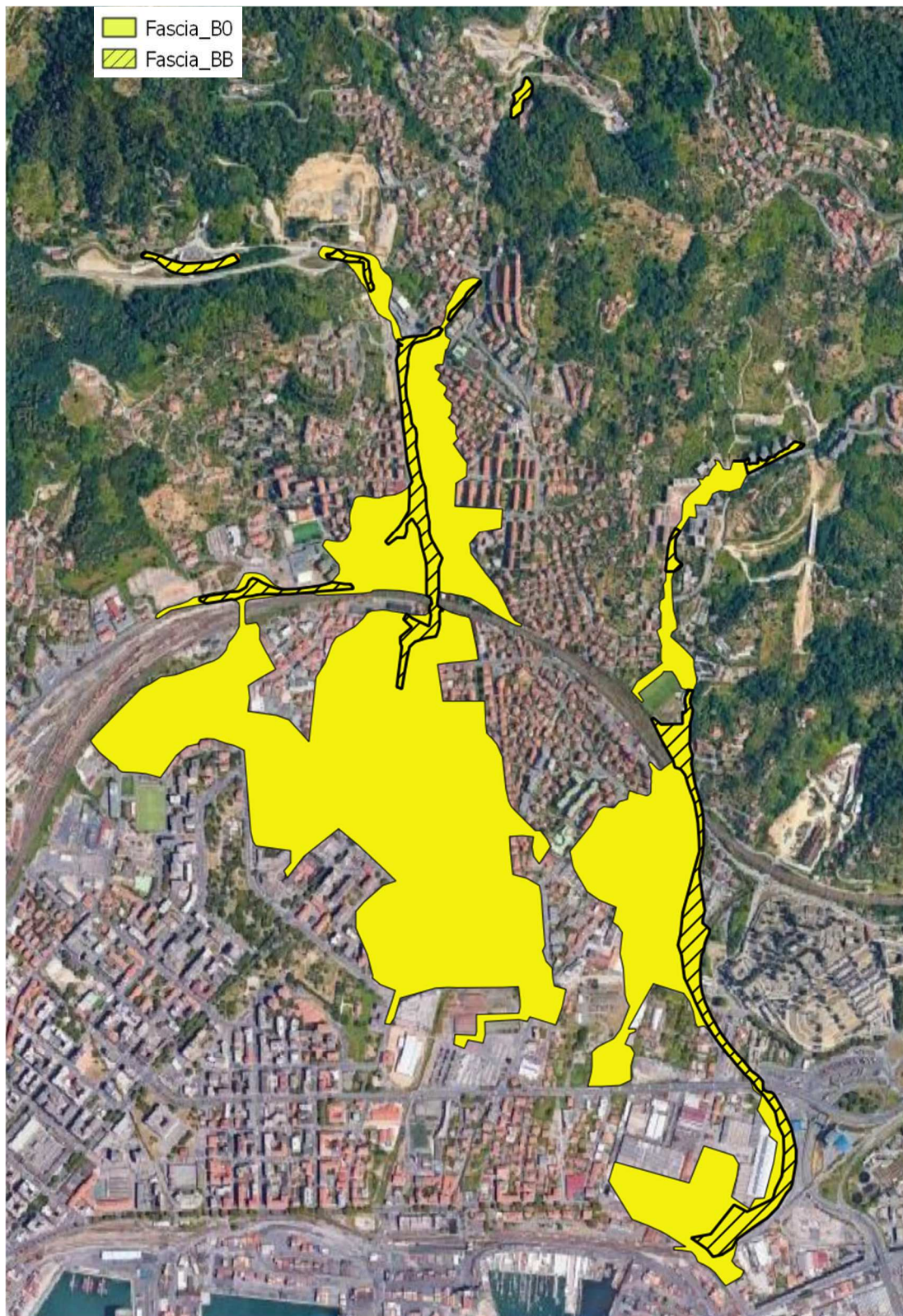


Figura 58 – Definizione delle aree B0 e BB all'interno della fascia B per il torrente Vecchia Dorgia e per il torrente Nuova Dorgia con l'affluente Fosso Buonviaggio.

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 (m²);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}s⁻¹);

g = accelerazione di gravità (m s⁻²);

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

Q = portata (m³/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m²/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 Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V *Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx 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 Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

In osservanza ai sovracitati criteri è possibile definire unicamente intervalli di valori per Dx e Dt 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:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

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;

ρ_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 τ 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, Δ 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

