

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	ANALISI CRITICA DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI	2
2.1	Stato di rischio da pianificazione idraulica vigente	2
2.2	Assetto attuale del corso d'acqua	5
2.3	Lo scolmatore delle piene in fase di realizzazione	23
3.	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA	27
3.1	Portate al colmo di piena di riferimento	27
3.2	Idrogrammi di piena	29
4.	ALLESTIMENTO DEL MODELLO NUMERICO	31
4.1	Dati geometrici	31
4.2	Approccio metodologico modellistico	33
4.3	Condizione al contorno di valle (mare)	34
4.4	Messa a punto del modello monodimensionale	35
4.5	Messa a punto del modello bidimensionale delle aree esterne all'alveo	45
4.6	Parametri e condizioni al contorno del modello MIKE Flood	47
5.	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI	51
5.1	Scenario di confronto (SIM0): stato attuale antecedente la realizzazione dello scolmatore	51
5.2	Analisi dell'effetto dello scolmatore sull'assetto idraulico del Bisagno	56
5.2.1	SIM1A: scenario "base" con scolmatore attivo: evento TR50	56
5.2.2	SIM2A: scenario "base" con scolmatore attivo: evento TR200	62
5.2.3	SIM3A: scenario "base" con scolmatore attivo: evento TR500	70
5.3	Analisi dei franchi idraulici	81
6.	ANALISI DI SENSITIVITÀ DEI RISULTATI – SCENARI INTEGRATIVI	86
6.1	Considerazioni in merito all'idrogramma equivalente di massimo volume	88
6.2	Variazione del parametro di scabrezza (SIMB)	89
6.2.1	SIM1B: evento di piena TR50	89
6.2.2	SIM2B: evento di piena TR200	96
6.2.3	SIM3B: evento di piena TR500	102
6.3	Ostruzione parziale degli attraversamenti (SIMC e SIMD)	110
6.3.1	SIM1C: evento di piena TR50	111
6.3.2	SIM2C: evento di piena TR200	113
6.3.3	SIM3C: evento di piena TR500	117
6.3.4	SIM1D: evento di piena TR50	121
6.3.5	SIM2D: evento di piena TR200	124
6.3.6	SIM3D: evento di piena TR500	127
6.4	Annullamento del franco idraulico (SIME)	131
6.4.1	SIM1E: evento di piena TR50	131
6.4.2	SIM2E: evento di piena TR200	133
6.4.3	SIM3E: evento di piena TR500	136
6.5	Commenti di sintesi ai risultati degli scenari di simulazione integrativi	140

7.	PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ	141
7.1	Perimetrazione delle fasce di inondabilità	141
7.2	Ambiti normativi di fascia B (ex DGR 91/2013)	148
8.	EFFETTI DELLO SCOLMATORE SULL'ASSETTO IDRAULICO DEL RIO SCIORBA	150
8.1	Consistenza dello stato attuale e di progetto	150
8.2	Assetto idraulico attuale	154
8.3	Assetto idraulico di progetto	155
8.3.1	Allestimento del modello	155
8.3.2	Analisi idraulica e scenari di verifica dello stato di progetto	156
8.3.2.1	Risultati Scenario 1	157
8.3.2.2	Risultati Scenario 2	159
8.4	Considerazioni conclusive	161

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE11 - HD

ALLEGATO 2 – Descrizione del codice di calcolo MIKE21 - HD

ALLEGATO 3 – Dettaglio dei risultati per gli scenari di simulazione integrativi

ALLEGATO 4 – Sezioni trasversali inserite nel modello idraulico, con indicato il livello massimo di piena dell'evento con tempo di ritorno di 200 anni per lo scenario SIM_2.

1. PREMESSA

Il Commissario Straordinario delegato per gli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico della Regione Liguria ha affidato alla scrivente Hydrodata S.p.A. l'incarico di sviluppare studi idraulici di dettaglio per l'aggiornamento delle aree di pericolosità definite nel vigente Piano di Bacino del torrente Bisagno, in conseguenza della prossima entrata in esercizio del canale scolmatore delle piene in fase di realizzazione a monte della confluenza del rio Trensasco.

Il tratto oggetto di studio è quello compreso tra l'opera di presa dello scolmatore e la foce, per uno sviluppo complessivo di circa 8 km.

Tale tratto è stato già oggetto di pregressi studi idraulici anche di elevato dettaglio (2014, 2020), particolarmente nella porzione di valle interessata da importanti lavori di sistemazione idraulica (adeguamento della copertura del tratto terminale da via Canevari al mare), confluiti nella vigente perimetrazione delle fasce di pericolosità indicata dal Piano di Bacino.

Il presente studio mantiene per coerenza l'impostazione geometrica e lo schema di input idrologico che deriva dall'integrazione degli studi precedenti, introducendo in aggiunta le opere in corso di realizzazione dello scolmatore (le quali modificano l'idrogramma di piena che prosegue verso valle) e la geometria definitiva della copertura terminale, a seguito dell'ultimazione dell'ultimo lotto e con riferimento a rilievi as-built eseguiti dalla Regione.

L'analisi, basata sull'allestimento di uno schema modellistico che combina la rappresentazione monodimensionale dell'alveo e quella bidimensionale delle aree esterne per la descrizione di dettaglio della propagazione delle esondazioni residue, ha consentito di descrivere con accuratezza le attuali dinamiche di deflusso degli eventi di piena di specifico interesse per la pianificazione di bacino di livello regionale, associati a tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Particolarmente per quanto riguarda i tratti in cui non risulta garantita la capienza certa in alveo della portata di piena, sono state condotte analisi di scenari alternativi per valutare la sensibilità dei risultati a possibili modificazioni di parametri idraulici o di funzionalità idraulica dei manufatti trasversali esistenti.

Sulla base dei risultati ottenuti è stato possibile definire una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica per l'aggiornamento del PAI vigente. Sono stati inoltre determinati i cosiddetti "ambiti normativi" della fascia B (ambiti BB e B0), in applicazione dei criteri ex DGR 91/2013.

Lo studio ha inoltre valutato i benefici prodotti dalla realizzazione del canale scolmatore sull'assetto idraulico del rio Sciorba, le cui portate di piena sono anch'esse deviate verso la galleria dello scolmatore del Bisagno mediante una specifica opera di presa.

2. ANALISI CRITICA DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI

2.1 Stato di rischio da pianificazione idraulica vigente

Nel vigente Piano di Bacino (PdB) del torrente Bisagno è definita una perimetrazione delle fasce fluviali e delle aree di rischio idraulico sul territorio in esame.

L'ultima variante approvata è relativa al DDG n. 5575 del 20/09/2021, entrata in vigore il 06/10/2021. Le aree di pericolosità sono state definite prevalentemente sulla base di modellazione idraulica bidimensionale condotta nell'ambito dell'incarico "Approfondimento idraulico dei Piani di Bacino dei torrenti Bisagno e Chiaravagna" affidato al R.T.I. composto dal Consorzio DHI Italia e ART Ambiente Risorse Territorio s.r.l., 2014 (di seguito richiamato come Studio DHI2014) e dall'incarico svolto per la "Riperimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità del tratto terminale del torrente Bisagno da Ponte Serra alla Foce", ITEC engineering S.r.l., 2020 (di seguito indicato come Studio ITEC2020).

Le aree inondabili sono ottenute in maniera diretta, come output dei modelli; tuttavia, al fine di verificare, in coerenza con i criteri dell'AdB regionale, la sensibilità del modello alla carenza di franco idraulico, è stata applicata dai progettisti una metodologia che prevede una parzializzazione della sezione idraulica utile al deflusso delle portate in corrispondenza delle opere di attraversamento, un'analisi di sensibilità dei risultati della modellazione al variare degli idrogrammi in ingresso oppure alla variazione dei coefficienti di scabrezza in alveo o nelle aree esterne soggette ad allagamento.

La mappatura finale è ottenuta dall'involuppo dei diversi scenari di pericolosità.

Il vigente Piano di Bacino identifica sul tratto del torrente Bisagno in analisi differenti aree di pericolosità idraulica, articolate in pericolosità idraulica molto elevata (Fascia A), media (Fascia B) e bassa (Fascia C). La Fascia B* (oppure A*) identifica le aree storicamente inondate in tratti non indagati o con indagini non sufficienti. Nelle aree interessate dagli studi di maggior dettaglio sono state inoltre definite le aree individuate a minor pericolosità degli ambiti normativi di fascia B (ambiti BB e B0) ai sensi della la DGR 91/2013.

In Figura 1 e in Figura 2 si riporta l'estensione della Fascia A, della Fascia B (suddivisa negli ambiti BB e B0 ove presenti) e della Fascia C per il tratto in analisi, suddiviso rispettivamente nei due settori di monte e di valle.

Le perimetrazioni di pericolosità idraulica nel settore di monte interessano in prevalenza aree prossime all'asta fluviale, mentre nel settore di valle si estendono in un'ampia area del centro cittadino, soprattutto per quanto riguarda il tratto a valle della ferrovia.

Sono presenti aree a pericolosità elevata (colore rosso) soprattutto nel settore di monte. Alcune sono relative agli affluenti in sponda destra, mentre quelle associate alle esondazioni proprie del torrente Bisagno si localizzano in corrispondenza di alcuni attraversamenti critici dal punto di vista idraulico, nel tratto che va dal ponte Guglielmetti al ponte Bezzecca. Nel settore di valle l'area a pericolosità elevata interessa una modesta estensione nelle immediate vicinanze del ponte Campanella. Un'ampia area di pericolosità elevata si rileva in sponda sinistra, in adiacenza alla linea ferroviaria, ma essa deriva da un corpo idrico minore che sottopassa tombato il sedime ferroviario e sfocia direttamente a mare a Est della foce del Bisagno.

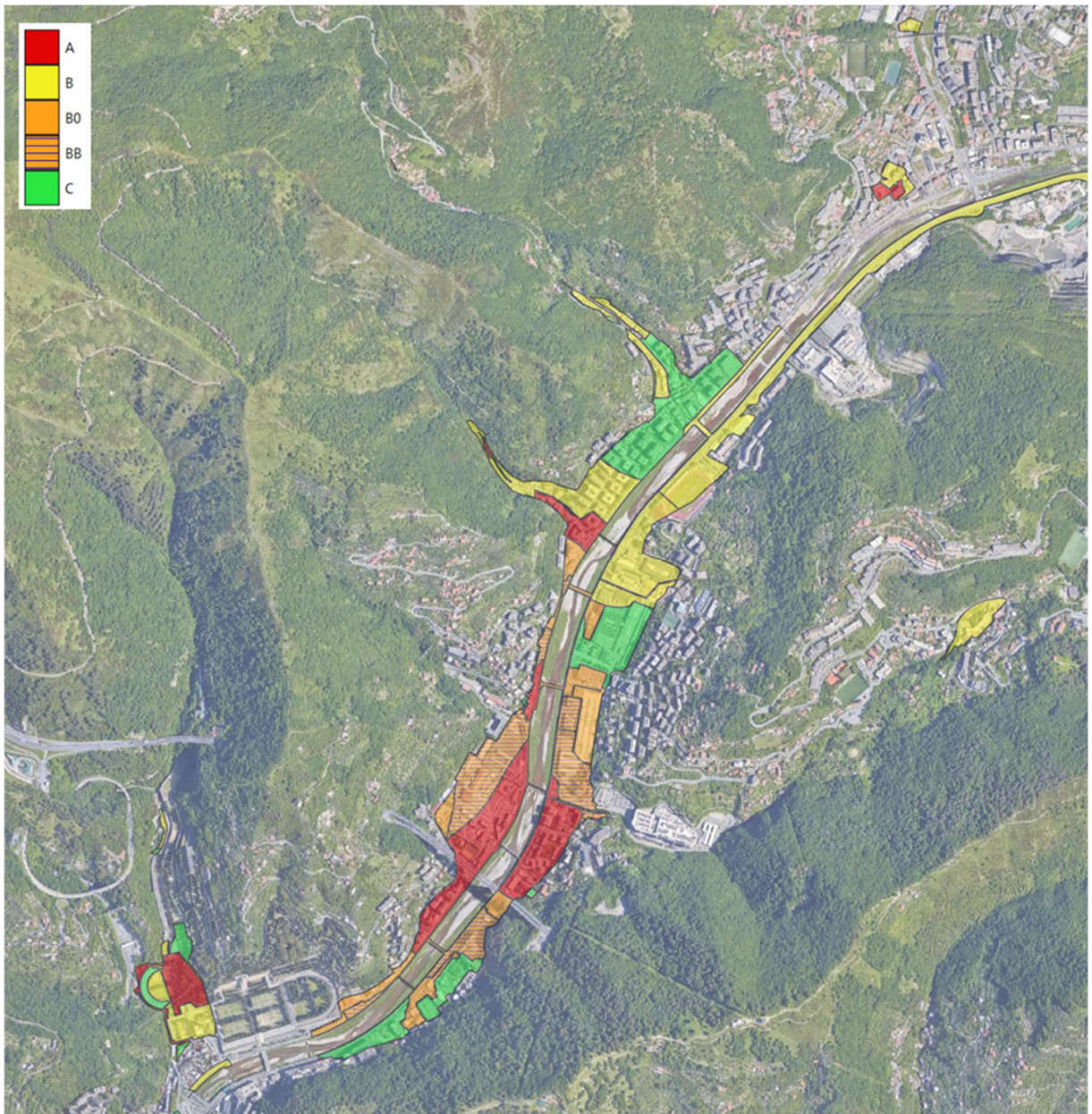


Figura 1 – Fasce fluviali per il torrente Bisagno definite dal vigente Piano di Bacino, settore di monte.

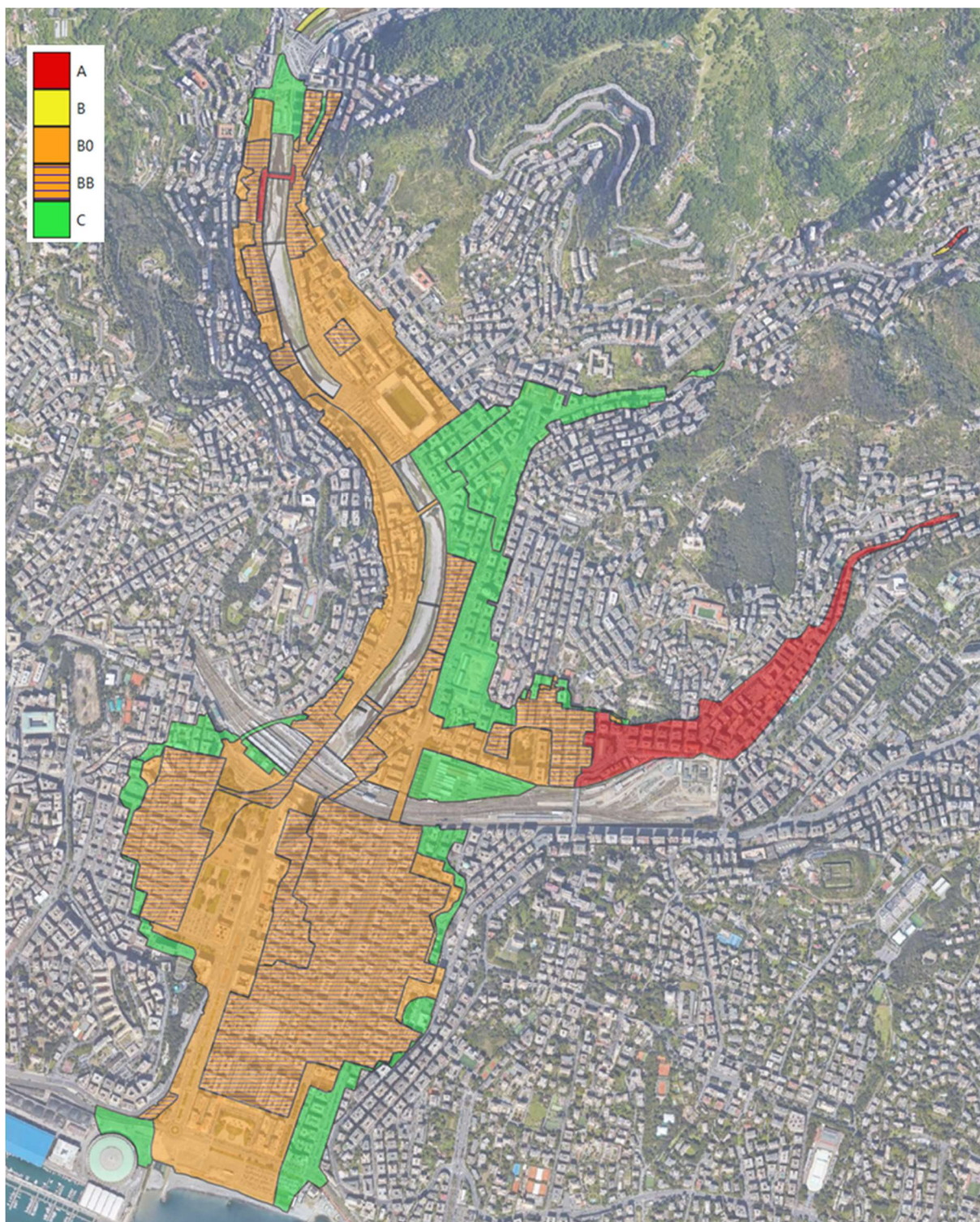


Figura 2 – Fasce fluviali per il torrente Bisagno definite dal vigente Piano di Bacino, tratto di valle.

2.2 Assetto attuale del corso d'acqua

Il tratto in esame del torrente Bisagno presenta caratteristiche piuttosto omogenee, con un'ampia sezione (60÷80 m di larghezza) di forma sostanzialmente rettangolare, con muri spondali sub-verticali in calcestruzzo e fondo alveo regolarizzato, caratterizzato dalla presenza di forme di fondo mobili e di un alveo inciso con possibilità di divagazione laterale entro i confini fissati dalle sponde.

L'alveo è caratterizzato dalla presenza di un materasso alluvionale continuo costituito da ciottoli ghiaiosi, passanti a tratti a ghiaie con ciottoli. Localmente, nei pressi dei muri spondali o delle strutture, possono formarsi sottili coltri di depositi più fini, sabbioso-limosi, che tipicamente "precipitano" in coda agli eventi di piena straordinari o nel corso delle piene ordinarie; tali coltri consentono l'attecchimento di un manto vegetale erbaceo e di semplificate formazioni vegetali riparie arbustive.

Si riscontra dai sopralluoghi effettuati una generale tendenza al sovralluvionamento del tratto, che pure -per quanto osservabile dal confronto tra lo stato attuale e le sezioni 2014, e al netto di eventuali interventi di disalveo intercorsi- pare non aver più subito modificazioni eclatanti nel periodo recente, denunciando un'apparente, sostanziale stabilità del profilo di fondo attuale (fissato peraltro da alcune opere trasversali).

La porzione di monte del tratto in esame (Figura 3) è attualmente interessata dal cantiere per la realizzazione dell'opera di presa dello scolmatore del Bisagno, per la cui descrizione si rimanda al capitolo 2.3.

Le sponde in questo tratto sono sormontate da muri in calcestruzzo alti circa 1 m, continui su entrambe le sponde fino al ponte Ugo Gallo, anch'esso parzialmente interessato dalle installazioni di cantiere. Si tratta di un ponte a impalcato piano, sorretto da unica pila centrale. Immediatamente a valle, in destra, si ha la confluenza del rio Trensasco (Figura 5).



Figura 3 – Cantiere per la realizzazione dell'opera di presa dello scolmatore del torrente Bisagno.



Figura 4 – Vista del ponte Ugo Gallo dalla sezione di prevista realizzazione della traversa di regolazione dell'opera di presa dello scolmatore.

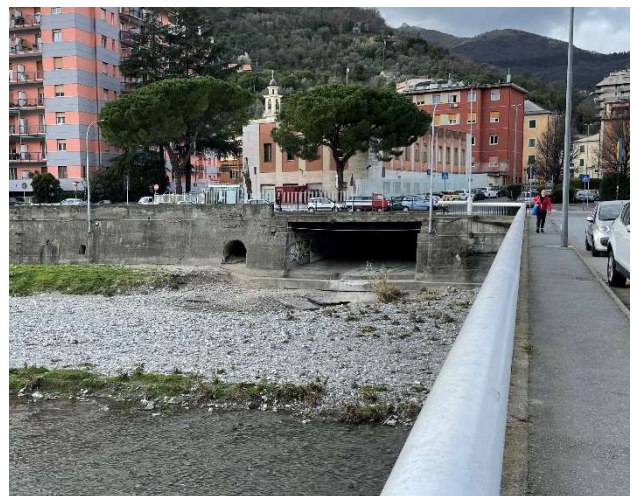


Figura 5 – Sponda sinistra (sx) e destra (dx) a valle del ponte Ugo Gallo.

A valle del ponte Ugo Gallo, fino alla successiva passerella pedonale, la sponda è sormontata da pannelli in calcestruzzo non continui, che risultano quindi permeabili a eventuali esondazioni; in destra invece il muro spondale, a meno di un breve tratto in corrispondenza della confluenza del rio, mantiene le caratteristiche osservate a monte (Figura 5).

Circa 460 m a valle del ponte Ugo Gallo, all'altezza di via Spalato, è presente una passerella pedonale con impalcato sopraelevato rispetto al piano spondale, accessibile mediante scalinate da entrambi i lati (più alta in sponda dx per la minor quota del piano spondale), sorretta da due pile in alveo di modesto spessore (Figura 6).



Figura 6 – Passerella pedonale di via Spalato.

In sponda destra, subito a valle della passerella, si ha l'immissione della tombinatura del rio Cicala (Figura 7). In corrispondenza di essa si ha un'interruzione del muretto spondale in calcestruzzo, che in seguito prosegue sempre continuo con altezza di circa 1 m. In sinistra invece si ha un muretto di minore altezza (circa 40 cm dal piano del marciapiede) sormontato da un parapetto metallico (Figura 7).

In sponda destra, all'incirca in corrispondenza dell'apertura rappresentata in Figura 7, si ha la confluenza della tombinatura del rio Sciorba, meglio descritta in seguito.

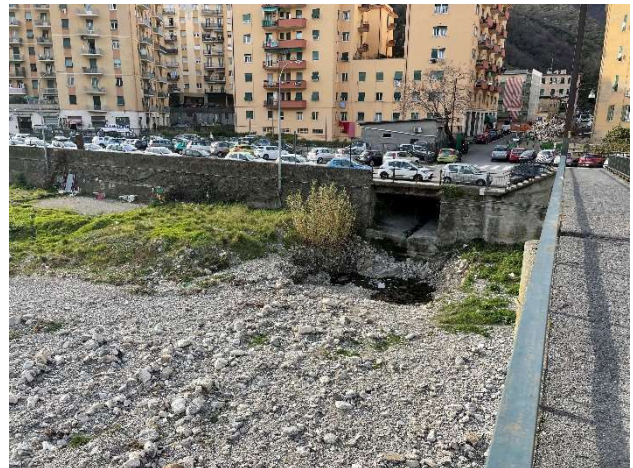


Figura 7 – Sx: sponda sinistra a valle della passerella di via Spalato (ponte Feritore sullo sfondo). Dx: vista della sponda destra dalla passerella di via Spalato; confluenza del rio Cicala.

Circa 180 m a valle della passerella si trova il ponte Feritore, caratterizzato da impalcato piano e da una struttura di sostegno maggiormente tozza, con 6 pile in alveo aventi plinto di fondazione che si erge al di sopra della quota di fondo (Figura 8). In destra il tratto di muro spondale a cavallo del ponte è stato recentemente rifatto, a seguito di un dissesto.

A valle del ponte, in sinistra la sponda è sormontata dalla medesima tipologia di muretto riscontrata a monte (v. Figura 7). In destra, dopo il primo tratto di circa 25 m oggetto del rifacimento, non vi è invece più alcun muro al di sopra della quota di sponda (peraltro inferiore rispetto a quella in sinistra), ma solo un parapetto metallico permeabile.



Figura 8 – Ponte Feritore visto da monte.

L'attraversamento successivo, circa 310 m a valle, è il ponte Guglielmetti (Figura 9), avente struttura analoga al precedente, con impalcato piano e 5 pile in alveo, più tozze di quelle del ponte Feritore in quanto a larghezza costante e non rastremate verso l'alto. Le prime due campate in destra sono caratterizzate da una soglia di fondo che ne unisce le fondazioni alla spalla. Nelle aree più prossime ai muri spondali si riscontrano depositi di sedimento più fine, con vegetazione erbacea.

A valle del ponte, la sponda sinistra è sormontata da un muretto continuo in calcestruzzo alto circa 1 m, con un varco nel tratto iniziale in corrispondenza della fermata del bus. In destra si ha un muro del tutto analogo per i primi 80 m circa, in corrispondenza di uno slargo adibito a parcheggio; successivamente la sponda è sormontata solo da un parapetto metallico permeabile.



Figura 9 – Ponte Guglielmetti visto da monte.

Circa 325 m a valle è presente il settecentesco ponte Carrega, che provoca una maggiore interferenza al deflusso della corrente di piena essendo caratterizzato da una struttura massiccia con impalcato leggermente arcuato sorretto da 5 tozze pile in muratura, che definiscono 7 campate ad arco di larghezza variabile (di cui una di ridotte dimensioni in adiacenza alla spalla sinistra).

Le pile sono state consolidate realizzando dei plinti in calcestruzzo e una soglia di fondo che fissa il profilo longitudinale impedendo l'insorgere di fenomeni erosivi localizzati. La soglia realizza un notevole salto di fondo (circa 2 m); a valle, in sinistra, è presente la confluenza del rio Mermi (Figura 11), anch'essa con salto di fondo rispetto all'alveo del Bisagno, e successivamente del rio Torbido.

A valle del ponte si riscontra in sinistra un muretto spondale continuo in calcestruzzo di altezza pari a circa 1 m, in destra un parapetto metallico permeabile.

Dopo circa 220 m è presente il ponte Veronelli (Figura 12), con struttura di minore ingombro, costituita da un impalcato sovralzato rispetto alle quote spondali e sorretto da 3 pile circolari.

Il successivo attraversamento, a valle del viadotto autostradale, è il ponte Bezzecca (Figura 13), avente struttura analoga al ponte Guglielmetti, con impalcato piano e 5 pile in alveo. Trattandosi di un attraversamento stradale la quota del piano viabile (estradosso dell'impalcato) coincide con le quote spondali.



Figura 10 – Ponte Carrega visto da monte.



Figura 11 – Ponte Carrega visto da valle (sponda destra); in sponda opposta la confluenza del rio Mermi.



Figura 12 – Ponte Veronelli visto da monte.



Figura 13 – Ponte Bezzecca visto da valle.

Circa 150 m più a valle, poco a valle di via delle Gavette, è presente una passerella pedonale di modesto ingombro (Figura 14), con impalcato rialzato rispetto ai piani stradali e due sole pile di sostegno.

In tutto il tratto la sponda sinistra è sormontata da un muretto continuo in calcestruzzo di altezza pari a circa 1 m, mentre la sponda destra presenta unicamente un parapetto metallico permeabile.



Figura 14 – Passerella pedonale presso via delle Gavette vista da monte.

Circa 390 m a valle della passerella è presente una seconda soglia di fondo di significativa altezza (circa 90 m a monte di quest'ultima si riscontra anche la struttura relitta di una soglia pregressa). La soglia è dotata di una gaveta centrale per concentrare i deflussi di magra verso il centro alveo, oltre che di una struttura di risalita per l'ittiofauna ad elevata pendenza (Figura 15). Poco a valle della soglia, in sponda sinistra, è presente una stazione idrometrica storica.

A valle della soglia, in corrispondenza dell'ingresso del cimitero monumentale, è localizzato il ponte Monteverde, di maggiore larghezza rispetto ai precedenti per ospitare 3 corsie di marcia. L'impalcato è di tipo piano, con 2 pile di sostegno di significativo spessore (Figura 16).



Figura 15 – Soglia di fondo in corrispondenza del cimitero.



Figura 16 – Ponte Monteverde visto da valle.

Circa 115 m a valle del ponte Monteverde è presente una nuova soglia di fondo, immediatamente a monte della confluenza in destra del rio Veilino.

Successivamente il Bisagno si immette nella tombinatura Staglieno, realizzata da 4 canne parallele di pari dimensione (Figura 17). Essendo l'impalcato leggermente inclinato verso il centro, la luce netta è superiore per le due canne centrali (si ha circa 1 m di differenza tra la quota in chiave e quella delle sponde).

Si osserva come le due canne in sinistra (interno curva) siano caratterizzate da significativi fenomeni di interrimento, mentre nelle due in destra sia visibile il fondo originario in calcestruzzo delle strutture. Tale condizione appare continua in tutta l'estensione della tombinatura (circa 300 m), riscontrandosi del tutto analoga

anche allo sbocco (Figura 18). L'entità dell'interrimento è stimabile pari a circa il 20-25% per la canna più a sinistra e del 15% per quella adiacente.

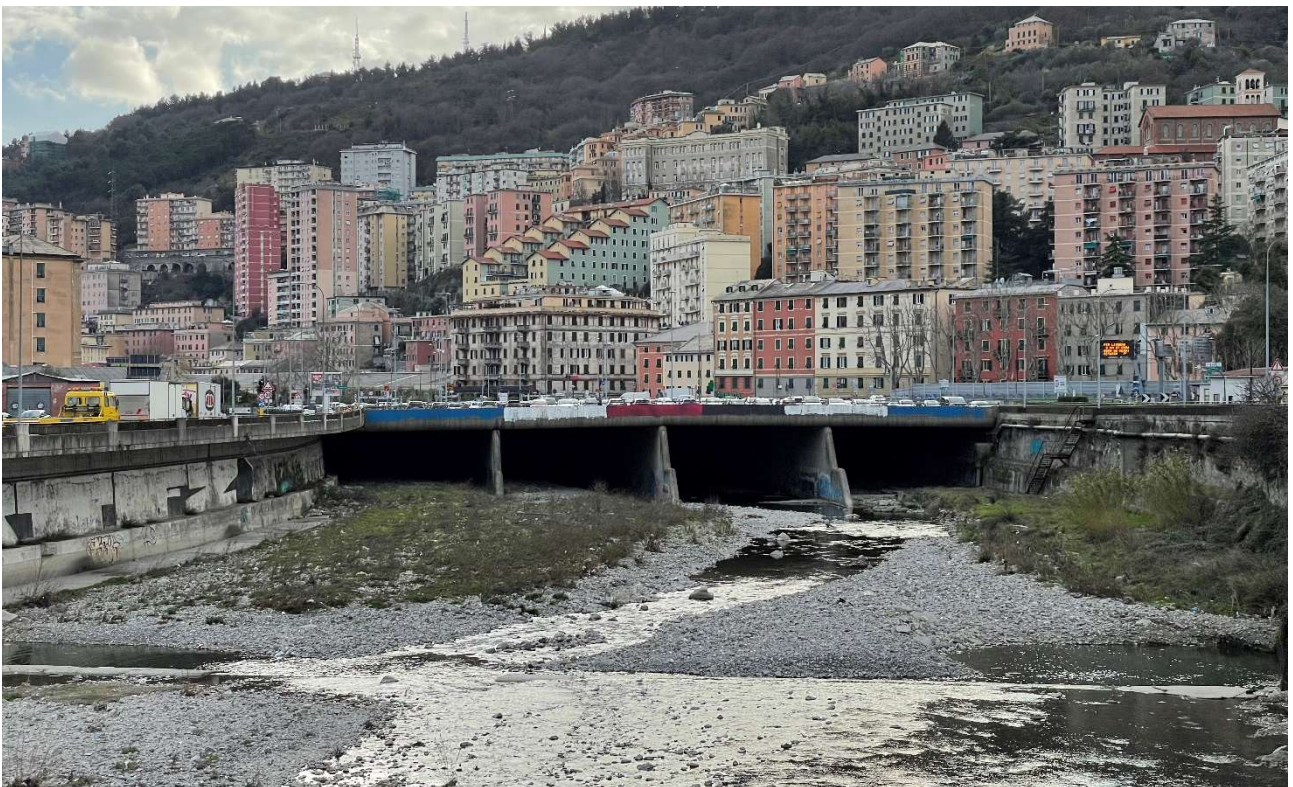
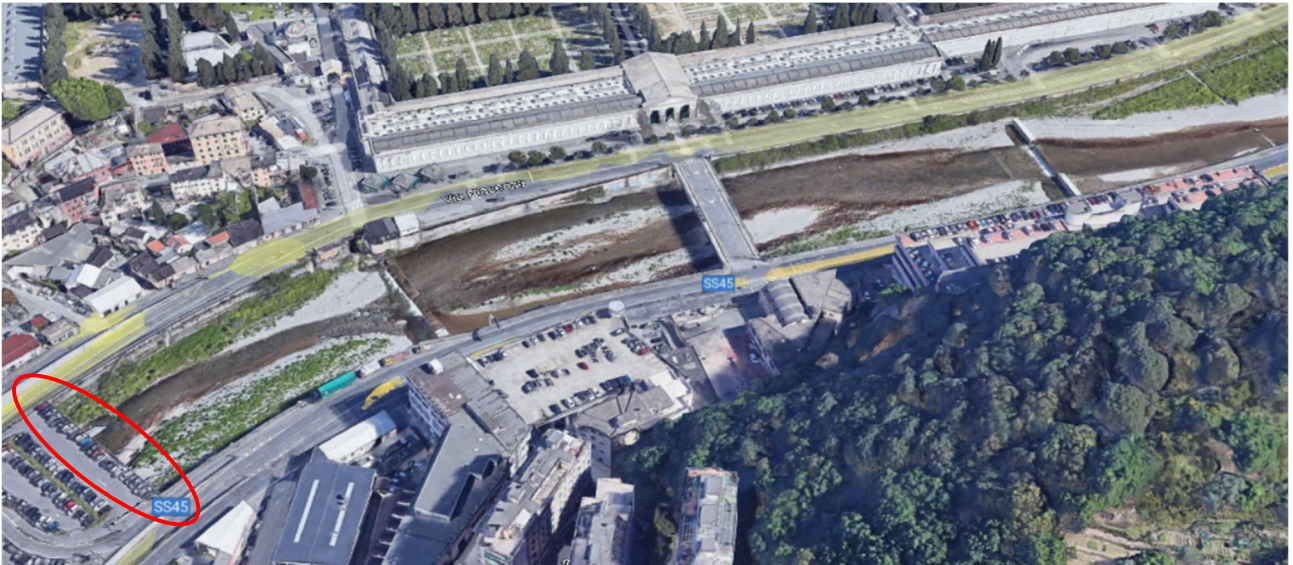


Figura 17 – Imbocco della copertura Staglieno. In primo piano la soglia di fondo a monte della confluenza del rio Veilino.



Figura 18 – Sbocco della copertura Staglieno (vista da valle).

Circa 125 m a valle dello sbocco della tombinatura è presente il ponte Campanella, caratterizzato da una struttura di significativo intralcio al deflusso della piena, con campate ad arco sorrette da 4 tozze pile in alveo (Figura 19).

In uscita dalla tombinatura entrambe le sponde sono sormontate da un muretto in calcestruzzo continuo (di minore altezza in destra, e sormontato da un basso parapetto metallico). A valle del ponte Campanella il muro rimane presente solo in sinistra, mentre in destra prosegue unicamente un parapetto metallico permeabile.

All'altezza di via Bobbio vi è una passerella pedonale, con impalcato sopraelevato rispetto ai piani stradali, sorretto da due pile (Figura 20). Il tratto, interessato da sovralluvionamento, è stato oggetto di una recente movimentazione del materiale d'alveo per scoprire il plinto della pila destra.

A valle della passerella, diversamente da quanto si osserva a monte, la sponda destra presenta in sommità un muretto continuo in calcestruzzo alto circa 1 m, mentre in sinistra esso si interrompe dopo un primo tratto di circa 45 m, con prosecuzione a valle solo di un parapetto metallico permeabile.



Figura 19 – Ponte Campanella (vista da valle).



Figura 20 – Passerella pedonale all'altezza di via Bobbio (vista da valle, sponda dx).

Circa 300 m a valle della passerella ha inizio la copertura della porzione di destra dell'alveo, con una canna di larghezza pari a 15,6 m che realizza in sommità un'area di parcheggio. Circa 30 m a valle, all'altezza di via del Mirto, è presente una passerella pedonale con impalcato rialzato e unica pila di sostegno (sulla larghezza ridotta tra la parete esterna della canna e la sponda sinistra - Figura 21).



Figura 21 – Passerella pedonale all'altezza di via del Mirto (vista da monte). Sulla destra l'imbocco della canna di destra della tombinatura di Marassi.

La canna fa parte della copertura di Marassi, presso lo stadio Ferraris, la quale è costituita da 4 canne di dimensione simile (le due laterali larghe 15,60 m, le due centrali 16,0 m); quella di destra ha l'imbocco in

posizione anticipata (circa 250 m a monte) e presenta in zona intermedia una luce di comunicazione con l'alveo (Figura 22), di geometria quadrata con dimensioni circa 4,0 x 4,0 m.

Tutte le canne sono interessate da fenomeni di interrimento, ad opera di materiale ghiaioso-ciottoloso. A fronte di una luce verticale originaria di progetto di circa 5 m, si riscontra nella canna in destra una luce netta attuale di 4,2-4,4 m, e nelle tre altre canne, da destra verso sinistra, luci nette medie di circa 4,2 – 3,7 – 4,0 m. Complessivamente è stimabile quindi un grado di interrimento attuale dell'ordine del 20%.

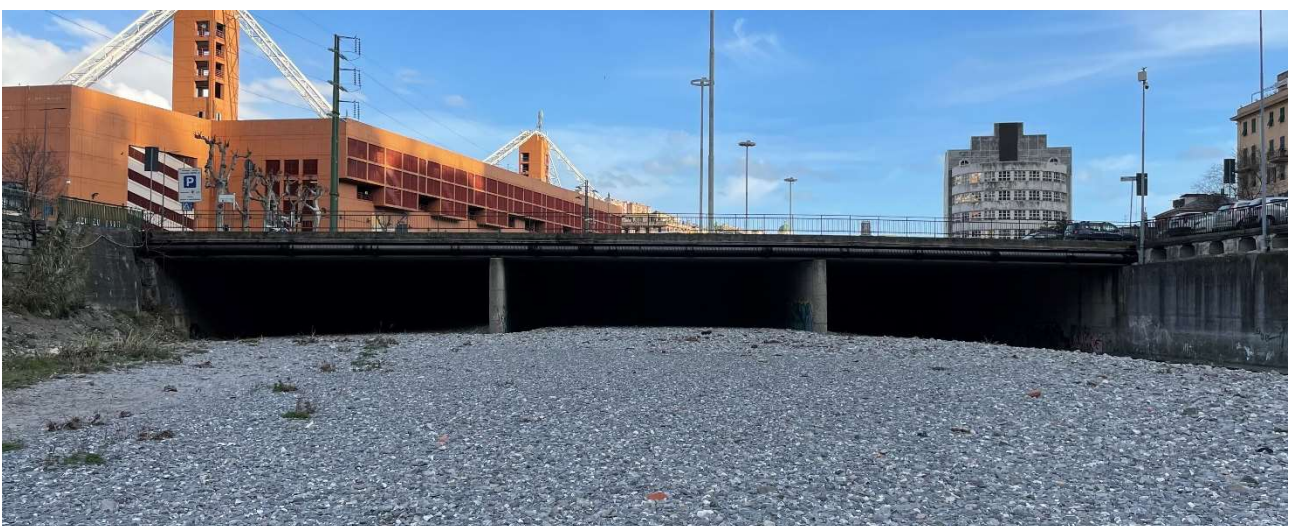
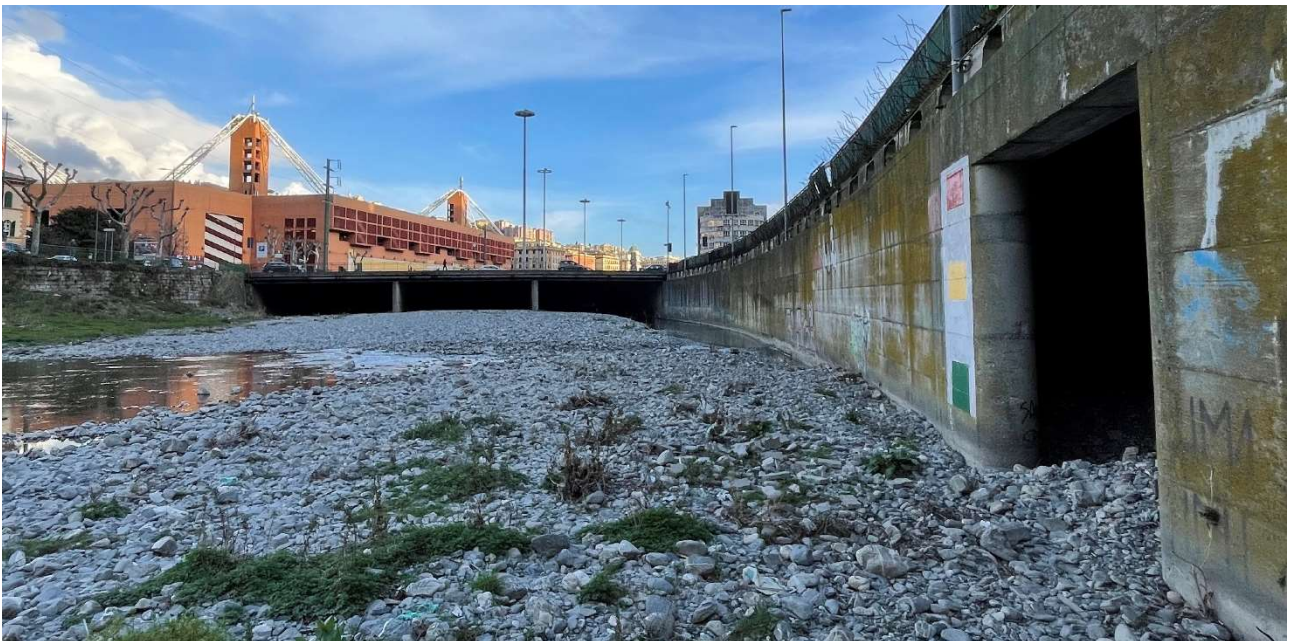


Figura 22 – Imbocco della copertura di Marassi. In alto, la luce (di dimensione circa 4,0x4,0 m) di comunicazione tra la canna di destra e l'alveo del torrente.

Circa 170 m a valle della copertura è presente il ponte Serra (Figura 23), caratterizzato da impalcato piano in continuità con la sede stradale e 5 pile in alveo di forma tozza, con profilo arrotondato. Una soglia in calcestruzzo

fissa il fondo sul lato di valle delle pile, proteggendo da fenomeni di erosione localizzata correlabili anche alla confluenza del rio Fereggiano, posta immediatamente a valle della struttura in sponda sinistra. La soglia ha geometria inclinata verso il centro alveo, e realizza un salto dell'ordine del metro.

Tra la copertura e il ponte Serra in sinistra si ha un muro continuo di altezza pari a circa 1 m, tranne che per gli ultimi 25 m circa a monte del ponte dove è presente un parapetto metallico permeabile; in destra non c'è invece nessun muro ma solo un guard-rail con parapetto (struttura permeabile).



Figura 23 – Ponte Serra visto da valle. In sponda sinistra si ha la confluenza della tombinatura del rio Fereggiano.

Circa 300 m a valle del ponte Serra è ubicata la passerella Firpo (Figura 24), tipologicamente analoga alle altre passerelle pedonali di monte: impalcato arcuato in posizione sopraelevata rispetto alle sponde, due pile in alveo di modesto ingombro alla corrente di piena.

Il tratto in sponda sinistra a monte della passerella è caratterizzato da un muretto in pietra continuo, di altezza pari a circa 1 m; in destra per i primi 20 m circa è presente un parapetto metallico permeabile, dopodiché si ha un muretto continuo di tipologia analoga a quello in sinistra, e negli ultimi 70 m prima della passerella nuovamente un parapetto metallico, in corrispondenza di una rientranza del piano stradale, realizzata con una mensola in c.a. aggettante sull'alveo, sopra la quale ha sede un distributore di carburanti.

Circa 350 m più a valle è presente l'ultimo attraversamento stradale prima della copertura terminale, il ponte Castelfidardo (Figura 25). La struttura presenta un impalcato piano con tre pile tozze in alveo, con profilo arrotondato.

Immediatamente a valle vi sono i resti di un'antica passerella (ponte Sant'Agata) con struttura in pietra ad archi di modesta ampiezza (Figura 27); la porzione residua è localizzata nella metà destra della sezione d'alveo.

Circa 185 m a valle del ponte Castelfidardo si ha l'imbocco della tombinatura terminale, composto da quattro archi di pari dimensione al di sotto del sedime ferroviario che afferisce alla stazione di Brignole

Un muro continuo in pietra si sviluppa in sommità a entrambe le sponde tra la passerella Firpo e il ponte Castelfidardo, così come a valle di quest'ultimo fino all'imbocco della tombinatura terminale.



Figura 24 – Passerella Firpo vista da monte. Si osserva il muretto continuo in sponda sinistra, il distributore di carburanti sulla mensola in sponda destra.



Figura 25 – Ponte Castelfidardo visto da monte.

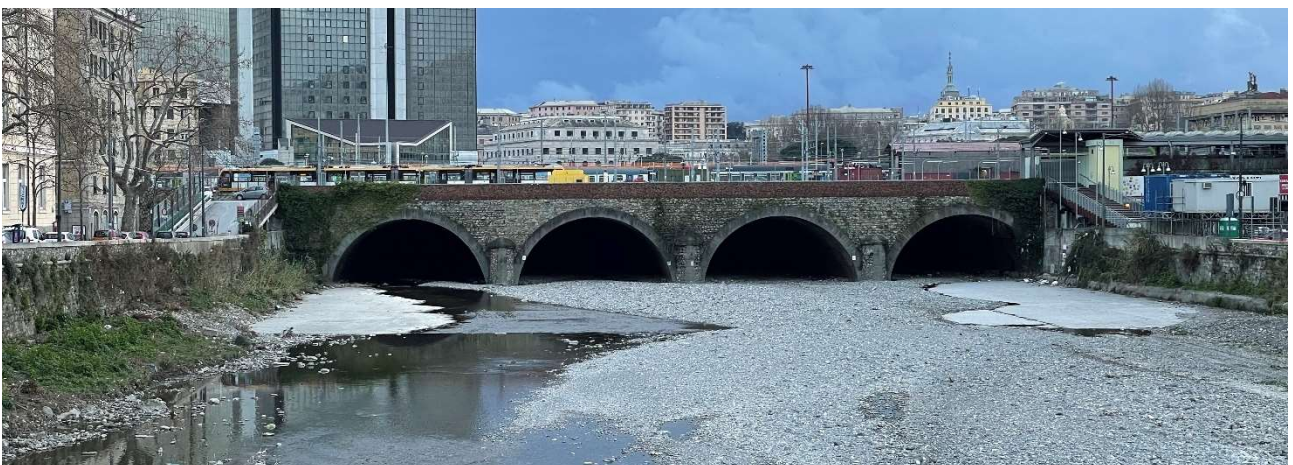


Figura 26 – Imbocco del ponte ferroviario di Brignole (inizio della copertura terminale).



Figura 27 – Resti di passerella storica (ponte Sant'Agata) a monte della tombinatura terminale.

Nell'ultimo tratto di valle prima della foce il Bisagno scorre al di sotto di una lunga copertura suddivisa in quattro canne parallele, per una lunghezza di circa 1400 m dall'imbocco della copertura ferroviaria di Brignole.

A valle del sedime ferroviario, la copertura è stata oggetto negli ultimi due decenni di interventi di adeguamento per incrementarne la capacità di deflusso, suddivisi in stralci come rappresentato in Figura 28.



Figura 28 – Schema riassuntivo della suddivisione in Lotti/Stralci lungo il tratto di copertura del T. Bisagno (fonte: Google Earth).

Il ponte ferroviario di Brignole (Figura 26) è strettamente interconnesso con la copertura terminale ed è costituito da una struttura ad archi con volte a botte realizzata in muratura di pietra e mattoni, suddivisa in quattro campate

di larghezze variabili all'incirca da 15,7 m per le arcate laterali a 15,2 m per quelle centrali. La luce massima rispetto alla sommità dell'arco nella sezione a monte è pari a circa 6,7 m.

Il tratto successivo è stato oggetto del più recente intervento di adeguamento (2° Lotto, 3° Stralcio), che ha completato le opere di sistemazione previste dal progetto complessivo di mitigazione del rischio idraulico. Esso ha inizio subito a valle del ponte ferroviario ed ha una lunghezza di circa 370 m, con un tratto di raccordo della lunghezza di circa 120 m e larghezza netta variabile da circa 61,8 m a circa 46,5 m (convergente dalle maggiori dimensioni della copertura ferroviaria fino alla più ridotta ampiezza dei tratti successivi), suddivisa su 4 canne. La quota del fondo varia da 3,8 m s.m. a 1,13 m s.m.

All'interno di questo settore sono distinguibili due tratti aventi differente pendenza: il primo, di lunghezza pari a circa 95 m, con pendenza pari circa a 1,8%; il secondo, di lunghezza pari a circa 275 m, con pendenza pari a circa 0,36%.

In Figura 29 si rappresenta lo stralcio planimetrico del tratto in esame e una sezione rappresentativa della porzione di valle. Le due campate centrali hanno larghezza pari a 11,9 m, quelle laterali variano da 11,39 a 11,29 m.

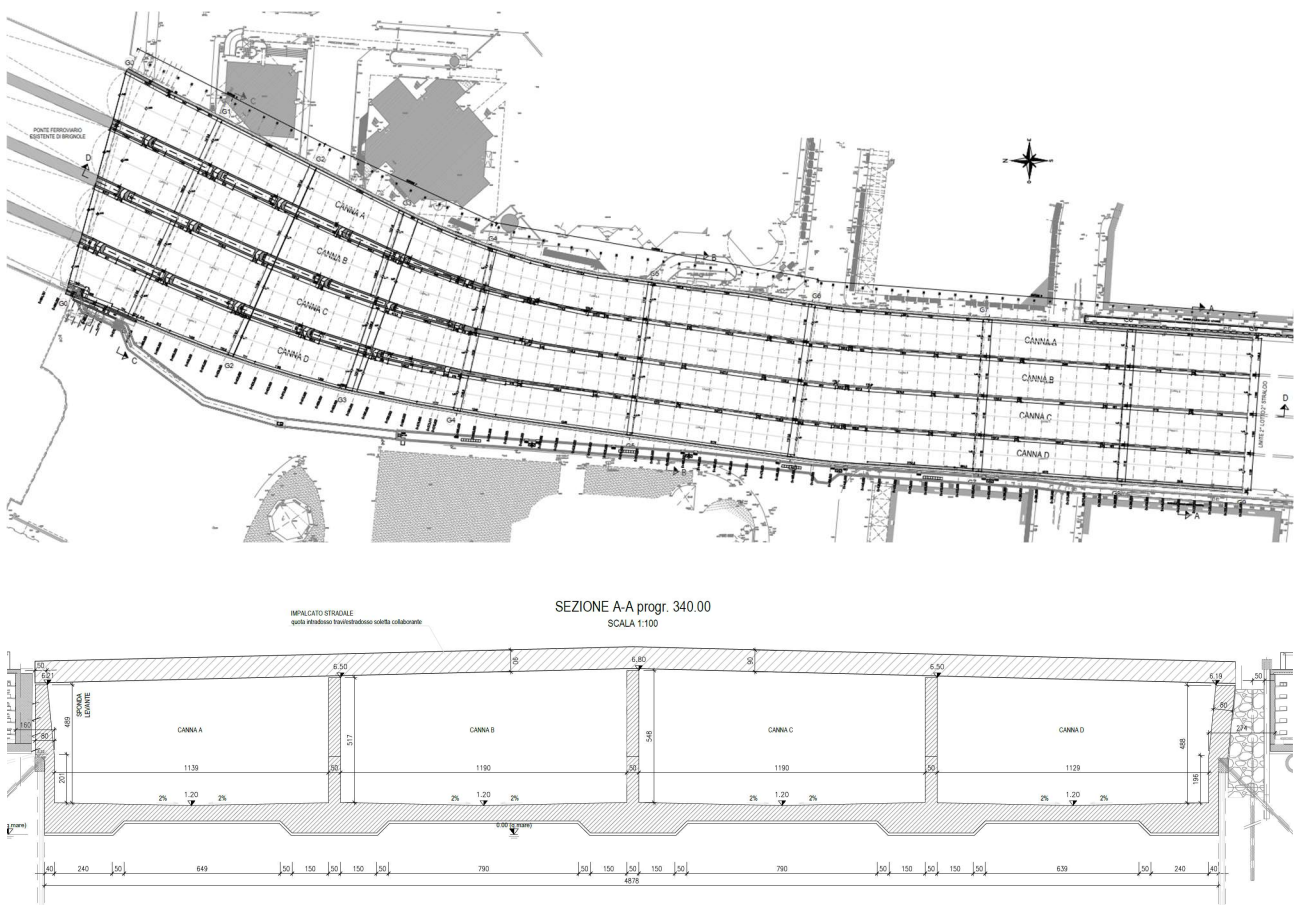


Figura 29 – Pianta e sezione del tratto oggetto dell'intervento del 2° Lotto - 3° Stralcio.

Proseguendo verso valle nel settore del 2° Lotto, il tratto del 2° Stralcio ha una lunghezza di circa 196 m, con quota di fondo variabile da 1,13 m s.m. a 0,42 m s.m.; la sezione è suddivisa in quattro canne distinte. Le canne centrali hanno larghezza costante pari a 11,90. Nella canna laterale sinistra la larghezza alla base è pari a 11,38 m e in sommità pari a 11,78 m; nella canna laterale destra la larghezza alla base è pari a 11,28 m e in sommità pari a 11,68 m.

I tratti oggetto del 2° Lotto, 1° Stralcio e del 1° Lotto hanno una lunghezza complessiva di circa 540 m, quota del fondo che varia da 1,13 m s.m. a -1,61 m s.m e una pendenza media del fondo pari a 0,36%. La sezione trasversale è sostanzialmente identica (scostamenti di pochi centimetri) ed è rappresentata in Figura 30 (riferita al 1° Lotto). Le canne laterali hanno larghezza alla base pari a 11,40 m e in sommità pari a 12,10 m; le canne centrali hanno larghezza costante pari a 11,90 m.

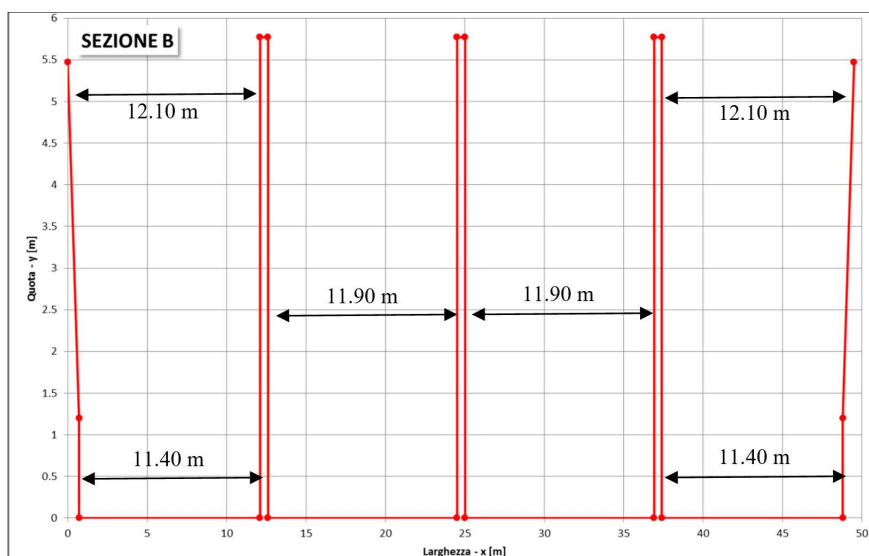


Figura 30 – Sezione tipo del tratto oggetto del 1° Lotto di intervento.

Il tratto di copertura degli anni '60 si sviluppa per circa 100 m, con quota del fondo che varia tra -1,61 m s.m. e 1,97 m s.m. e una pendenza media del fondo costante pari a 0,36%.

La sezione geometrica caratteristica di questo tratto è rappresentata in Figura 31; si osserva che i setti divisorii tra le due canne laterali e le due canne centrali hanno una sezione più larga nei primi 2 m dal fondo e si restringono di 35 cm per quote superiori. Questo determina le seguenti caratteristiche geometriche della sezione: canne laterali con larghezza alla base pari a 11,65 m e in sommità pari a 12,00 m; canne centrali con larghezza alla base pari a 11,98 m e in sommità pari a 12,33 m.

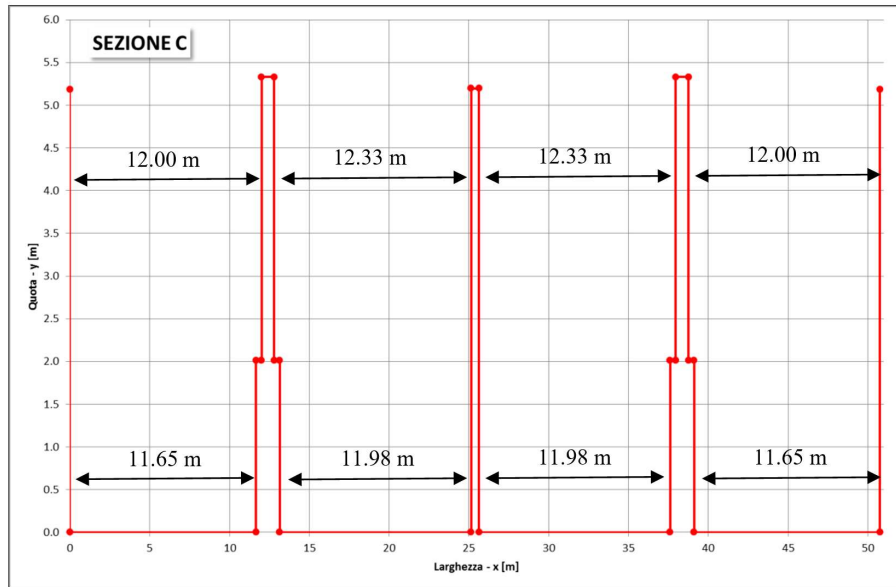


Figura 31 – Sezione tipo del tratto oggetto della Copertura Anni '60.

La copertura termina con un tratto finale a cielo aperto, senza copertura ma ancora con presenza dei setti divisorii tra le canne, di lunghezza pari a circa 20 m. La pendenza media del fondo è costante e pari all'1%, tra le quote di fondo di -1,97 m s.m. e -2,18 m s.m.

La sezione geometrica caratteristica di questo tratto è rappresentata in Figura 32; tutte le quattro canne presentano sezioni costanti, con larghezza delle canne centrali pari a 12,48 m e quelle laterali pari a 12,15 m.

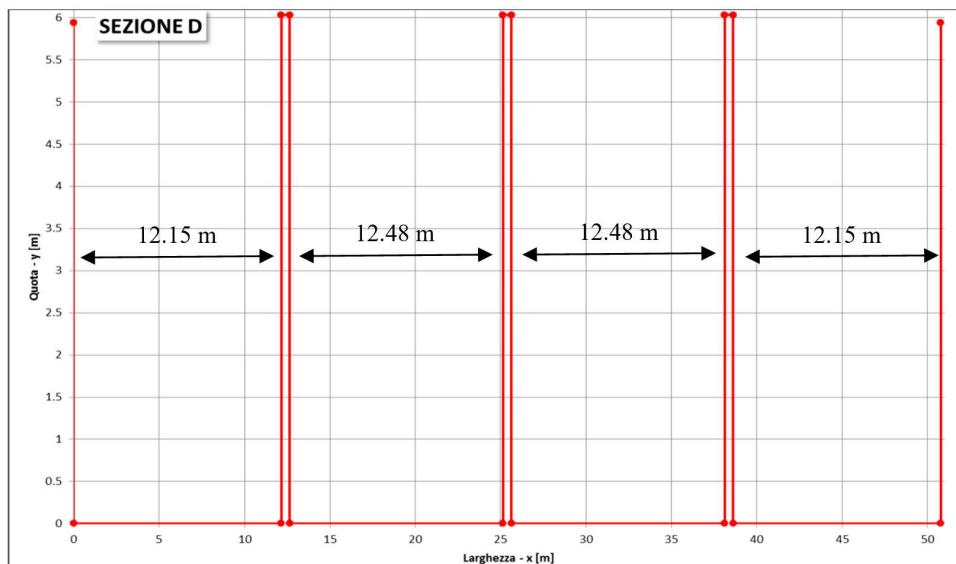


Figura 32 – Sezione tipo del tratto finale a cielo aperto.

2.3 Lo scolmatore delle piene in fase di realizzazione

Elemento fondamentale del sistema organico di interventi previsto per la messa in sicurezza del torrente Bisagno è lo scolmatore delle piene, attualmente in fase di realizzazione, ubicato all'estremità di monte del tratto di indagine del presente studio, all'altezza di via Merello e delle Piscine Sciorba (cfr. capitolo 2.2).

I criteri di dimensionamento adottati nel progetto esecutivo¹ (2019-2020) di tale opera si basano sull'assunzione che la portata derivata dalla presa del Bisagno possa essere in grado da sola di garantire condizioni di compatibilità idraulica nella copertura terminale (per cui in tale sede si è assunta una capacità di deflusso in condizioni di sicurezza di 850 m³/s). Considerando come da PdB una portata massima di piena duecentennale alla foce di circa 1.300 m³/s (cfr. capitolo 3), risulta una portata che l'opera deve essere in grado di derivare pari a 450 m³/s.

Non si considera in questo modo, per maggior cautela, l'apporto dato dallo scolmatore del Fereggiano, tenendo conto della possibile non contemporaneità dei colmi di piena dei due corsi d'acqua. Tale assunzione è stata adottata per coerenza anche nel presente studio, come meglio descritto in seguito.

Poiché la finestra di accesso per il cantiere è posta in prossimità dell'affluente rio Sciorba, in progetto si è previsto di derivare anche le portate di piena di tale rio, il cui tratto terminale tombato non risultava adeguato per il deflusso della piena di riferimento. La portata di piena duecentennale dello Sciorba alla confluenza da Piano di Bacino risulta pari a 8,5 m³/s. Per massima cautela le opere a valle dell'immissione di tale apporto sono state dimensionate considerando una portata arrotondata di **460 m³/s**, ovvero assumendo (improbabili) condizioni di contemporaneità tra il picco di piena del rio e la massima derivazione di portata dal Bisagno. L'effetto prodotto dai nuovi manufatti sull'assetto idraulico del rio è descritto nel capitolo 8.

Lo schema di funzionamento generale dello scolmatore è rappresentato in Figura 33. In Figura 34 è invece fornito un dettaglio delle opere in alveo.

L'opera di presa è costituita da uno sfioratore laterale posto al piede della sponda sinistra, con canale collettore a tergo di larghezza crescente verso valle. La lunghezza della soglia sfiorante è di circa 120 m. Al termine del canale collettore, lungo come lo sfioro, è presente un salto di fondo di circa 4 m, raccordato con profilo Creager, che raggiunge una camera di calma dalla quale si diparte, con stacco a 90° sulla parete sinistra, la galleria di adduzione, avente sezione policentrica di dimensione 10,4 m (Figura 35).

Tale galleria, con funzionamento a pelo libero, collega la camera di calma con un camerone preposto al montaggio della fresa, a cui afferisce una galleria di accesso da piano campagna (area ex canile – Sciorba), attraverso la quale sono derivate anche le portate di piena del rio Sciorba. La galleria di adduzione è stata prevista con pendenza ridotta (0,25%) per poter verificare condizioni di corrente lenta in corrispondenza di tutte le portate defluibili in condizioni standard di esercizio, evitando così la formazione di un risalto in corrispondenza dell'allargamento dovuto al camerone. Lo sbocco nel camerone avviene con salto di fondo di oltre 1,1 m.

¹ Commissario straordinario delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii. *Secondo Lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno in Comune di Genova. Progetto Esecutivo*. ATI Rocksoil S.p.A., HYDRODATA S.p.A., Art S.r.l., ing. Cangiano, ing. Gallo, ing. De Sanctis, dott.ssa Giomi. 2019-2020.

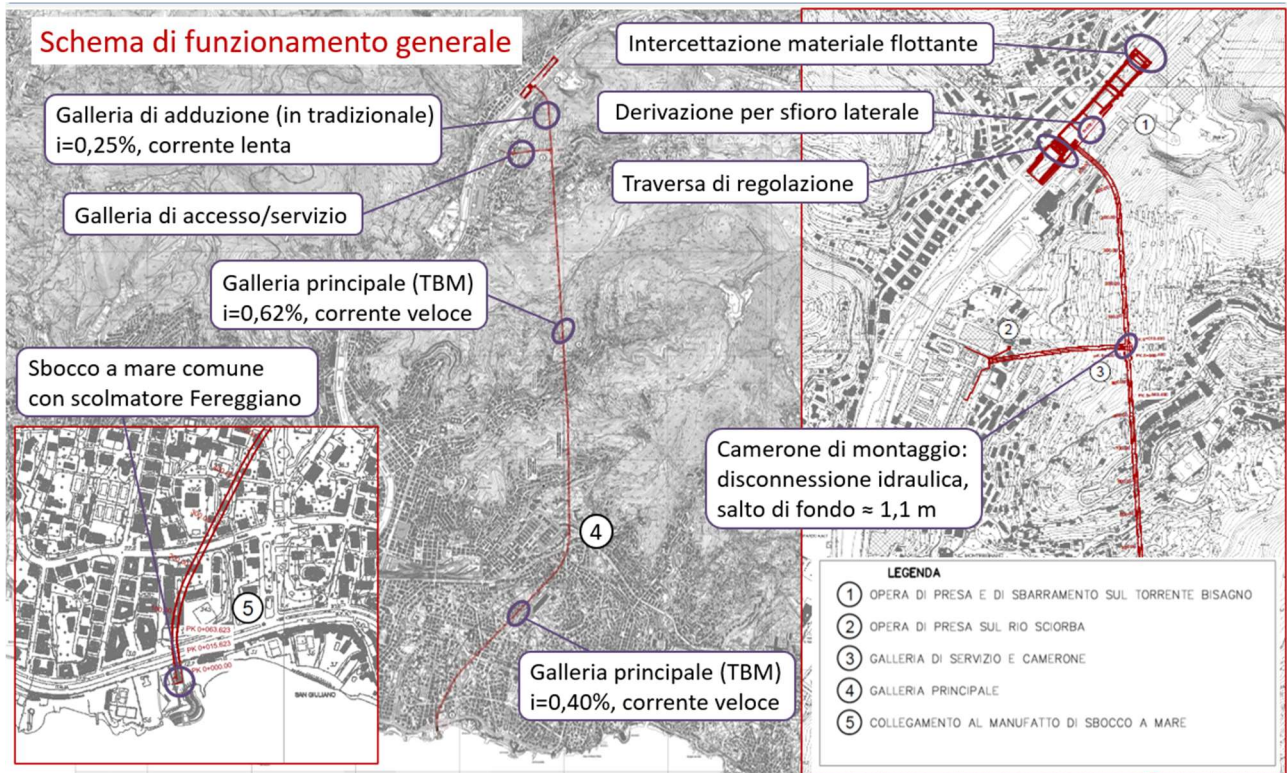


Figura 33 – Scolmatore delle piene del torrente Bisagno: schema di funzionamento generale.

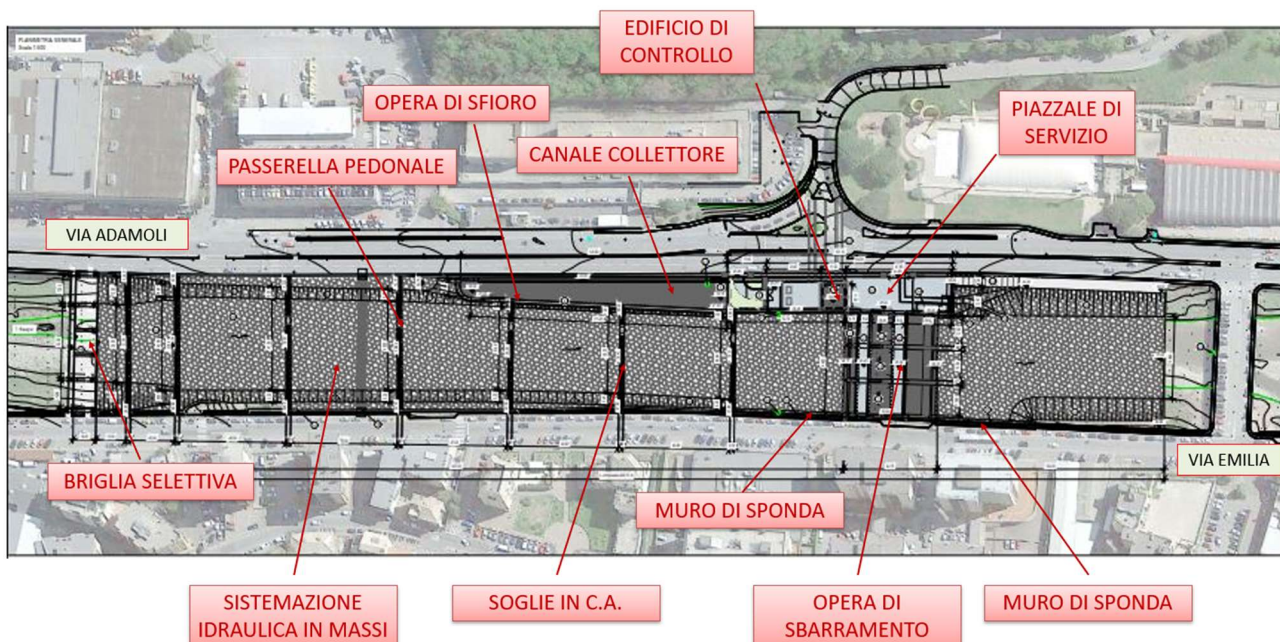


Figura 34 – Scolmatore delle piene del torrente Bisagno: dettaglio delle opere in alveo.

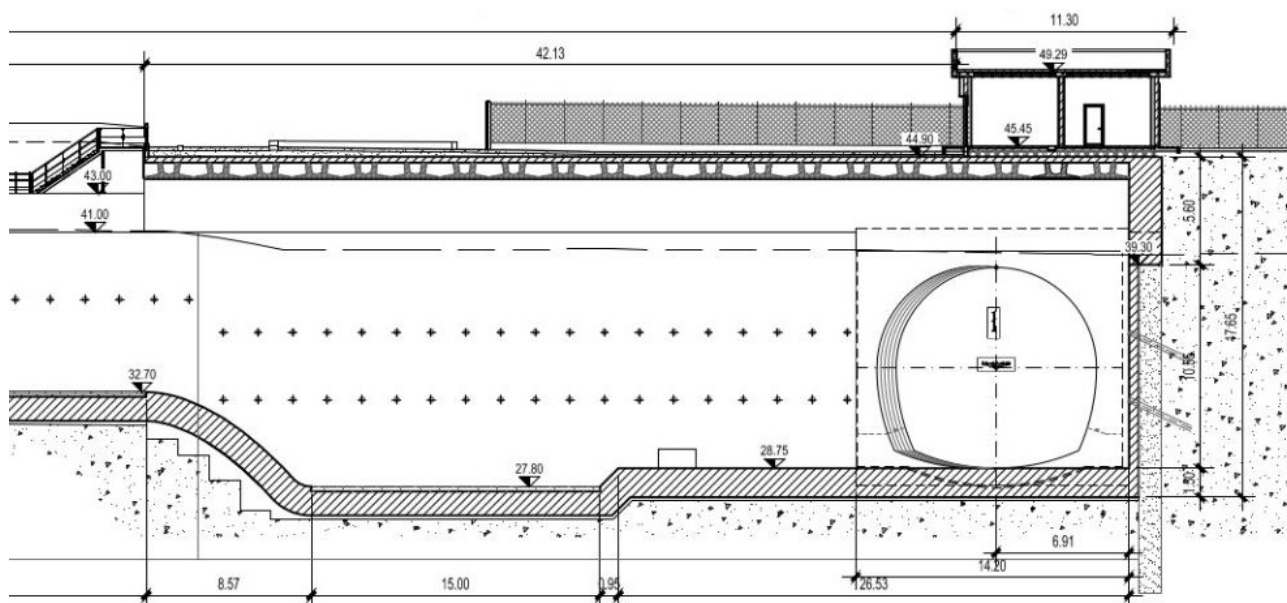


Figura 35 – Scolmatore delle piene del torrente Bisagno: dettaglio del salto di fondo a valle del canale collettore e della sezione di imbocco della galleria di adduzione.

La galleria principale, anch'essa con funzionamento a pelo libero nelle condizioni di progetto, ha origine dalla parete di valle del camerone e si sviluppa fino allo sbocco a mare con pendenza media pari a circa lo 0,5%. In ragione dell'interferenza con le gallerie ferroviarie nel tratto di valle, la pendenza del tratto è stata impostata su due livellette a pendenza costante, pari a circa 0,62% nel tratto di monte e 0,40% in quello di valle. La sezione (scavata in TBM) è circolare, con diametro di progetto pari a 9,50 m (incrementato poi a 9,70 m in fase di cantiere). Il deflusso della portata di progetto avviene in condizioni di corrente veloce.

Il manufatto di sbocco a mare è comune con lo scolmatore del Fereggiano, ed è stato dimensionato nell'ambito del progetto esecutivo di quest'ultimo (attualmente già realizzato). Per le finalità della verifica idraulica si è considerata una portata allo sbocco (somma dei contributi di Bisagno e Fereggiano) pari a quella complessiva definita dal progetto definitivo del 2007, ovvero 520 m³/s. Sono state effettuate inoltre analisi idrauliche di approfondimento considerando per massima cautela la contemporaneità perfetta tra tutti i contributi potenzialmente derivabili (Bisagno, Fereggiano, Rovare, Noce, Sciorba), giungendo a una portata massima di 460+136 = 596 m³/s, e considerando l'effetto di disturbo idrodinamico provocato dalla confluenza dei due flussi nel manufatto di imbocco (analizzato mediante modello fisico e modello numerico bidimensionale).

Il livello idrico in alveo presso l'opera di presa, che determina l'entità della portata sfiorata, è regolato da una traversa dotata di 3 paratoie a settore e due pile di supporto delle stesse. La geometria e le modalità di regolazione del nodo di presa sono state studiate con modellistica numerica 1D e 2D, e mediante modellistica fisica.

La configurazione di apertura delle paratoie che permette la corretta ripartizione tra portata derivata e portata in alveo non è univoca; le simulazioni condotte mediante il modello fisico hanno consentito di definire la configurazione di aperture risultata ottimale in termini di stabilità delle portate e idoneità di funzionamento della derivazione. La configurazione di apertura proposta come riferimento di progetto è individuata in Tabella 1.

Paratoia	Apertura [m]
Sinistra	3,00
Centro	2,80
Destra	2,90

Tabella 1 – Aperture, di riferimento per la gestione delle opere, delle tre paratoie dello sbarramento.

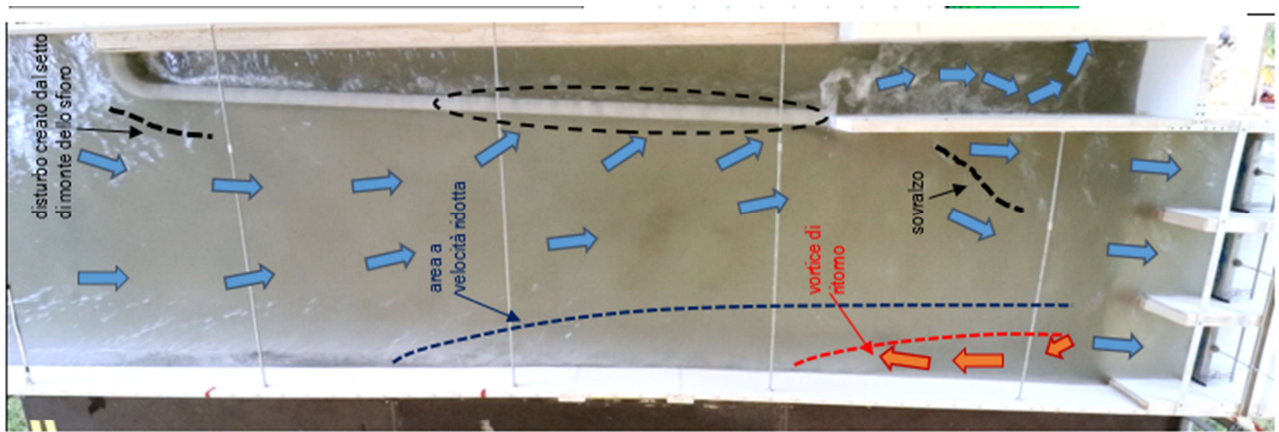


Figura 36 – Scolmatore delle piene del torrente Bisagno: schema effettivo dei flussi in alveo osservato nelle prove condotte con modello fisico.

Simulazioni condotte con il modello numerico 2D calibrato con i risultati del modello fisico hanno permesso di definire l'andamento delle portate derivate dallo scolmatore in funzione delle portate afferenti in alveo (Figura 37).

L'avvio della derivazione avviene per una portata pari a circa 320 m³/s, sostanzialmente pari a un evento con tempo di ritorno decennale. Per valori inferiori l'intera portata viene rilasciata nell'alveo a valle.

Al crescere della portata in ingresso l'incremento di portata derivata è piuttosto rapido, essendo governato dallo sfioro libero sullo stramazzo, mentre la curva delle portate rilasciate a valle si "appiattisce" per effetto delle paratoie, che causano l'instaurarsi di un deflusso sotto battente.

Per valori superiori alla portata di progetto si nota un flesso nella curva della portata derivata, con graduale cambio di concavità a partire dai 570-580 m³/s (incipiente moto in pressione all'imbocco della galleria di adduzione per effetto della maggior portata defluente) che tende gradualmente a un andamento tipico di luce sotto battente, fino ai 660 m³/s circa che caratterizzano l'evento di piena cinquecentennale, in corrispondenza del quale il moto nella galleria di adduzione è completamente in pressione.

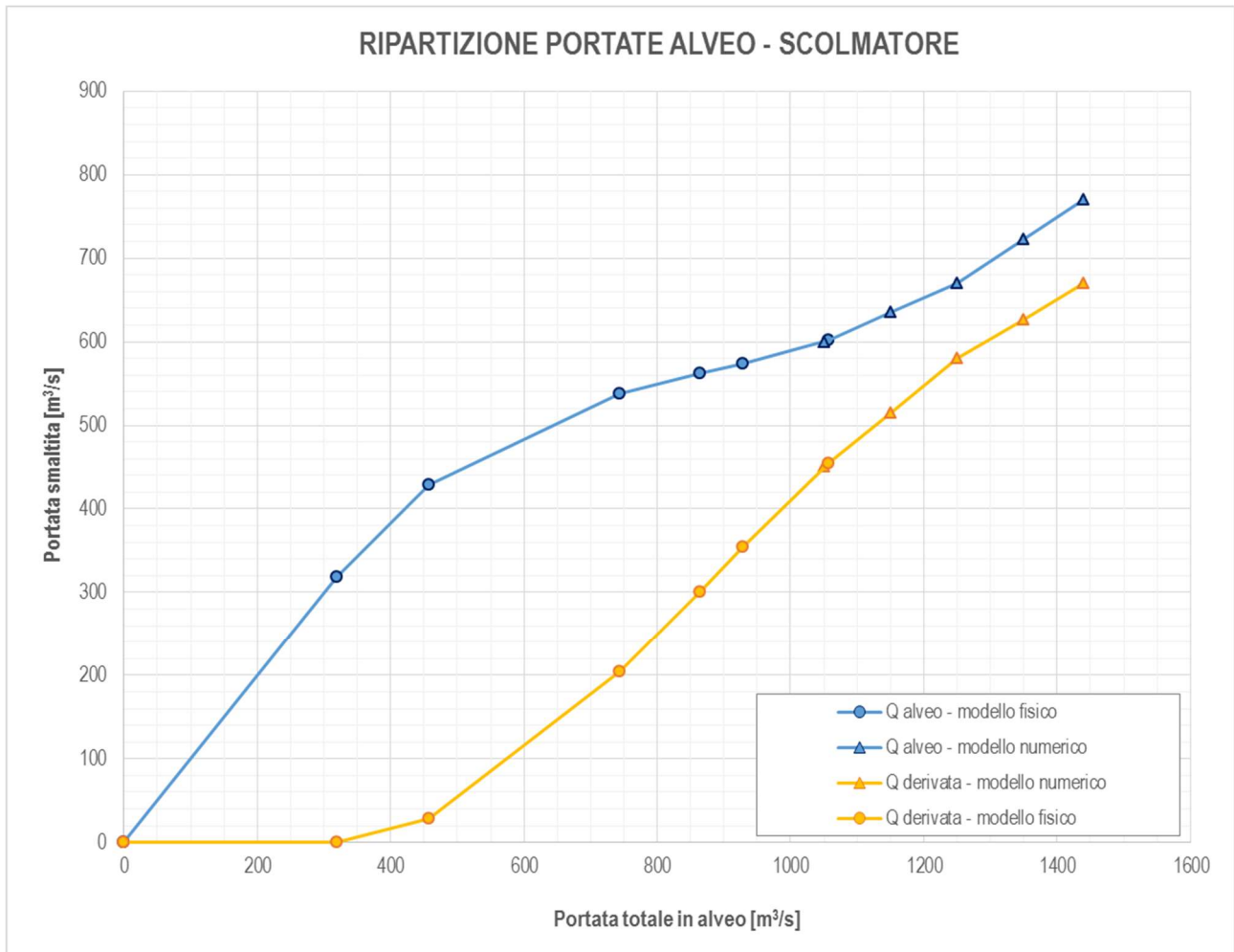


Figura 37 – Andamento delle portate derivate e rilasciate a valle in funzione della portata in ingresso, con la configurazione di apertura di riferimento.

A monte dell'opera di presa è prevista la realizzazione di una briglia selettiva, per intercettare il materiale flottante di grosse dimensioni impedendo che esso possa parzialmente ostruire la luce di sfioro o della traversa di regolazione. La presenza di tale briglia limita anche la possibilità di ostruzione degli attraversamenti e strutture poste più a valle, dove l'alveo è artificializzato e inserito in tessuto urbano continuo, senza possibilità di ulteriori significativi apporti di materiale flottante di grandi dimensioni.

3. CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA

3.1 Portate al colmo di piena di riferimento

Le portate idrologiche al colmo di piena per diversi tempi di ritorno del torrente Bisagno sono definite nel vigente Piano di Bacino stralcio.

Il reticolo idrografico principale oggetto dell'analisi, dalla confluenza del torrente Geirato fino allo sbocco a mare, è schematizzato in Figura 38. In tale figura sono rappresentati i nodi idrologici di riferimento considerati nel Piano stesso e i corrispondenti valori di portata di piena di riferimento.

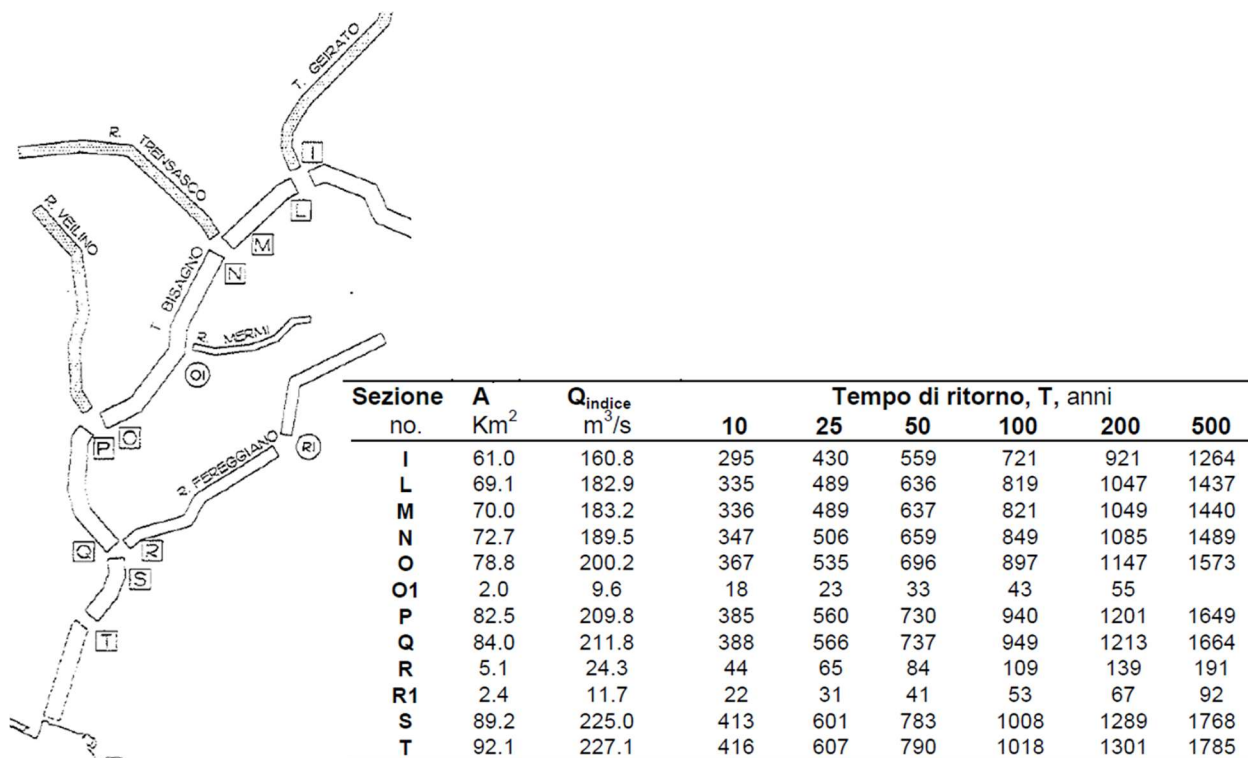


Figura 38 – Sezioni idrologiche del Piano di Bacino e corrispondenti valori di portata di piena di riferimento.

Nella definizione dell'input di portata al modello (cfr. capitolo 4.6) sono stati definiti contributi concentrati e distribuiti di portata tali da raggiungere, in condizioni di assenza di esondazioni, i valori idrologici riportati in tabella nelle sezioni corrispondenti, con graduale crescita del colmo di piena.

Si evidenzia in particolare come lo schema di progressivo incremento identifichi un contributo del Fereggiano al colmo di piena del Bisagno pari a 76 m³/s per l'evento duecentennale, a fronte dei 139 m³/s che caratterizzano l'evento di piena duecentennale dell'affluente; la differenza è data dal considerare la non contemporaneità dei colmi di piena dei due corsi d'acqua.

Nel citato studio di "Riperimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità del tratto terminale del torrente Bisagno da Ponte Serra alla Foce" (ITEC2020) per considerare l'effetto dello scolmatore del Fereggiano la portata a valle confluenza era ridotta a 744 m³/s (TR50), 1.217 m³/s (TR200), 1.679 m³/s (TR500), riducendo quindi l'apporto del rio rispettivamente a 7 m³/s, 4 m³/s e 15 m³/s.

Per le finalità del presente studio, come già anticipato, coerentemente con le ipotesi alla base del progetto dello scolmatore del Bisagno non è stata considerata una riduzione degli apporti idrologici complessivi del bacino del Bisagno ad opera dello scolmatore, a favor di sicurezza e per la complessità di corretta valutazione del reale effetto di quest'ultimo in corrispondenza di eventi idrologici sia di minore gravosità rispetto a quelli di progetto (ipotizzabili in concomitanza dell'evento critico per il Bisagno) che non in fase come colmo di piena.

Tale assunzione comporta di considerare una portata alla foce (valore idrologico di PdB) maggiore di circa il 4,4% per l'evento di piena duecentennale rispetto allo studio ITEC2020.

3.2 Idrogrammi di piena

Per la determinazione degli idrogrammi con tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni da utilizzare come condizioni al contorno in ingresso ai modelli idrodinamici si è fatto riferimento all'analisi idrologica del già citato studio "Approfondimento idraulico dei piani di Bacino dei torrenti Bisagno e Chiaravagna" (Studio DHI2014) alla base del vigente PdB, per mantenere la coerenza nelle assunzioni che hanno portato alla definizione dell'attuale pianificazione di pericolosità idraulica.

Tale studio fa riferimento ad un modello idrologico afflussi-deflussi che implementa il metodo dell'idrogramma unitario, mediante il codice di calcolo MIKE 11 – UHM del DHI, con modalità coerenti con quanto previsto dalla DGR 91/2013. Il modello idrologico è stato tarato sull'evento di piena del novembre 2011 su Fereggiano e Bisagno e fornisce per il torrente Bisagno le serie temporali di portata con tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni in 4 sezioni idrografiche: in chiusura del bacino sotteso dal ponte Feritore, dei bacini immediatamente a monte e a valle della confluenza con il rio Fereggiano e del bacino alla foce in mare.

Gli idrogrammi di portata utilizzati nel presente studio sono rappresentati in Figura 39, Figura 40 e Figura 41 per i tre tempi di ritorno di riferimento.

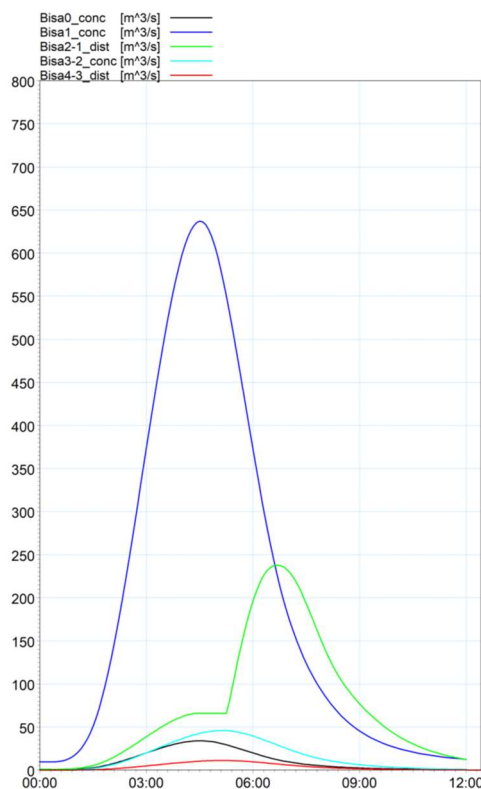


Figura 39 – Idrogrammi di massima piena per tempo di ritorno di 50 anni.

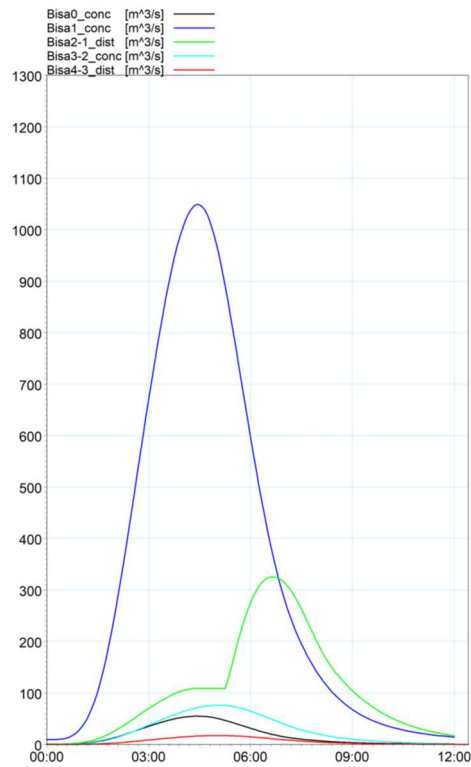


Figura 40 – Idrogrammi di massima piena per tempo di ritorno di 200 anni.

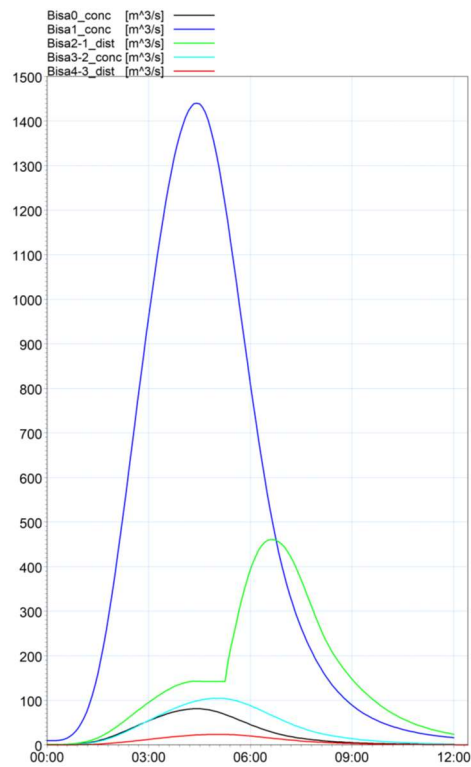


Figura 41 – Idrogrammi di massima piena per tempo di ritorno di 500 anni.

L'idrogramma principale è quello proprio del Bisagno alla sezione idrologica "M" del PdB, ottenuto riscalandolo opportunamente l'idrogramma di monte dello studio DHI2014 che partiva dalla sezione idrologica "N" (circa il 3% di differenza).

Si è quindi mantenuto, per coerenza, lo stesso schema di apporti dello studio pregresso, in termini di contributi concentrati e distribuiti lungo l'asta, adeguando unicamente la forma di alcuni idrogrammi per verificare la corretta sovrapposizione dei colmi anche nella configurazione con scolmatore attivo, in modo da rispettare i progressivi contributi teorici definiti dal PdB per i nodi idrologici di riferimento (Figura 38 – v. anche capitolo 4.6).

4. ALLESTIMENTO DEL MODELLO NUMERICO

4.1 Dati geometrici

L'allestimento del sistema modellistico numerico si è basato sull'integrazione di differenti basi topografiche.

Per le aree esterne all'alveo, descritte da modellistica con schema bidimensionale, si è fatto riferimento al modello digitale del terreno (DTM) fornito da Regione Liguria nel sistema di riferimento Roma 40 Gauss Boaga fuso Ovest, consistente in un'elaborazione dei modelli topografici derivanti da scansione LiDAR su piattaforma aerea eseguita dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale 2009-2011, in sistema di riferimento WGS84.

Tale DTM era già stato utilizzato nello studio DHI2014 rielaborandolo su una maglia a risoluzione 3 m. Nella presente analisi è stato necessario estendere il DTM di tale studio (che considera il tratto dal ponte Feritore alla foce) verso Nord di circa 500 m per coprire la maggiore estensione verso monte dell'area indagata (fino all'opera di presa dello scolmatore).

Per quanto riguarda la geometria dell'alveo inciso, la configurazione rappresentata fa riferimento all'assetto attuale delle strutture presenti, con particolare riferimento al completamento dei lavori di sistemazione idraulica della copertura del tratto terminale. All'interno del modello sono state inoltre rappresentate le opere che costituiscono lo scolmatore in fase di realizzazione, con riferimento alla schematizzazione del progetto esecutivo approvato.

Per la rappresentazione dei vari tratti sono state integrate diverse basi topografiche e geometriche, come di seguito elencato, procedendo da monte verso valle. Sulla base dei sopralluoghi eseguiti si è riscontrata la congruenza di tali geometrie con l'assetto attuale del corso d'acqua descritto nel capitolo 2.2.

- Tratto dal ponte di Via Fleming al ponte Feritore (da progressiva "-1272.85 m" a progressiva "654.64 m" nel modello MIKE11).

La geometria dell'alveo e degli attraversamenti presenti in questo tratto di monte deriva dal rilievo topografico-celerimetrico di dettaglio eseguito nell'autunno 2017 nell'ambito del già citato Progetto² Esecutivo del "Secondo lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno in Comune di Genova".

² Commissario straordinario delegato per l'attuazione degli interventi inseriti nell'A.d.P. del 16.09.2010 e ss.ii. *Secondo Lotto dei lavori relativi alla realizzazione della galleria scolmatrice del torrente Bisagno in Comune di Genova. Progetto Esecutivo.* ATI Rocksoil S.p.A., HYDRODATA S.p.A., Art S.r.l., ing. Cangiano, ing. Gallo, ing. De Sanctis, dott.ssa Giomi. 2019-2020.

La rappresentazione delle opere in progetto, sia in alveo (traversa, sfioratore di derivazione, risagomatura dell'alveo, briglia selettiva) sia riferite al sistema scolmatore vero e proprio (nodo di presa, galleria di adduzione, camerone di raccordo, galleria principale fino alla foce in mare) è derivata dal modello idrodinamico monodimensionale allestito per il Progetto Esecutivo citato, calibrato in funzione dei risultati delle indagini condotte con modellistica fisica per rappresentare correttamente il funzionamento idrodinamico del nodo (prevalentemente in termini di ripartizione delle portate derivate e rilasciate in alveo a valle traversa).

Si precisa a tal proposito che per ottenere tale risultato nel modello 1D sono state imposte (in sede di Progetto Esecutivo, e qui mantenute) aperture fittizie alle paratoie della traversa, diverse da quelle effettive di progetto (rif. Tabella 1), che invece sono state riprodotte esattamente nel modello 2D e nel modello fisico del progetto citato. Questa discrepanza è dovuta al fatto che il modello 1D non è in grado di rappresentare adeguatamente la distribuzione trasversale dei flussi che si verifica presso il nodo di presa, e che influenza le modalità di derivazione (v. Figura 36). La geometria fittizia introdotta nel modello 1D consente di tenere forfettariamente in conto questi effetti verificando la coerenza con le scale di deflusso effettive delle opere in progetto (v. Figura 37), permettendo quindi di utilizzare il modello 1D per rappresentare correttamente l'andamento dei deflussi in alveo e nella galleria. Per l'analisi accurata dei livelli idrici in alveo a monte traversa occorre invece fare riferimento alla modellistica bidimensionale del Progetto Esecutivo, alla quale si rimanda, in relazione della significativa variabilità trasversale; per questo motivo nel presente studio non sono forniti risultati di dettaglio sui profili di piena di progetto a monte del ponte Ugo Gallo.

In maggior dettaglio il modello 1D acquisito dal Progetto Esecutivo copre un'estensione d'alveo di circa 1980 m, dal ponte Feritore fino a poco a monte del ponte di via Fleming, ivi compresa la briglia selettiva di trattenuta dei corpi galleggianti, prevista circa 900 m a monte dello sbarramento (ovvero poco a valle del ponte Fleming), così da evitare i possibili effetti negativi di rigurgito verso monte, proteggendo invece opportunamente lo stramazzo di presa per evitare l'immissione di materiale flottante in galleria.

- Tratto dal ponte Feritore a circa 60 m a monte della copertura terminale (da progressiva "655.59 m" a progressiva 5297.90 m" nel modello MIKE11):

Nel tratto principale del modello si è considerata la geometria implementata nello studio DHI2014, alla base della vigente perimetrazione di pericolosità idraulica del PdB. Lo studio a sua volta ha considerato come fonte principale i modelli idrodinamici monodimensionali sviluppati nell'ambito del Piano di Bacino Stralcio del Torrente Bisagno dall'allora Provincia di Genova, integrandone opportunamente le geometrie in accordo con rilievi integrativi realizzati nel 2013 (sia eseguiti nell'ambito dello studio stesso che effettuati da ARPAL). Il modello è stato inoltre calibrato sulle osservazioni disponibili dell'evento di piena del 2011.

Da rilevare come la geometria inserita nel modello, nella più recente versione disponibile, non consideri il sovrizzo ad opera dei muretti spondali presenti in alcuni tratti. In accordo con la Regione si era infatti assunta tale ipotesi cautelativa non avendo la certezza (anche a seguito del verificarsi di alcuni cedimenti in eventi passati) che i muretti costituiscano un'effettiva protezione in caso di livello in alveo superiore al piano strada. Tali strutture non sono infatti state progettate per il contenimento del deflusso, e in alcuni tratti sono assimilabili a semplici parapetti.

Per mantenere la coerenza con le ipotesi che hanno portato alla definizione delle attuali fasce di pericolosità, nel presente studio la geometria delle sezioni, ed in particolare i punti di collegamento con il modello 2D delle aree esterne all'alveo (cfr. capitolo 4.2), non sono stati variati rispetto allo studio DHI2014.

- Da circa 60 m a monte della copertura terminale alla foce (da progressiva “5350.90 m” a progressiva 6871.87 m” nel modello MIKE11):

Nel tratto terminale la geometria della copertura e dell'alveo a valle del ponte Castelfidardo inserita nel modello deriva da uno specifico rilievo fornito dalla Committenza, che ha aggiornato le geometrie di progetto a seguito del completamento dei recenti interventi di adeguamento strutturale, suddivisi tra diversi lotti e stralci (cfr. capitolo 2.2).

Le sezioni inserite sono quelle di maggior interesse idraulico nel tratto in progetto in modo da considerare adeguatamente i cambi di pendenza, la variabilità della quota di intradosso, la minore/maggiore larghezza utile al deflusso di piena e le variazioni di larghezza della sezione.

4.2 Approccio metodologico modellistico

A partire dalle informazioni topografiche precedentemente indicate è stato allestito un modello numerico idraulico utilizzato per l'analisi 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.

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 gli allegati 1 e 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'uno dall'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 il modello allestito, 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.

4.3 Condizione al contorno di valle (mare)

La condizione idrodinamica di valle del modello 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 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).

Nel Progetto Esecutivo dei diversi lotti della copertura del tratto terminale del Bisagno (da via Canevari al mare) il livello di mare di riferimento è stato assunto pari a 0,1 m s.m., precisando però come un'analisi di sensibilità condotta sul modello idraulico avesse evidenziato che variando tale livello in un intervallo significativo non si riscontrassero sensibili variazioni dei livelli di piena sotto la copertura.

Nel più recente Progetto Esecutivo dello scolmatore del torrente Bisagno (2019-2020), riprendendo le analisi già svolte nel relativo Progetto Definitivo, si riporta che *"nelle prove su modello fisico effettuate [nell'ambito del Progetto Definitivo] sia stato assunto, come condizione al contorno di valle, un livello in vasca pari a 0.00 m s.m. per eventi meteomarinici con tempo di ritorno minori o uguali a 10 anni. Per tempi di ritorno superiori è stato invece imposto un livello in vasca pari a +0.50 m s.m. (prototipo) per tenere in considerazione gli effetti di sovrarelevazione del livello medio del mare (storm surges, eustatismo,...) che si verificano in occasione delle perturbazioni atmosferiche più intense"*.

Nello studio del 2014 di DHI, alla base del vigente PdB (a meno delle integrazioni portate dallo studio ITEC del 2020 per il tratto di indagine), è stata condotta un'analisi di dettaglio sulla base di serie temporali di livello idrico registrate dal mareografo di Genova, che consentono di valutare le variazioni dovute alla marea astronomica e quelle dovute allo storm surge, ma non quelle dovute al wave setup dal momento che la strumentazione non risulta esposta all'effetto del moto ondoso. Per integrare l'analisi con quest'ultimo aspetto è stato sviluppato un modello di propagazione a costa del moto ondoso (modello numerico bidimensionale combinato onde-correnti, per indagare le trasformazioni che l'onda subisce nella sua propagazione verso la costa).

Per l'evento di piena del 4/11/2011, sul quale è stato calibrato il sistema modellistico, i livelli massimi di mare sono risultati di circa 0,40-0,45 m s.m. a ridosso dello sbocco della tombinatura e circa 0,3 m s.m. nell'area di mare antistante (Figura 42). Il medesimo modello numerico è stato applicato per determinare le massime altezze di sovrizzo per eventi meteomarinici caratterizzati da tempi di ritorno di 5 e 10 anni, considerabili in sovrapposizione con gli eventi idrologici di maggiore gravosità sul torrente Bisagno (piene con tempi di ritorno di 50, 200, 500 anni), con onde provenienti dal settore di maggiore gravosità per massime altezze (Libeccio). I risultati, sinteticamente rappresentati in Figura 43, mostrano livelli idrici di circa 0,60-0,70 m s.m. a ridosso dello sbocco della tombinatura e circa 0,50-0,55 m s.m. nell'area antistante a valle del setto in sinistra.

In conclusione, a seguito della comparazione e sintesi delle analisi svolte negli studi pregressi, per le finalità del presente studio si è ritenuta adeguata l'assunzione di un livello idrico di riferimento come condizione al contorno di valle per il modello, riferito alla sezione terminale nell'area antistante la foce, pari a **0,50 m s.m.** (valido per tutti i tempi di ritorno indagati).

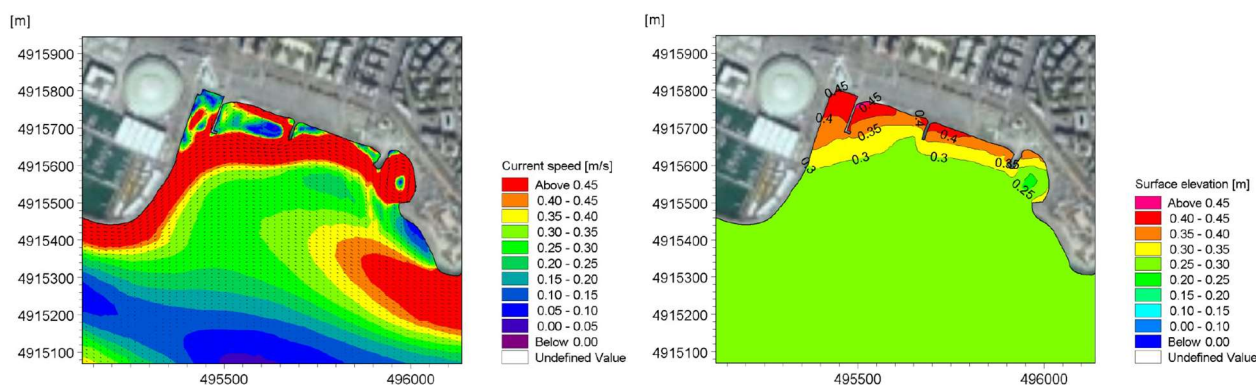


Figura 42 – Analisi dell’evento 4/11/2011 in termini di livello di mare. Sx: andamento delle velocità di corrente all’istante di massimo sovrалzo; dx: livelli idrici massimi osservati nell’evento (Fonte: studio DHI, 2014).

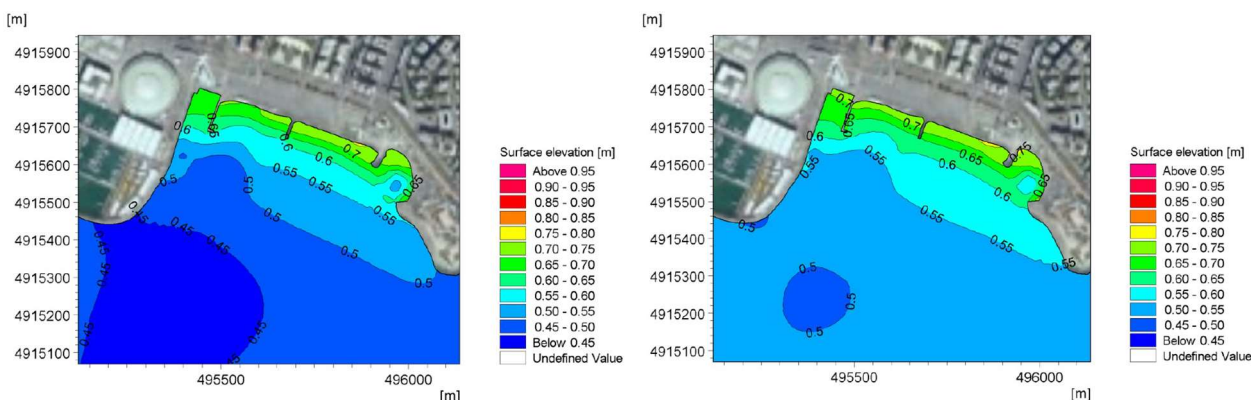


Figura 43 – Analisi dei massimi livelli idrici di mare per eventi meteorologici con tempo di ritorno di 5 anni (sx) e 10 anni (dx) nell’area antistante la foce del Bisagno (Fonte: studio DHI, 2014).

4.4 Messa a punto del modello monodimensionale

Il modello monodimensionale schematizzato nel codice MIKE11 HD (modulo idrodinamico) è costituito da 201 sezioni trasversali, che rappresentano la geometria del torrente Bisagno nella sua parte incisa per un tratto di circa 8.145 m fino allo sbocco a mare. Un secondo ramo di modello descrive anche la galleria scolmatrice fino allo sbocco in mare; esso esula dallo scopo del presente studio ed è stato inserito per rappresentare più accuratamente possibile la modalità di funzionamento dello scolmatore. Pertanto non vengono forniti dati geometrici e risultati relativi a questo ramo, per i quali si rimanda al Progetto Esecutivo dell’opera.

In Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48 è rappresentata l’estensione del modello (traccia dell’asse e delle sezioni utilizzate) su base foto aerea Google; in Tabella 3 è fornita l’anagrafica delle sezioni.

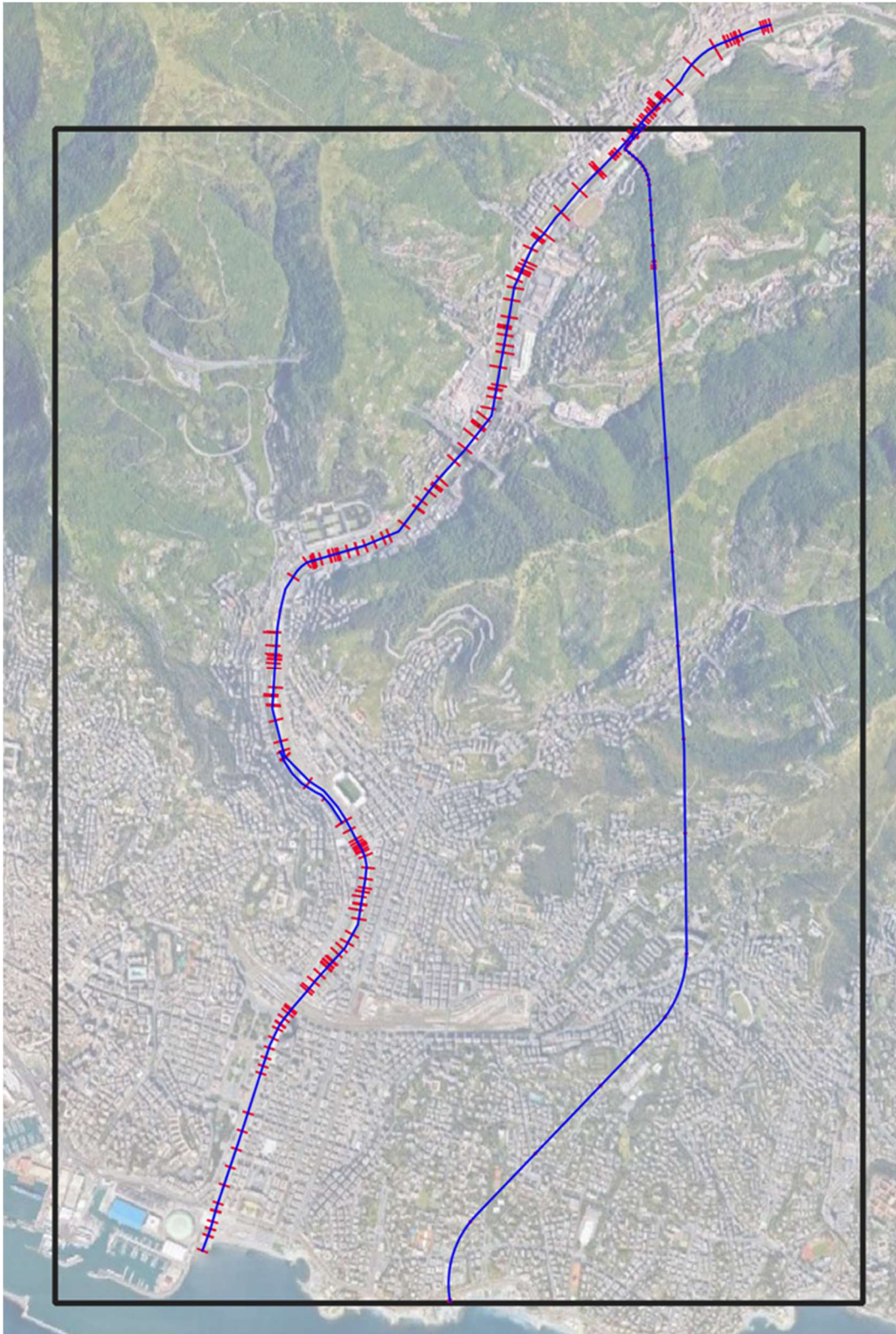


Figura 44 – Network complessivo del modello MIKE11 allestito per il torrente Bisagno. Il rettangolo nero indica l'estensione dell'area del modello 2D.



Figura 45 – Localizzazione delle sezioni inserite nel modello MIKE11 allestito per il torrente Bisagno, tratto 1 (procedendo da monte verso valle).

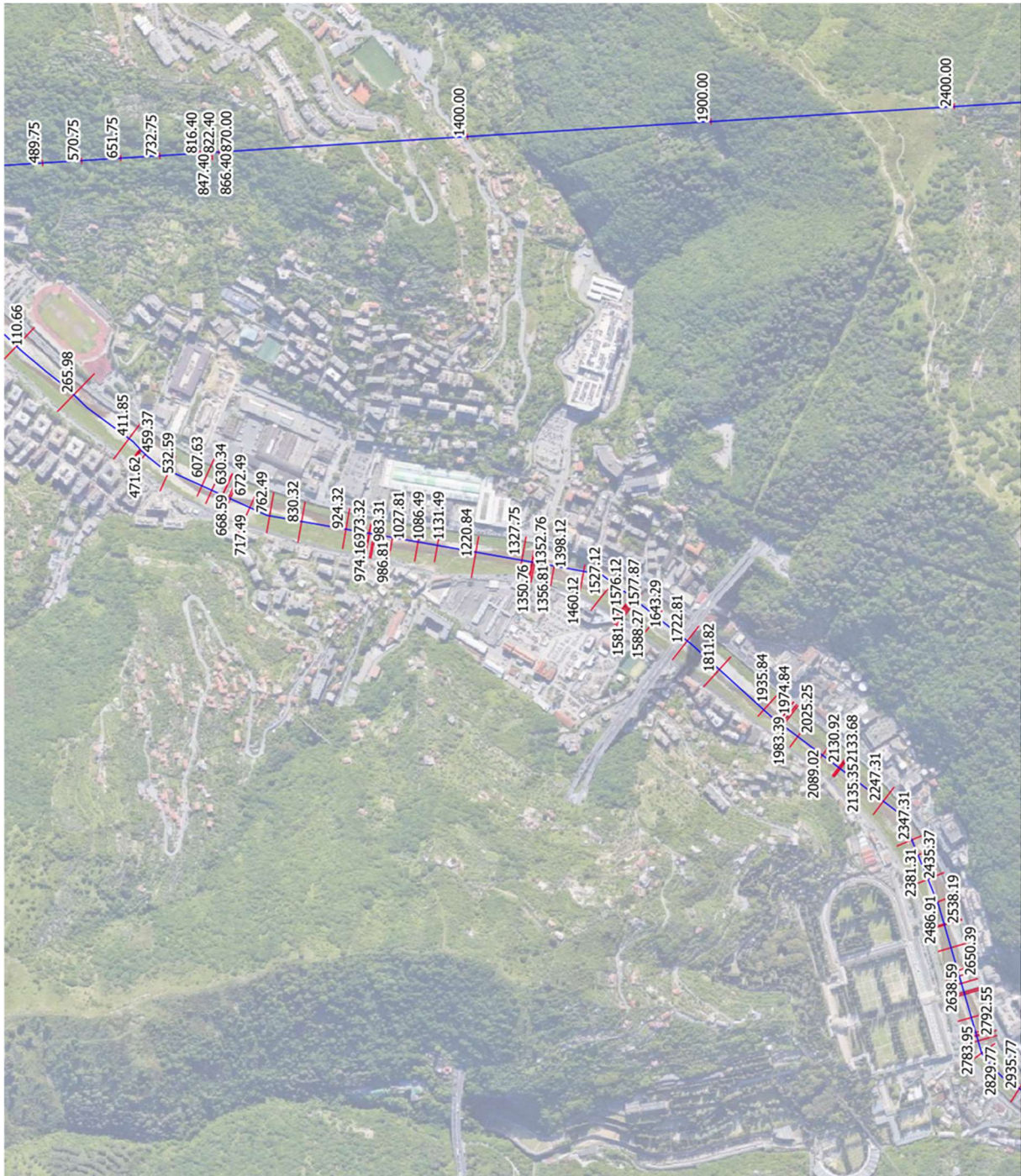


Figura 46 – Localizzazione delle sezioni inserite nel modello MIKE11 allestito per il torrente Bisagno, tratto 2 (procedendo da monte verso valle).

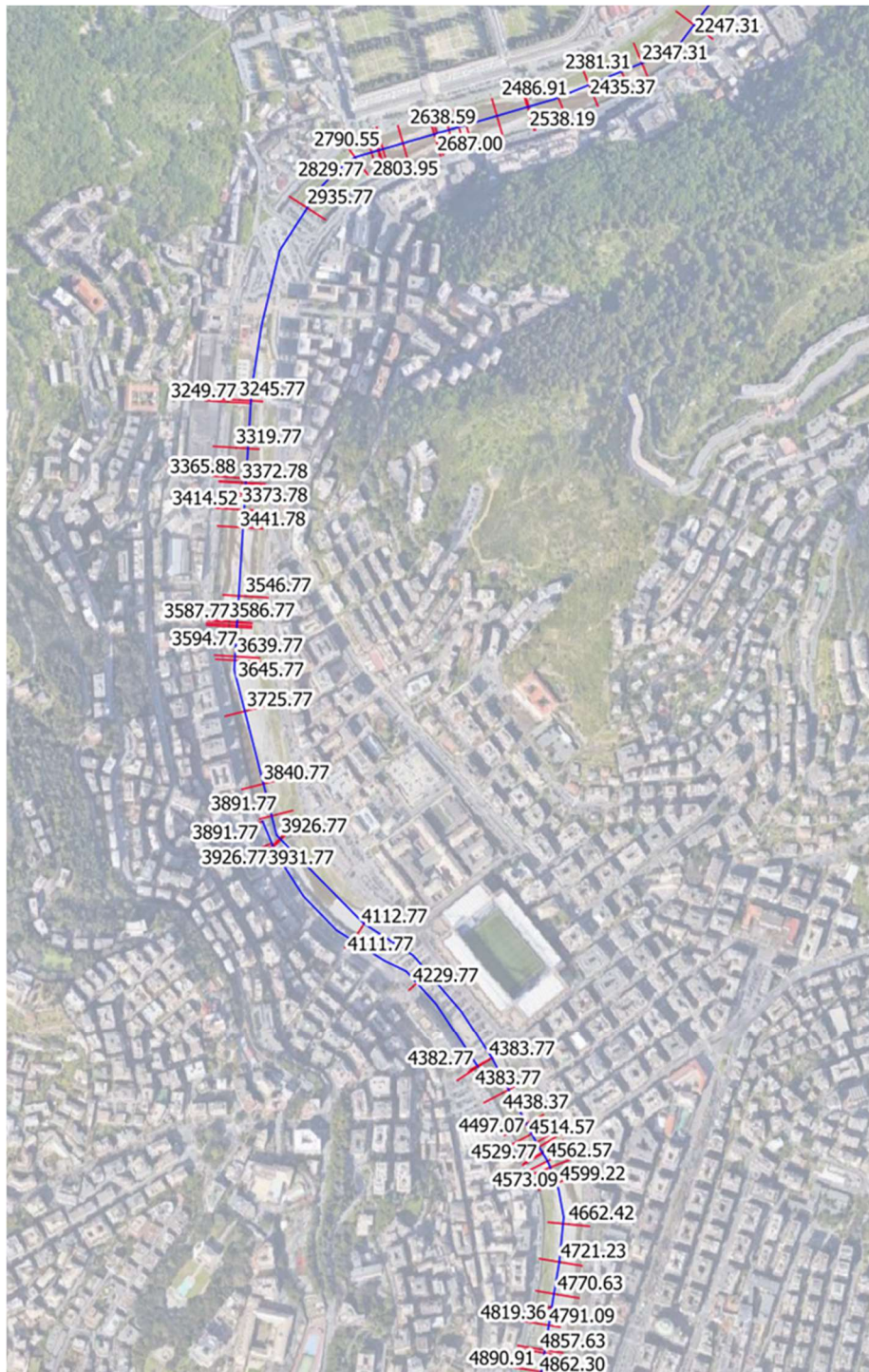


Figura 47 – Localizzazione delle sezioni inserite nel modello MIKE11 allestito per il torrente Bisagno, tratto 3 (procedendo da monte verso valle).

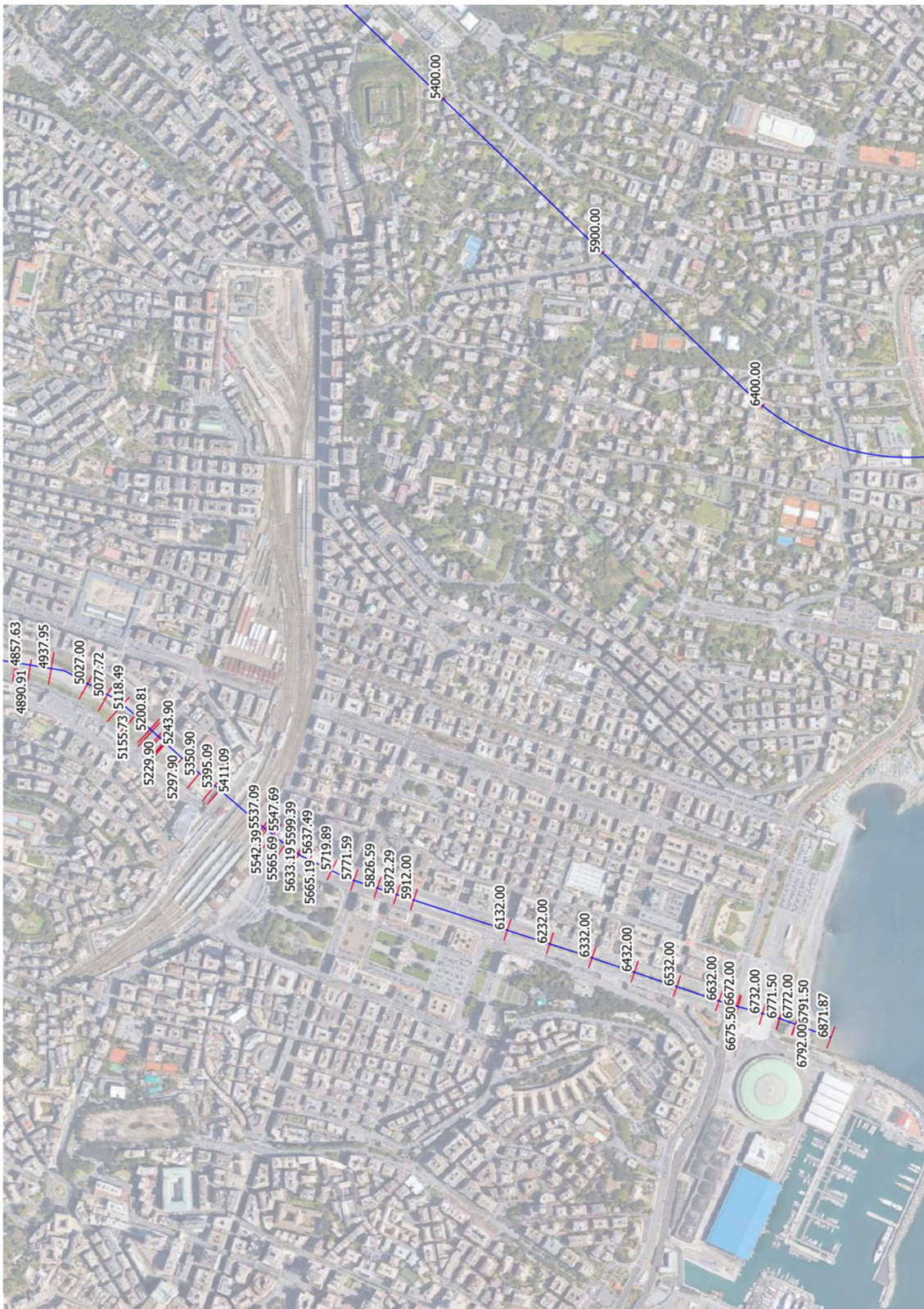


Figura 48 – Localizzazione delle sezioni inserite nel modello MIKE11 allestito per il torrente Bisagno, tratto 4 (procedendo da monte verso valle).

ID Fiume	ID Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Note	Sponda sx	Sponda destra
	[-]	[m]	[m s.m.]		[m s.m.]	[m s.m.]
Bisagno	1.00	-1272,85	47,37		58,24	58,24
Bisagno	5.10	-1252,85	47,31	monte ponte via Fleming	58,18	58,18
Bisagno	5.20	-1223,85	47,26	valle ponte via Fleming	58,18	58,18
Bisagno	10.00	-1104,94	46,88		55,57	51,92
Bisagno	15.00	-1082,82	46,60	monte briglia esistente	55,13	51,60
Bisagno	16.00	-1075,12	45,30	valle briglia esistente	55,13	51,60
Bisagno	20.00	-1072,61	45,29		55,13	51,60
Bisagno	30.00	-1057,64	45,21		54,73	51,35
Bisagno	40.00	-1037,58	45,11		54,73	51,35
Bisagno	45.00	-1017,03	45,01		54,38	51,10
Bisagno	50.00	-1015,03	45,00		54,38	51,10
Bisagno	60.00	-948,56	44,41		53,87	53,05
Bisagno	70.00	-792,88	43,10		51,01	51,52
Bisagno	80.00	-640,66	41,94		48,67	49,50
Bisagno	83.00	-566,25	40,97		48,28	48,31
Bisagno	83.10	-550,25	40,94	monte briglia selettiva	47,02	47,02
				valle briglia selettiva inizio bacino di dissipazione		
Bisagno	83.20	-548,55	38,06		47,02	47,02
Bisagno	83.30	-540,25	38,04	bacino dissipazione	47,02	47,02
Bisagno	83.40	-502,25	37,94	fine bacino di dissipazione monte controbriglia	47,78	47,36
Bisagno	85.00	-501,03	38,94	fine bacino di dissipazione valle controbriglia	47,78	46,07
Bisagno	90.00	-492,76	38,92		47,43	46,09
Bisagno	100.00	-482,97	38,89		47,43	47,09
Bisagno	110.00	-481,27	38,89		47,43	47,09
Bisagno	120.00	-461,96	38,84		47,15	46,74
Bisagno	130.00	-458,18	38,83		47,15	46,74
Bisagno	140.00	-441,54	38,79		47,15	46,74
Bisagno	150.00	-415,64	38,72		46,67	46,13
Bisagno	160.00	-401,32	38,68		46,51	46,05
Bisagno	165.00	-378,52	38,62	inizio sfioro in scolmatore	41,00	45,37
Bisagno	170.00	-350,05	38,55	sfioro in scolmatore	41,00	45,37
Bisagno	180.00	-307,57	38,44	sfioro in scolmatore	41,00	45,04
Bisagno	190.00	-298,66	38,41	fine sfioro in scolmatore	40,99	45,02
Bisagno	200.00	-247,12	38,28		45,48	44,90
Bisagno	210.00	-179,30	38,17	monte paratoie	49,17	49,17
Bisagno	220.00	-162,95	38,17	valle paratoie	49,17	49,17
Bisagno	225.00	-156,95	36,67	inizio bacino dissipazione	49,17	49,17
Bisagno	226.00	-143,45	36,67	fine bacino dissipazione	49,17	49,17
Bisagno	228.00	-139,95	38,07		49,17	49,17
Bisagno	229.10	-42,20	38,17	monte ponte Ugo Gallo	44,86	44,84
Bisagno	229.20	-25,20	38,17	valle ponte Ugo Gallo	44,86	44,84
Bisagno	230.00	110,66	37,60		43,27	43,99
Bisagno	240.00	265,98	36,50		42,25	42,40
Bisagno	250.00	411,85	35,80		41,17	41,26
Bisagno	250.10	457,12	34,00	sezione a monte passerella	41,44	39,70
Bisagno	250.20	461,62	34,00	sezione a valle passerella	41,44	39,70
Bisagno	82.00	471,62	34,00		40,60	40,00
Bisagno	81.00	532,59	33,64		40,60	39,70
Bisagno	80.00	607,63	33,49		40,39	39,78
Bisagno	79.00	630,34	33,55		40,26	39,72
Bisagno	78.40	654,64	32,88		39,99	39,59
Bisagno	78.30	655,59	32,88	sezione a monte di P,Feritore	39,99	39,59
Bisagno	78.20	668,59	32,75	sezione a valle di P,Feritore	39,86	39,46
Bisagno	78.10	672,49	32,75		39,86	39,46
Bisagno	77.00	717,49	32,27		39,68	38,31
Bisagno	76.00	762,49	32,09		39,17	37,90

ID Fiume	ID Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Note	Sponda sx	Sponda destra
	[-]		[m]		[m s.m.]	[m s.m.]
Bisagno	75.00	830,32	31,99		38,91	37,13
Bisagno	74.00	924,32	31,80		38,12	36,15
Bisagno	73.40	973,32	31,56		37,48	36,56
Bisagno	73.30	974,16	31,56	sezione a monte di P,Guglielminetti	37,48	36,56
Bisagno	73.20	983,31	31,46	sezione a valle di P,Guglielminetti	37,38	36,46
Bisagno	73.10	986,81	31,43		37,35	36,43
Bisagno	72.00	1027,81	31,60		37,13	35,65
Bisagno	71.00	1086,49	31,48		36,46	36,10
Bisagno	70.00	1131,49	30,91		36,25	36,44
Bisagno	RiIARPAL_63	1220,84	31,28		35,24	35,24
Bisagno	68.00	1327,75	30,04		35,02	34,65
Bisagno	67.40	1350,76	29,69		34,40	34,47
Bisagno	67.30	1352,76	29,69	sezione a monte di P,Carrega	34,40	34,47
Bisagno	67.20	1356,81	29,69	sezione a valle di P,Carrega	34,30	34,37
Bisagno	66.00	1398,12	27,39		34,43	33,39
Bisagno	65.00	1460,12	26,95		33,66	33,09
Bisagno	64.00	1527,12	26,63		32,83	32,41
Bisagno	63.40	1576,12	25,60		33,84	33,85
Bisagno	63.30	1577,87	25,58	sezione a monte di P,Veronelli	33,82	33,83
Bisagno	63.20	1581,17	25,56	sezione a valle di P,Veronelli	33,80	33,81
Bisagno	63.10	1588,27	25,48		32,73	32,10
Bisagno	62.00	1643,29	25,80		32,16	31,63
Bisagno	61.00	1722,81	25,31		31,68	30,91
Bisagno	60.00	1811,82	25,45		30,53	30,11
Bisagno	59.00	1935,84	23,81		29,37	28,98
Bisagno	58.40	1974,84	23,38		30,10	29,02
Bisagno	58.30	1975,79	23,36	sezione a monte di P,Bezzecca	29,20	29,02
Bisagno	58.20	1983,39	23,20	sezione a valle di P,Bezzecca	29,20	29,02
Bisagno	58.10	1987,29	23,12		30,10	29,02
Bisagno	57.00	2025,25	21,94		29,91	28,39
Bisagno	56.00	2089,02	22,34		29,60	28,00
Bisagno	55.40	2130,92	21,80	sezione a monte della passerella	29,45	28,54
Bisagno	55.20	2133,68	21,77	sezione a valle della passerella	28,52	28,51
Bisagno	55.10	2135,35	21,75		29,40	28,49
Bisagno	54.00	2247,31	22,59		27,79	27,32
Bisagno	53.00	2347,31	21,77		27,18	26,93
Bisagno	52.00	2381,31	21,67		26,90	26,83
Bisagno	51.00	2435,37	22,10		26,50	26,46
Bisagno	50.00	2486,91	21,89		26,34	26,55
Bisagno	48.90	2540,29	19,06		26,06	26,49
Bisagno	48.00	2589,29	18,92		26,06	26,49
Bisagno	47.00	2638,59	18,77		25,95	26,39
Bisagno	45.10	2666,39	18,67	sezione a monte di P,Monteverde	25,80	26,35
Bisagno	44.75	2687,00	18,65	sezione a valle di P,Monteverde	25,98	25,72
Bisagno	RiIARPAL_82	2691,34	18,57		26,32	26,32
Bisagno	44.00	2747,87	18,45		25,58	26,36
Bisagno	43.00	2783,95	18,34		25,41	26,32
Bisagno	42.10	2790,55	18,31		25,56	26,33
Bisagno	42.00	2792,55	18,31		25,56	26,33
Bisagno	41.00	2803,95	17,10		25,47	26,28
Bisagno	40.00	2829,77	16,44		25,25	25,87
Bisagno	38.00	2935,77	16,14	imbocco copertura Staglieno	24,60	24,30
Bisagno	37.00	3245,77	14,90	sbocco copertura Staglieno	22,20	21,80
Bisagno	36.00	3249,77	14,90		22,20	21,80
Bisagno	35.35	3319,77	14,43		21,52	21,35
Bisagno	RiIARPAL_86	3365,88	14,39		21,02	21,02

ID Fiume	ID Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Note	Sponda sx	Sponda destra
	[-]		[m]		[m s.m.]	[m s.m.]
Bisagno	35.30	3372,78	14,08		21,00	21,00
Bisagno	35.20	3373,78	14,08	sezione a monte di P,Campanella	21,00	21,00
Bisagno	35.10	3389,78	14,08	sezione a valle di P,Campanella	20,95	20,95
Bisagno	35.00	3393,78	14,08		21,00	21,00
Bisagno	RilARPAL_88	3414,52	13,97		21,02	21,02
Bisagno	34.00	3441,78	12,77		20,21	20,40
Bisagno	33.00	3546,77	12,67		19,30	19,60
Bisagno	32.30	3586,77	12,99		18,70	19,40
Bisagno	32.20	3587,77	12,99	sezione a monte della passerella pedonale	18,70	19,40
Bisagno	32.10	3591,77	12,99	sezione a valle della passerella pedonale	18,65	19,35
Bisagno	32.00	3594,77	12,99		18,65	19,35
Bisagno	31.50	3639,77	11,81		18,51	18,87
Bisagno	31.00	3645,77	11,65		18,49	18,80
Bisagno	30.00	3725,77	11,55		17,83	18,15
Bisagno	29.00	3840,77	11,25		17,00	17,47
Bisagno	27.00	3891,77	11,30	Connessione alla prima sezione del branch " Parcheggio pensile"	17,30	16,70
Bisagno	26.80	3926,77	11,15	sezione a monte della passerella pedonale	17,30	16,70
Bisagno	26.30	3931,77	11,10	sezione a valle della passerella pedonale	17,30	16,70
Bisagno	25.00	4112,77	10,10	imbocco copertura Marassi	16,52	15,42
Bisagno	24.00	4382,77	9,52	sbocco copertura Marassi	15,60	15,10
Bisagno	23.00	4383,77	9,51	Connessione all'ultima sezione del branch " Parcheggio pensile"	15,60	15,10
Bisagno	22.00	4438,37	9,32		15,57	15,20
Bisagno	21.00	4497,07	9,15		15,31	15,16
Bisagno	20.50	4514,57	9,09		15,15	15,05
Bisagno	20.25	4529,77	8,72		15,15	15,05
Bisagno	20.00	4537,57	8,53		15,15	15,05
Bisagno	19.30	4547,07	8,53		15,13	15,00
Bisagno	19.20	4548,57	8,53	sezione a monte di Ponte Serra	15,13	15,00
Bisagno	19.10	4562,57	8,53	sezione a valle di Ponte Serra	15,11	14,98
Bisagno	19 monte salto	4573,09	8,80		15,33	15,33
Bisagno	18.00	4599,22	7,63		14,95	15,01
Bisagno	17.00	4662,42	7,23		13,68	14,26
Bisagno	16.00	4721,23	6,74		12,40	13,30
Bisagno	15.00	4770,63	6,83		11,59	12,42
Bisagno	14.66	4791,09	6,76		11,50	12,00
Bisagno	14.33	4793,09	6,75		11,49	11,95
Bisagno	14.00	4819,36	6,66		11,37	11,41
Bisagno	13.2 monte ponte	4857,63	6,43	sezione a monte di passerella Firpo	11,32	11,37
Bisagno	13.1 valle ponte	4862,30	6,43	sezione a valle di passerella Firpo	11,32	11,37
Bisagno	12.00	4890,91	6,57		11,40	11,47
Bisagno	11.00	4937,95	6,08		11,42	11,38
Bisagno	10.00	5027,00	5,37		10,98	11,28
Bisagno	9.00	5077,72	5,22		10,64	12,22
Bisagno	8.00	5118,49	4,98		10,47	11,18
Bisagno	7.00	5155,73	4,98		10,61	11,11
Bisagno	6.00	5200,81	4,84		10,76	10,84
Bisagno	5.20	5207,09	4,41	sezione a monte di Ponte Castelfidardo	10,80	10,82
Bisagno	5.10	5225,24	4,41	sezione a valle di Ponte Castelfidardo	10,80	10,82
Bisagno	5.00	5229,90	4,41		10,82	10,82
Bisagno	4.50	5243,90	4,42		10,78	10,78
Bisagno	4.00	5245,90	4,42		10,72	10,90
Bisagno	3.50	5247,90	4,42		10,72	10,40
Bisagno	3.00	5297,90	4,40		10,16	9,32
Bisagno	2.00	5350,90	4,71		10,56	10,56

ID Fiume	ID Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Note	Sponda sx	Sponda destra
					[m s.m.]	[m s.m.]
	[-]	[m]	[m s.m.]			
Bisagno	1.00	5395,09	4,48		10,25	10,25
Bisagno	imbocco copertura Brignole	5411,09	4,40	imbocco copertura terminale - sezione a monte ponte della ferrovia	10,25	10,25
Bisagno	valle ponte	5537,09	3,88	sezione a valle ponte della ferrovia	11,20	11,20
Bisagno	G0	5542,39	3,80		11,20	11,20
Bisagno	G1 - SEZ CC	5547,69	3,70		7,30	7,30
Bisagno	G1bis - SEZ CC	5565,69	3,37		7,59	7,59
Bisagno	G2	5599,39	2,76		7,36	7,36
Bisagno	G3	5633,19	2,15		7,16	7,16
Bisagno	G3 bis	5637,49	2,07		7,08	7,08
Bisagno	G4	5665,19	1,97		7,34	7,34
Bisagno	G5	5719,89	1,79		6,90	6,90
Bisagno	G6	5771,59	1,61		7,12	7,12
Bisagno	G7	5826,59	1,42		6,53	6,53
Bisagno	G8	5872,29	1,27		6,28	6,28
Bisagno	G9	5912,00	1,13		6,00	6,00
Bisagno	0.71 Progr. 600	6132,00	0,33		5,53	5,53
Bisagno	0.7 Progr. 700	6232,00	-0,03		5,17	5,17
Bisagno	0.6 Progr. 800	6332,00	-0,39		4,81	4,81
Bisagno	0.5 Progr. 900	6432,00	-0,75		4,45	4,45
Bisagno	0.4 Progr. 1000	6532,00	-1,11		4,04	4,04
Bisagno	0.3 Progr. 1100	6632,00	-1,47		3,82	3,82
Bisagno	0.2 Progr. 1140	6672,00	-1,61		3,35	3,35
Bisagno	0.11 Progr. 1143.5	6675,50	-1,62		3,35	3,35
Bisagno	0.1 Progr. 1200	6732,00	-1,83		3,35	3,35
Bisagno	0.00 Progr. 1240	6771,50	-1,97		3,35	3,35
Bisagno	m1	6772,00	-1,97	sbocco copertura terminale		
Bisagno	m2	6791,50	-2,18			
Bisagno	m3	6792,00	-2,18			
Bisagno	m4	6871,87	-3,00			
Bisagno: Parcheggio pensile	27.00	3891,77	12,30	Inizio parcheggio pensile	16,50	16,50
Bisagno: Parcheggio pensile	26.80	3926,77	12,15		16,50	16,50
Bisagno: Parcheggio pensile	26.30	3931,77	12,10		16,50	16,50
Bisagno: Parcheggio pensile	26.00	4111,77	11,22		15,99	15,99
Bisagno: Parcheggio pensile	25.00	4229,77	10,48		15,48	15,48
Bisagno: Parcheggio pensile	24.00	4382,77	9,52		14,83	14,83
Bisagno: Parcheggio pensile	23.00	4383,77	9,51	Fine parcheggio pensile	15,27	15,27

Tabella 2 – Anagrafica delle sezioni implementate nel modello MIKE11 (sono escluse quelle interpolate).

Nella porzione di monte il modello idrodinamico in esame è stato realizzato secondo schematizzazione quasi-2D, per rappresentare in modo completo la dinamica di sfioro della portata di progetto nel canale scolmatore.

L'opera di derivazione (stramazzo laterale) è stata infatti schematizzata nel modello come un insieme di più strutture di sfioro tra di loro collegate, denominate "link channel", aventi un'estensione complessiva pari a 120 m, che consentono l'interscambio di portata tra l'alveo del Bisagno e il canale collettore a tergo dello sfioratore,

in funzione dei tiranti idrici che si instaurano nei due rami collegati. Le strutture di sfioro sono ubicate a quota assoluta costante di valore pari a 41,0 m s.m.

Un secondo tratto rappresentato con schema “quasi-2D” è quello della copertura di Marassi, per schematizzare come un ramo separato la canna in destra che ha origine a monte rispetto alle altre (ramo denominato “parcheggio pensile” in Tabella 2.

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

In corrispondenza degli attraversamenti, delle tombinature 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”.

In ALLEGATO 5 si fornisce rappresentazione di tutte le sezioni implementate nel modello 1D, con indicazione del massimo livello di piena risultante per l’evento di piena associato a TR=200 anni.

4.5 Messa a punto del modello bidimensionale delle aree esterne all’alveo

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 capitolo 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 ottenuto 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 DTM elaborato nello studio DHI2014 ad una risoluzione spaziale di 3,0 x 3,0 m, integrandolo (per estensione verso monte) con il modello digitale del terreno fornito dalla Regione Liguria.

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 infatti 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. La maglia di dimensione 3,0 x 3,0 m è composta da 1443 righe e 2101 colonne (3.031.743 punti di calcolo).

Nella Figura 49 è riportata la batimetria complessiva del modello dove è stata inserita la geometria dei fabbricati presenti all'esterno dell'alveo, modificando la quota delle celle che ricadono all'interno della loro impronta (per le finalità della modellazione la quota edifici è stata imposta a +230 m).

Nella geometria di input del modello sono state inoltre rese inattive le celle ricadenti all'interno del ramo di alveo inciso appartenente al dominio del modello MIKE11. Il contributo di tali celle al deflusso della piena, infatti, viene già descritto da quest'ultimo modello.

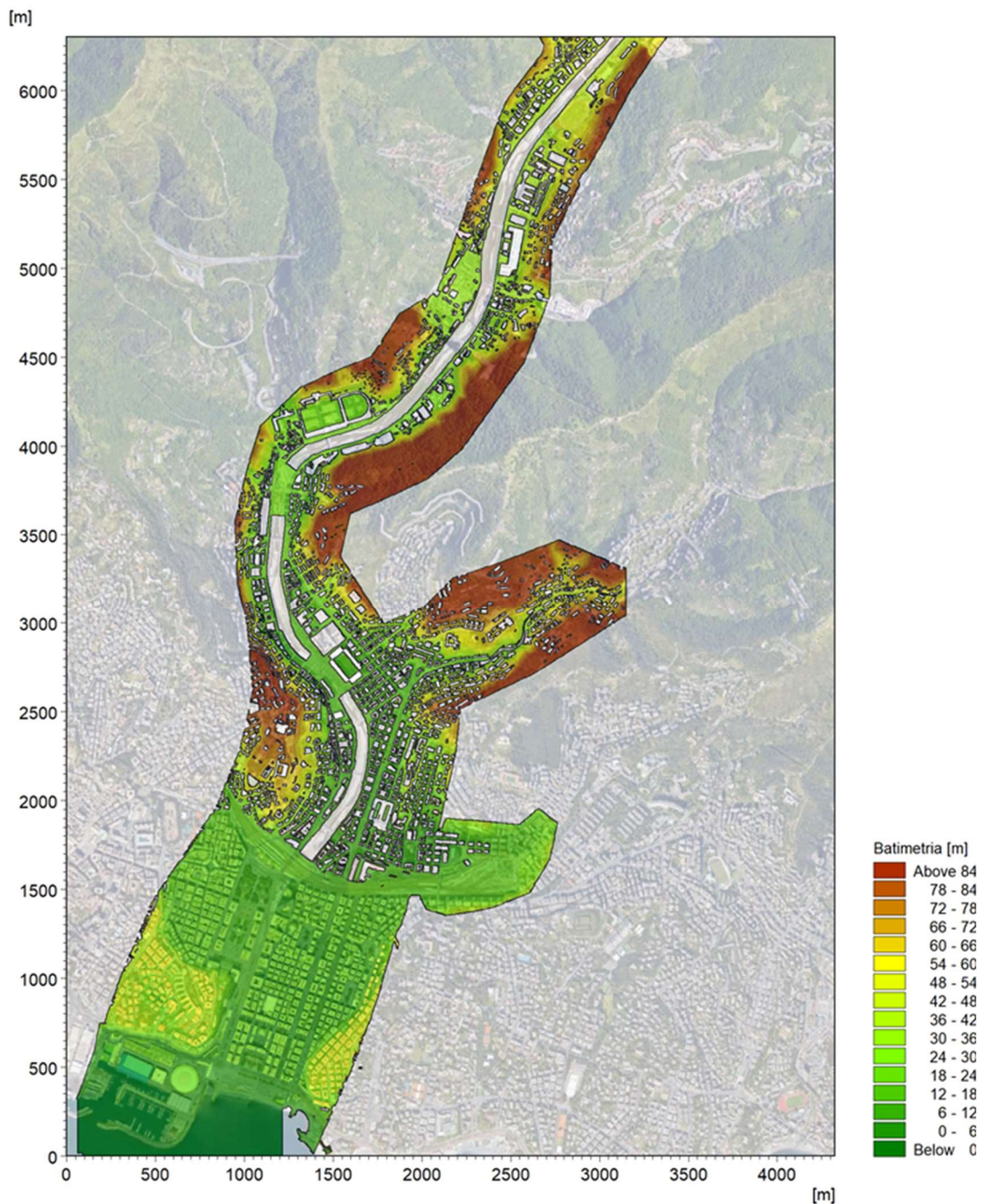


Figura 49 – Batimetria del modello 2D del torrente Bisagno a maglia 3,0 x 3,0 m (dominio di calcolo complessivo).

4.6 Parametri e condizioni al contorno del modello MIKE Flood

Il modello di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, necessita 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 sull’asta del corso d’acqua e gli studi pregressi 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 3), e successivamente, come riscontro, valori tipici di riferimento riscontrabili in letteratura tecnica.

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

Tabella 3 – Coefficienti di scabrezza per l’alveo inciso indicati nelle NTA del vigente Piano di Bacino.

In accordo con i valori prescritti dalle NTA e con le assunzioni dei modelli pregressi su cui si basa l’analisi idraulica del vigente Piano di Bacino, si è adottato per il nuovo modello 1D un valore del coefficiente di scabrezza K_s di Gauckler-Strickler pari a $30 m^{1/3}/s$ per le sezioni a cielo aperto dell’alveo del Bisagno, caratterizzate nel tratto in esame prevalentemente da un materiale superficiale di fondo alveo ghiaioso-ciottoloso (con matrice più fine sabbiosa al di sotto dello strato di corazzamento) e generalmente da pareti laterali sub-verticali in calcestruzzo.

Per le sezioni delle tombature è stato assunto, in coerenza con gli studi pregressi (particolarmente DHI2014 in cui si era provveduto a una calibrazione sull’evento di piena del 2011), un valore di K_s di Gauckler-Strickler pari a $42 m^{1/3}/s$.

Per quanto riguarda l’area esterna all’alveo, modellata con schema bidimensionale e caratterizzata soprattutto da aree urbane pavimentate con la presenza di strade asfaltate che rappresentano le linee di deflusso principali, si è adottato un coefficiente di scabrezza K_s di Gauckler-Strickler di $60 m^{1/3}/s$, anch’esso coerente con il pregresso studio DHI2014. 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 0,25 secondi.

La viscosità turbolenta è legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità e viene simulata nel modello tramite il coefficiente di eddy viscosity. A tale coefficiente è stato assegnato un valore costante pari a 0,8 m²/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 concentrati e distribuiti 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. I corrispondenti input idrologici sono definiti nel capitolo 3 in Figura 39, Figura 40 e Figura 41.

La condizione idrodinamica di valle è rappresentata dal valore di riferimento per il livello idrico massimo di mare, che risulta pari a 0,50 m s.m. (v. capitolo 4.3).

In sintesi, per lo scenario simulato con il modello accoppiato 1D+2D sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno.

- Immissione puntuale di portata in ingresso nella sezione di monte del torrente Bisagno (nel modello MIKE11, idrogramma "Bisa1_conc" in Figura 39, Figura 40, Figura 41, SEZ 1) secondo l'idrogramma di riferimento per gli scenari a tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni. Le portate al colmo per i diversi tempi di ritorno valgono rispettivamente 637 m³/s, 1049 m³/s, 1440 m³/s.
- Immissione puntuale di portata per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni secondo l'idrogramma di riferimento (nel modello MIKE11, idrogramma "Bisa0_conc" in Figura 39, Figura 40, Figura 41) nella sezione SEZ. 229.2 localizzata in corrispondenza della confluenza del torrente Trensasco.
- Contributo distribuito per portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate dal bacino residuo (nel modello MIKE11, idrogramma "Bisa2-1_dist" in Figura 39, Figura 40, Figura 41) tra la SEZ. 82 (a monte di Ponte Feritore) e la SEZ. 40 (confluenza torrente Velino).
- Immissione puntuale di portata per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni secondo l'idrogramma di riferimento (nel modello MIKE11, idrogramma "Bisa3-2_conc" in Figura 39, Figura 40, Figura 41) nella SEZ. 19_montesalto localizzata in corrispondenza della confluenza del torrente Fereggiano.
- Contributo distribuito per portate per tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni generate dal bacino residuo (nel modello MIKE11, idrogramma "Bisa4-3_dist" in Figura 39, Figura 40, Figura 41) tra la SEZ. 17 (a valle della confluenza del torrente Fereggiano) e la SEZ. Imbocco copertura Brignole (a monte della copertura terminale).
- Condizione al contorno di valle del torrente Bisagno (nel modello MIKE11): livello idrico costante (mare) pari a 0,50 m s.m.
- Condizione al contorno di valle dello scolmatore del torrente Bisagno (nel modello MIKE11): livello idrico costante (mare) pari a 0,50 m s.m.
- Condizione al contorno di valle del modello MIKE11 lungo il lato sud del dominio considerato pari a 0,5 m s.m. Tale condizione non influenza i risultati relativamente alle zone di esondazione ma definisce numericamente il tratto di dominio aperto attraverso il quale fluiscono i deflussi provenienti da monte e che arrivano al mare.

- 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 del torrente Bisagno 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.

Per verificare la coerenza tra lo schema degli apporti concentrati e distribuiti e le portate definite dal Piano di Bacino su nodi idrologici significativi (cfr. Figura 38) sono state condotte simulazioni con il solo modello monodimensionale MIKE11, escludendo la possibilità di esondazione (ovvero di fuoriuscita di portata) per riscontrare come i vari idrogrammi di input si componessero tra di loro (considerando anche i tempi di traslazione della piena), estraendo in funzione del tempo la portata effettiva defluente in alveo in ciascuna sezione.

I grafici di Figura 50, Figura 51 e Figura 52 riportano l’involuppo delle portate massime osservate su ciascuna sezione rispettivamente per i tempi di ritorno di 50 anni, 200 anni e 500 anni sia nelle condizioni di stato attuale che considerando lo scolmatore attivo, applicando le condizioni al contorno descritte. I punti rossi rappresentano i valori di portata di piena lungo i nodi idrologici di riferimento definiti nel PdB. Il punto blu rappresenta il valore di portata massima dell’idrogramma di input di monte per il modello dello studio DHI2014, la cui estremità di monte corrisponde al ponte Feritore.

Si nota nella configurazione di stato attuale come l’input idrologico inserito sia tale da generare una distribuzione delle portate massime lungo l’asta fluviale in esame del tutto coerente con quanto indicato nel Piano di Bacino in corrispondenza dei nodi idrologici di riferimento. A favore di sicurezza, nel tratto compreso tra la confluenza del torrente Trensasco (coordinata longitudinale -30 m) e il torrente Fereggiano (coordinata longitudinale 4560 m) l’incremento di portata risulta distribuito uniformemente lungo tutto il tratto, anziché essere concentrato soprattutto in corrispondenza del torrente Velino (coordinata longitudinale 2.830 m).

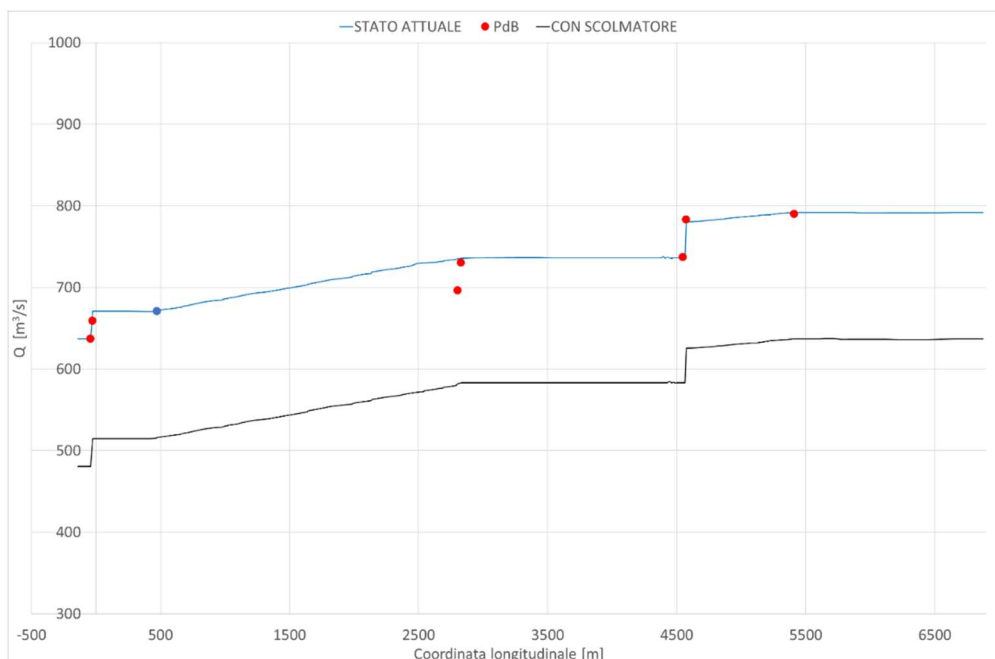


Figura 50 – Involuppo delle portate massime per TR=50 anni sul torrente Bisagno per lo stato attuale e con lo scolmatore attivo. I punti rossi rappresentano i valori di portata di piena definiti nel PdB; il punto blu la portata massima in ingresso al modello dello studio DHI2014.

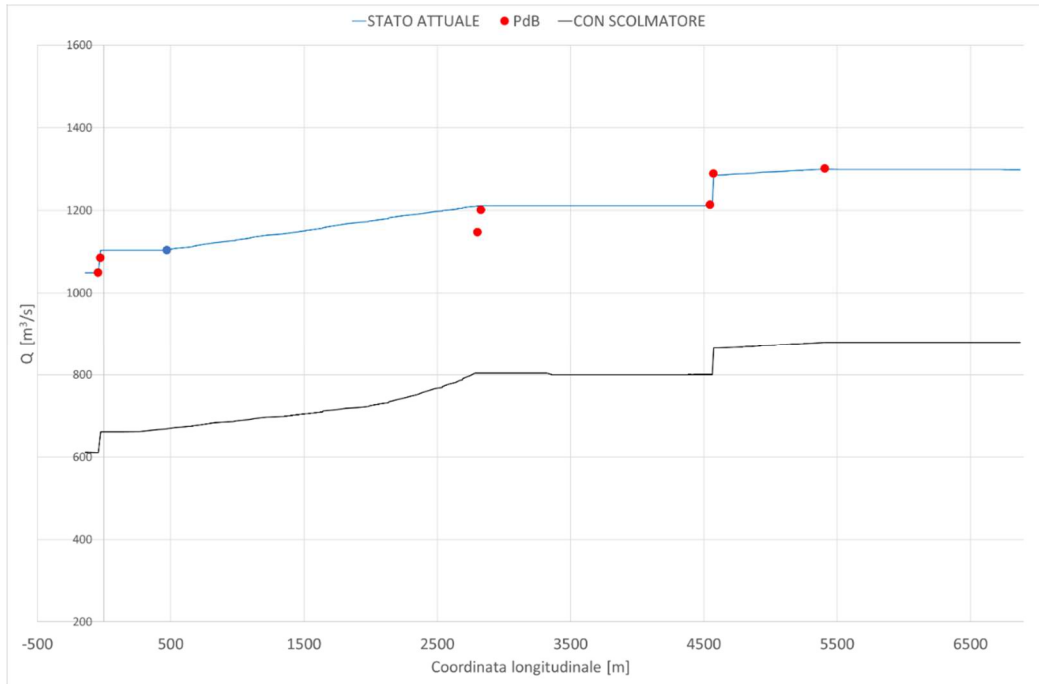


Figura 51 – Inviluppo delle portate massime per TR=200 anni sul torrente Bisagno per lo stato attuale e con lo scolmatore attivo. I punti rossi rappresentano i valori di portata di piena definiti nel PdB; il punto blu la portata massima in ingresso al modello dello studio DHI2014

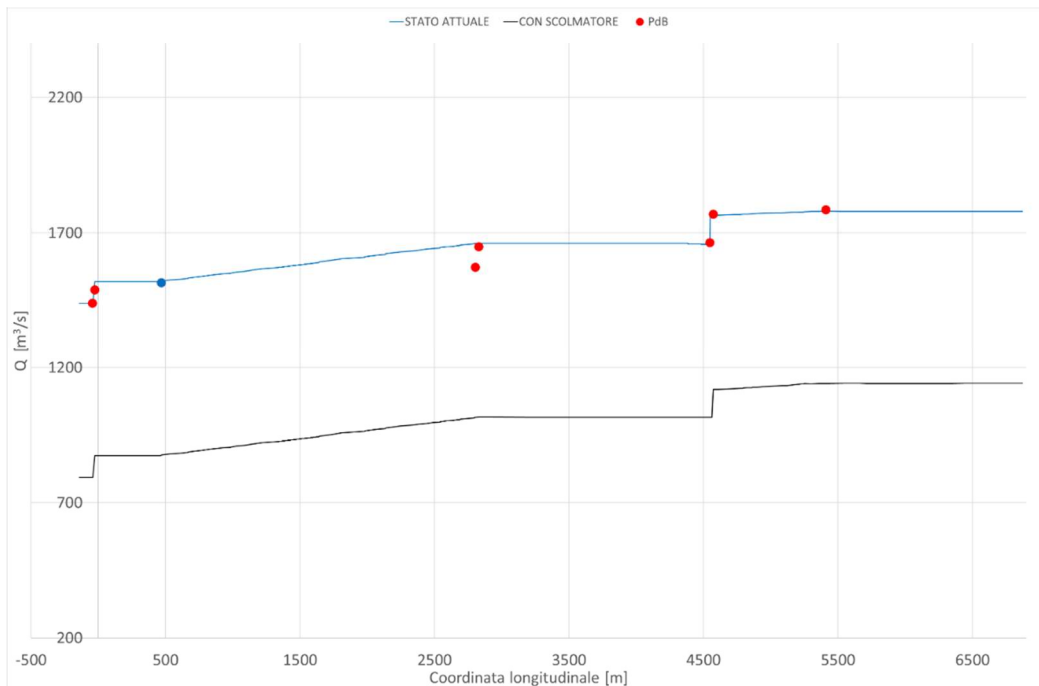


Figura 52 – Inviluppo delle portate massime per TR=500 anni sul torrente Bisagno per lo stato attuale e con lo scolmatore attivo. I punti rossi rappresentano i valori di portata di piena definiti nel PdB; il punto blu la portata massima in ingresso al modello dello studio DHI2014.

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati delle simulazioni effettuate con il modello integrato mono-bidimensionale sono illustrati nei capitoli seguenti mediante l'ausilio di rappresentazioni grafiche esplicative quali:

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

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 Fiume = identificativo asta;
- ID Sez. = identificativo sezione;
- Progr. = progressiva metrica lungo l'asta (m);
- Q = portata massima (m^3/s);
- 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 (introdotte unicamente per migliorare l'integrazione delle equazioni del moto ottimizzando il passo spaziale). Inoltre i parametri idraulici non sono definiti in corrispondenza delle strutture inserite all'interno del modello (gli attraversamenti); per queste si fa riferimento alla sezione immediatamente a monte (ad esempio per la valutazione del franco idraulico).

5.1 Scenario di confronto (SIM0): stato attuale antecedente la realizzazione dello scolmatore

Per una verifica di coerenza delle dinamiche di esondazione e propagazione della piena rappresentate dal modello numerico allestito rispetto a quelle considerate per la definizione delle aree di pericolosità da Piano di Bacino vigente, è stata condotta una simulazione (per il solo tempo di ritorno di 200 anni) senza la presenza dello scolmatore. La configurazione geometrica è pertanto affine a quella del più recente aggiornamento (ITEC2020) che considera già il completamento dei lavori di sistemazione della copertura terminale.

In Figura 56 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni (output del modello monodimensionale), a confronto con l'omologo estratto dallo studio DHI2014. Per coerenza con quest'ultimo i risultati sono rappresentati a partire dalla coordinata longitudinale 471 m, poco a monte del ponte Feritore.

Si può notare la generale ottima corrispondenza tra i risultati del modello allestito per il presente studio e di quello pregresso, risultato atteso derivando entrambi dalla medesima base geometrica tra il ponte Feritore e il ponte Castelfidardo.

Uno scostamento dei profili si rileva in corrispondenza della coordinata longitudinale 2471 m circa, per una differente modalità di modellazione (weir) del salto di fondo a valle del ponte Carrega. Consistenti differenze si riscontrano invece nel tratto finale, poiché nello studio DHI2014 non erano inserite le attuali geometrie sistemate della copertura terminale.

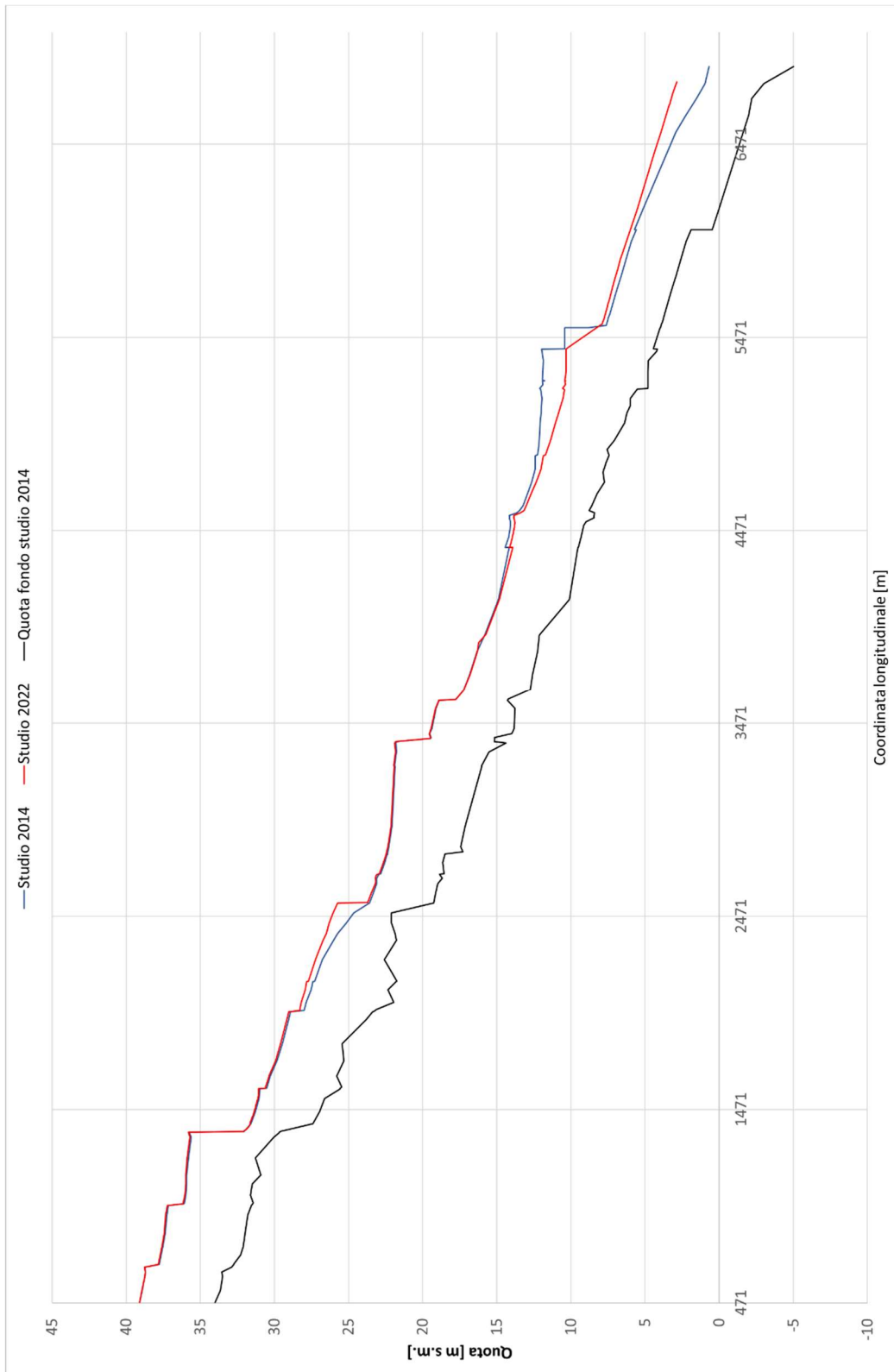


Figura 53 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM0. Il profilo è messo a confronto con i risultati dello Studio DHI2014.

In Figura 54 e Figura 55 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente 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.

In Figura 54 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 55 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 modello restituisce allagamenti sulle aree di costa dovuti alla condizione di valle imposta (livello di mare) che risulta maggiore delle quote di spiaggia; essi non sono da considerarsi in questa sede per la finalità di definizione delle aree a rischio idraulico.

La localizzazione e l'estensione delle aree allagate risultano coerenti con le mappe dei tiranti idrici massimi e delle velocità massime per TR200 anni riportati nel vigente Piano di Bacino del torrente Bisagno, anche se non direttamente confrontabili. Infatti, queste ultime sono il risultato dell'involuppo di differenti scenari di sensibilità dei risultati rispetto alla carenza di franco idraulico, al fine di tenere conto di un adeguato coefficiente di sicurezza nella determinazione delle possibili esondazioni. Le conseguenze di tale carenza di franchi idraulici sono state stimate attraverso ipotesi di parzializzazioni delle sezioni di deflusso di alcuni attraversamenti, di variazione dei coefficienti di scabrezza o di variazione degli idrogrammi in ingresso. La rappresentazione delle aree esondate del PdB pertanto deriva dall'involuppo di condizioni maggiormente gravose rispetto alla configurazione geometrica "base" dell'alveo considerata nella simulazione in oggetto.

Le aree interessate dalle maggiori esondazioni sono relative al tratto che si estende da ponte Guglielmetti a ponte Bezzecca e a valle del ponte Campanella, dove la portata duecentennale esonda in vari punti su entrambe le sponde e si propaga verso valle attraverso i sottopassi carrabili di Via Canevari in sponda destra e di Via Archimede e Corso Sardegna in sponda sinistra, andando a saturare progressivamente le aree più depresse di valle.

Le aree allagate a valle della ferrovia si estendono in sponda destra da Piazza della Vittoria fino, verso Ponente, a Piazza Colombo e Via Cesarea. In sponda sinistra gli allagamenti interessano le aree delimitate da Corso Torino e da Via Nizza.

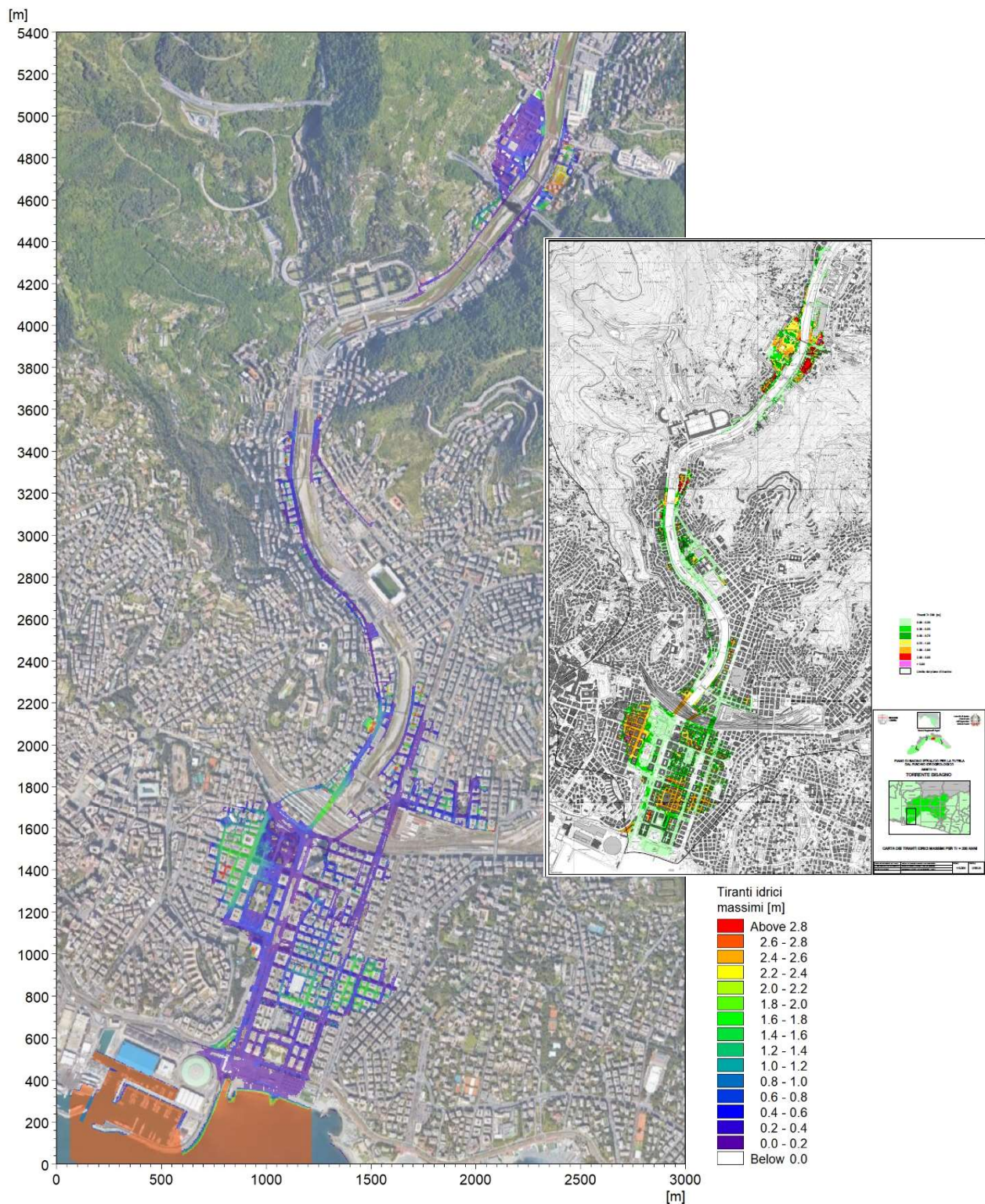


Figura 54 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIMO. Nel riquadro, a confronto, la mappa dei tiranti idrici massimi da Piano di Bacino vigente.

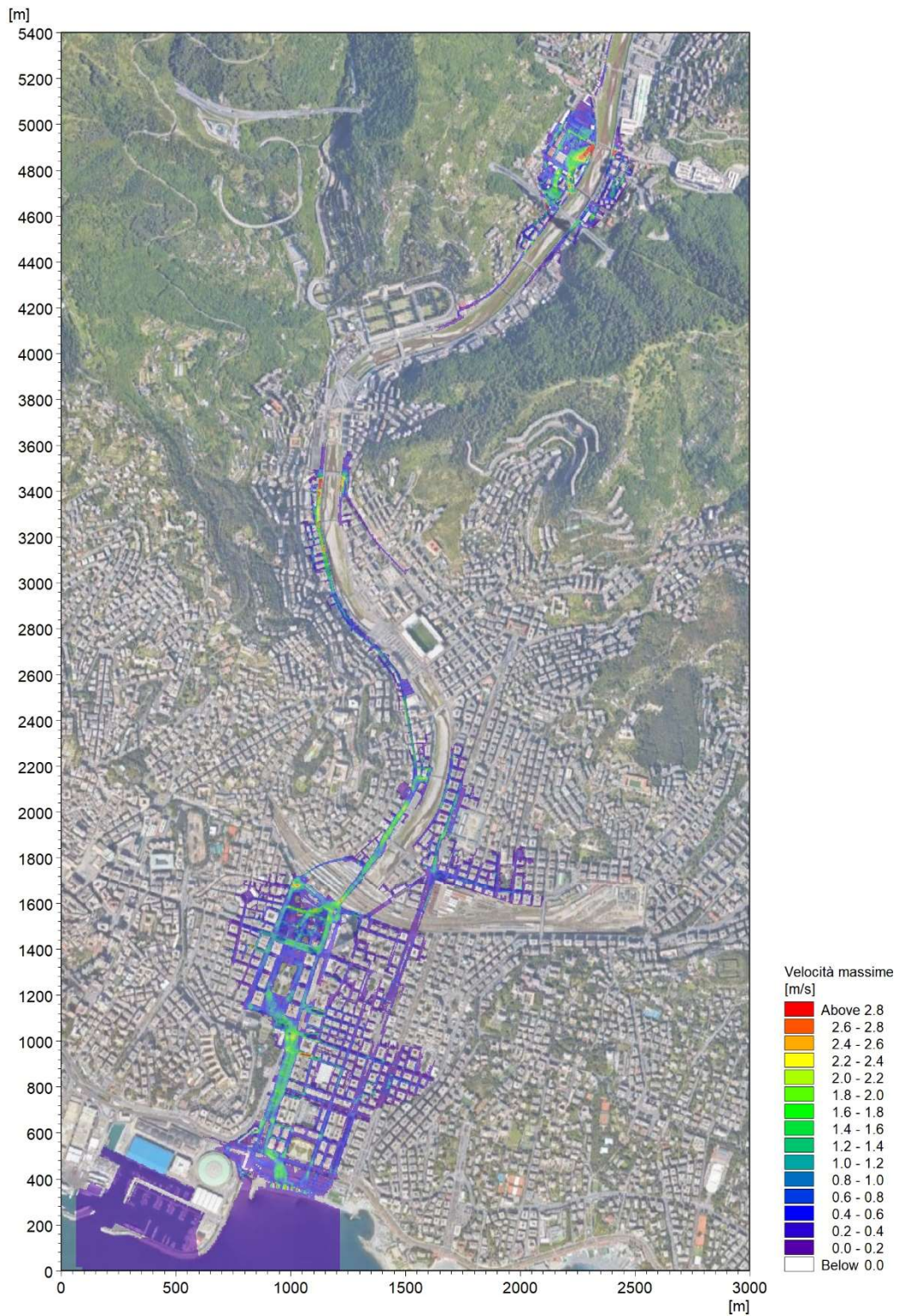


Figura 55 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=200 anni, SIMO.

5.2 Analisi dell'effetto dello scolmatore sull'assetto idraulico del Bisagno

Nel presente capitolo sono esposti i risultati delle simulazioni eseguite per gli scenari "base" che considerano la geometria effettiva dell'alveo e delle strutture interferenti (ponti, coperture) considerate in piena officiosità, ovvero senza alcuna ostruzione delle luci di deflusso (per le coperture si considera una condizione effettiva di parziale inghiaimento, con fondo alveo superiore a quello di progetto, coerentemente con quanto osservato in sito – cfr. capitolo 2.2).

A questa configurazione geometrica si sovrappone la presenza dello scolmatore, considerato attivo e pienamente funzionante secondo i criteri esposti nel capitolo 2.3, che riduce significativamente i colmi di piena in ingresso, operando un significativo effetto di mitigazione del rischio idraulico.

5.2.1 SIM1A: scenario "base" con scolmatore attivo: evento TR50

Nella Tabella 4 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 56 e in Figura 57 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, rispettivamente per il tratto di monte e per il tratto di valle.

ID Fiume	Progressiva	Fondo [m s.m.]	Q [m ³ /s]	P.L. [m s.m.]	h [m s.m.]	v [m/s]	Fr [-]	H [m s.m.]
Bisagno	-1272,85	47,37	637,0	51,29	3,92	3,90	0,72	52,07
Bisagno	-1252,85	47,31	637,0	51,20	3,89	3,94	0,73	51,99
Bisagno	-1223,85	47,26	637,0	50,71	3,45	4,64	0,93	51,81
Bisagno	-1104,94	46,88	636,9	49,96	3,08	4,05	0,76	50,80
Bisagno	-1082,82	46,60	636,9	49,90	3,30	3,76	0,68	50,62
Bisagno	-1075,12	45,30	636,9	48,40	3,10	4,03	0,76	49,23
Bisagno	-1072,61	45,29	636,8	48,39	3,10	4,03	0,76	49,22
Bisagno	-1057,64	45,21	636,8	48,35	3,14	3,86	0,73	49,11
Bisagno	-1037,58	45,11	636,8	48,26	3,15	3,86	0,73	49,02
Bisagno	-1017,03	45,01	636,8	48,18	3,17	3,85	0,74	48,94
Bisagno	-1015,03	45,00	636,8	48,09	3,09	4,43	0,91	49,09
Bisagno	-948,56	44,41	636,8	47,65	3,24	4,76	1,02	48,80
Bisagno	-792,88	43,10	636,7	46,25	3,15	4,68	1,00	47,36
Bisagno	-640,66	41,94	636,6	44,99	3,05	4,63	0,98	46,08
Bisagno	-566,25	40,97	636,5	44,41	3,44	4,43	0,93	45,41
Bisagno	-550,25	40,94	636,5	44,32	3,38	3,86	0,74	45,08
Bisagno	-548,55	38,06	636,5	42,97	4,91	3,01	0,48	43,43
Bisagno	-540,25	38,04	636,5	42,95	4,91	3,02	0,49	43,41
Bisagno	-502,25	37,94	636,1	42,92	4,98	2,71	0,44	43,29
Bisagno	-501,03	38,94	636,2	42,74	3,80	3,48	0,63	43,36
Bisagno	-492,76	38,92	636,4	42,71	3,79	3,48	0,61	43,33
Bisagno	-482,97	38,89	636,5	42,68	3,79	3,47	0,61	43,29
Bisagno	-481,27	38,89	636,5	42,68	3,79	3,47	0,61	43,30
Bisagno	-461,96	38,84	636,5	42,58	3,74	3,66	0,68	43,26
Bisagno	-458,18	38,83	636,5	42,47	3,64	3,79	0,72	43,20
Bisagno	-441,54	38,79	636,5	42,40	3,61	3,84	0,73	43,15
Bisagno	-415,64	38,72	636,5	42,32	3,60	3,78	0,71	43,05
Bisagno	-401,32	38,68	636,5	42,27	3,59	3,79	0,72	43,00
Bisagno	-378,52	38,62	636,6	42,10	3,48	4,30	0,79	43,04
Bisagno	-350,05	38,55	579,1	41,98	3,43	3,99	0,74	42,79
Bisagno	-307,57	38,44	507,1	41,81	3,37	3,66	0,66	42,49
Bisagno	-298,66	38,41	507,1	41,78	3,37	3,67	0,67	42,47

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-247,12	38,28	480,8	41,69	3,41	3,19	0,56	42,21
Bisagno	-179,30	38,17	480,8	41,50	3,33	3,22	0,56	42,03
Bisagno	-162,95	38,17	480,8	41,24	3,07	3,50	0,64	41,86
Bisagno	-156,95	36,67	480,8	41,41	4,74	2,26	0,33	41,67
Bisagno	-143,45	36,67	480,8	41,39	4,72	2,27	0,33	41,65
Bisagno	-139,95	38,07	480,8	41,21	3,14	3,42	0,62	41,81
Bisagno	-42,20	38,17	480,8	40,81	2,64	3,51	0,78	41,44
Bisagno	-25,20	38,17	514,8	40,75	2,58	3,86	0,87	41,51
Bisagno	110,66	37,60	514,8	39,81	2,21	3,96	0,90	40,61
Bisagno	265,98	36,50	514,9	38,71	2,21	3,89	0,87	39,48
Bisagno	411,85	35,80	514,9	37,77	1,97	3,75	0,85	38,49
Bisagno	457,12	34,00	514,9	37,64	3,64	2,82	0,57	38,05
Bisagno	461,62	34,00	514,9	37,59	3,59	2,89	0,59	38,02
Bisagno	471,62	34,00	515,8	37,54	3,54	2,94	0,60	37,98
Bisagno	532,59	33,64	517,7	37,30	3,66	3,14	0,69	37,80
Bisagno	607,63	33,49	519,1	36,92	3,43	3,45	0,80	37,53
Bisagno	630,34	33,55	519,7	36,82	3,27	3,26	0,74	37,36
Bisagno	654,64	32,88	520,1	36,79	3,91	2,69	0,56	37,16
Bisagno	655,59	32,88	520,2	36,79	3,91	2,70	0,56	37,16
Bisagno	668,59	32,75	520,5	36,22	3,47	3,27	0,70	36,76
Bisagno	672,49	32,75	521,2	36,19	3,44	3,31	0,71	36,75
Bisagno	717,49	32,27	522,4	35,98	3,71	3,31	0,75	36,54
Bisagno	762,49	32,09	524,0	35,76	3,67	3,31	0,75	36,32
Bisagno	830,32	31,99	526,2	35,44	3,45	3,26	0,72	35,98
Bisagno	924,32	31,80	528,2	35,07	3,27	3,01	0,65	35,53
Bisagno	973,32	31,56	528,8	34,94	3,38	2,85	0,55	35,35
Bisagno	974,16	31,56	529,0	34,94	3,38	2,85	0,55	35,35
Bisagno	983,31	31,46	529,1	34,51	3,05	3,24	0,67	35,05
Bisagno	986,81	31,43	529,8	34,50	3,07	3,22	0,66	35,03
Bisagno	1027,81	31,60	531,1	34,29	2,69	3,42	0,76	34,89
Bisagno	1086,49	31,48	532,5	34,02	2,54	3,25	0,75	34,56
Bisagno	1131,49	30,91	534,4	33,87	2,96	2,83	0,62	34,28
Bisagno	1220,84	31,28	537,2	33,64	2,35	2,63	0,54	33,99
Bisagno	1327,75	30,04	538,8	33,30	3,26	2,91	0,58	33,73
Bisagno	1350,76	29,69	539,4	33,37	3,68	2,27	0,40	33,63
Bisagno	1352,76	29,69	539,5	33,37	3,68	2,29	0,40	33,64
Bisagno	1356,81	29,69	539,6	31,16	1,57	6,25	1,80	33,15
Bisagno	1398,12	27,39	540,7	30,37	2,98	3,58	0,77	31,02
Bisagno	1460,12	26,95	542,5	30,06	3,11	3,53	0,76	30,70
Bisagno	1527,12	26,63	544,4	29,73	3,10	3,50	0,77	30,35
Bisagno	1576,12	25,60	545,7	29,61	4,01	2,93	0,61	30,05
Bisagno	1577,87	25,58	545,8	29,61	4,03	2,91	0,60	30,04
Bisagno	1581,17	25,56	545,9	29,26	3,70	3,38	0,75	29,84
Bisagno	1588,27	25,48	546,1	29,23	3,75	3,29	0,72	29,78
Bisagno	1643,29	25,80	548,7	28,94	3,14	3,41	0,77	29,53
Bisagno	1722,81	25,31	551,0	28,47	3,16	3,81	0,82	29,21
Bisagno	1811,82	25,45	554,0	27,99	2,54	3,52	0,77	28,62
Bisagno	1935,84	23,81	556,3	27,36	3,55	3,52	0,75	27,99
Bisagno	1974,84	23,38	556,8	27,25	3,87	3,13	0,59	27,75
Bisagno	1975,79	23,36	556,9	27,25	3,89	3,10	0,59	27,74
Bisagno	1983,39	23,20	557,1	26,81	3,61	3,45	0,69	27,42
Bisagno	1987,29	23,12	557,7	26,81	3,69	3,34	0,66	27,38
Bisagno	2025,25	21,94	559,1	26,70	4,76	3,21	0,63	27,22
Bisagno	2089,02	22,34	560,6	26,45	4,11	3,38	0,68	27,03
Bisagno	2130,92	21,80	561,1	26,55	4,75	2,97	0,56	27,00
Bisagno	2133,68	21,77	561,2	26,32	4,55	3,00	0,57	26,78
Bisagno	2135,35	21,75	562,8	26,32	4,57	2,99	0,57	26,78

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2247,31	22,59	565,8	25,84	3,25	3,84	0,84	26,59
Bisagno	2347,31	21,77	567,6	25,28	3,51	3,63	0,76	25,95
Bisagno	2381,31	21,67	568,8	25,07	3,20	3,89	0,82	25,84
Bisagno	2435,37	22,10	570,3	24,84	2,74	3,33	0,65	25,41
Bisagno	2486,91	21,89	571,7	24,58	2,49	3,71	0,76	25,28
Bisagno	2540,29	19,06	573,2	22,08	2,82	3,54	0,67	22,72
Bisagno	2589,29	18,92	574,6	21,86	2,74	3,70	0,71	22,56
Bisagno	2638,59	18,77	575,4	21,61	2,64	3,84	0,75	22,36
Bisagno	2666,39	18,67	576,3	21,58	2,91	3,02	0,57	22,05
Bisagno	2687,00	18,65	576,7	21,50	2,65	3,34	0,66	22,07
Bisagno	2691,34	18,57	577,5	21,42	2,85	4,37	0,94	22,39
Bisagno	2747,87	18,45	578,8	21,04	2,39	4,20	0,89	21,94
Bisagno	2783,95	18,34	579,8	20,81	2,27	4,07	0,88	21,65
Bisagno	2790,55	18,31	580,1	20,75	2,24	4,28	0,94	21,68
Bisagno	2792,55	18,31	580,2	20,74	2,23	4,32	0,95	21,69
Bisagno	2803,95	17,10	582,1	20,68	3,38	3,95	0,81	21,48
Bisagno	2829,77	16,44	583,1	20,56	3,12	3,79	0,78	21,29
Bisagno	2935,77	16,14	583,1	20,13	2,99	3,25	0,63	20,67
Bisagno	3245,77	14,90	583,0	19,90	3,90	2,27	0,38	20,16
Bisagno	3249,77	14,90	583,0	19,93	3,93	2,12	0,34	20,16
Bisagno	3319,77	14,43	583,1	19,85	4,31	2,20	0,36	20,10
Bisagno	3365,88	14,39	583,1	19,85	5,45	1,98	0,31	20,05
Bisagno	3372,78	14,08	583,1	19,81	4,63	2,17	0,35	20,05
Bisagno	3373,78	14,08	583,1	19,81	4,63	2,17	0,35	20,05
Bisagno	3389,78	14,08	583,1	18,08	2,95	3,86	0,84	18,84
Bisagno	3393,78	14,08	583,1	18,05	2,87	4,02	0,89	18,88
Bisagno	3414,52	13,97	583,1	18,00	4,03	2,46	0,42	18,31
Bisagno	3441,78	12,77	583,1	17,90	4,08	2,74	0,50	18,28
Bisagno	3546,77	12,67	583,1	17,65	3,88	2,89	0,54	18,08
Bisagno	3586,77	12,99	583,1	17,46	3,17	3,35	0,67	18,03
Bisagno	3587,77	12,99	583,1	17,46	3,17	3,36	0,68	18,03
Bisagno	3591,77	12,99	583,1	16,61	2,37	4,91	1,20	17,84
Bisagno	3594,77	12,99	583,1	16,57	2,33	5,03	1,24	17,86
Bisagno	3639,77	11,81	583,1	15,94	3,01	4,18	0,94	16,83
Bisagno	3645,77	11,65	583,1	15,90	3,15	3,97	0,87	16,70
Bisagno	3725,77	11,55	583,1	15,43	2,83	3,67	0,77	16,12
Bisagno	3840,77	11,25	583,1	14,89	2,64	3,62	0,76	15,56
Bisagno	3891,77	11,30	463,9	14,56	2,26	3,93	0,83	15,35
Bisagno	3926,77	11,15	463,9	14,32	2,17	4,08	0,88	15,17
Bisagno	3931,77	11,10	463,9	14,29	2,19	4,05	0,88	15,13
Bisagno	4112,77	10,10	463,8	13,14	3,04	3,43	0,66	13,74
Bisagno	4382,77	9,52	510,7	12,33	2,81	3,68	0,70	13,02
Bisagno	4383,77	9,51	510,9	12,48	2,97	2,68	0,50	12,85
Bisagno	4438,37	9,32	584,4	12,27	2,95	3,22	0,62	12,80
Bisagno	4497,07	9,15	583,2	12,09	2,94	3,20	0,62	12,61
Bisagno	4514,57	9,09	583,3	12,08	3,09	3,04	0,57	12,55
Bisagno	4529,77	8,72	583,1	12,11	3,49	2,70	0,49	12,48
Bisagno	4537,57	8,53	583,1	12,13	3,70	2,56	0,45	12,46
Bisagno	4547,07	8,53	583,2	12,11	3,68	2,57	0,46	12,45
Bisagno	4548,57	8,53	583,1	12,14	3,71	2,41	0,41	12,44
Bisagno	4562,57	8,53	583,1	11,97	3,56	2,52	0,44	12,29
Bisagno	4573,09	8,80	625,6	11,78	2,98	3,26	0,62	12,32
Bisagno	4599,22	7,63	625,6	11,63	3,00	3,61	0,73	12,29
Bisagno	4662,42	7,23	626,1	11,28	3,05	3,98	0,81	12,09
Bisagno	4721,23	6,74	626,8	10,97	3,23	3,81	0,77	11,71
Bisagno	4770,63	6,83	627,4	10,70	2,87	3,85	0,79	11,46
Bisagno	4791,09	6,76	627,6	10,61	2,86	3,70	0,75	11,31

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	4793,09	6,75	627,8	10,61	2,86	3,68	0,74	11,30
Bisagno	4819,36	6,66	628,3	10,53	2,87	3,42	0,67	11,13
Bisagno	4857,63	6,43	628,5	10,40	2,97	3,37	0,66	10,98
Bisagno	4862,30	6,43	628,7	10,33	2,90	3,46	0,68	10,94
Bisagno	4890,91	6,57	629,2	10,18	2,61	3,64	0,75	10,86
Bisagno	4937,95	6,08	630,1	9,95	2,87	3,64	0,75	10,63
Bisagno	5027,00	5,37	631,2	9,51	3,14	3,61	0,75	10,18
Bisagno	5077,72	5,22	631,9	9,24	3,02	3,71	0,78	9,94
Bisagno	5118,49	4,98	631,9	9,00	3,02	3,91	0,84	9,78
Bisagno	5155,73	4,98	633,0	8,76	2,78	4,01	0,87	9,58
Bisagno	5200,81	4,84	639,8	8,53	2,99	3,54	0,71	9,17
Bisagno	5207,09	4,41	646,8	8,61	3,80	2,91	0,53	9,04
Bisagno	5225,24	4,41	649,1	8,19	3,38	3,35	0,65	8,76
Bisagno	5229,90	4,41	644,5	8,15	3,34	3,37	0,66	8,73
Bisagno	5243,90	4,42	641,3	8,19	3,37	2,92	0,54	8,63
Bisagno	5245,90	4,42	641,1	8,13	3,31	3,39	0,63	8,72
Bisagno	5247,90	4,42	641,2	8,17	3,35	2,94	0,54	8,61
Bisagno	5297,90	4,40	635,7	8,00	3,20	3,07	0,58	8,48
Bisagno	5350,90	4,71	636,1	7,95	3,24	2,66	0,47	8,31
Bisagno	5395,09	4,48	636,8	7,91	3,43	2,51	0,43	8,23
Bisagno	5411,09	4,40	636,8	7,90	3,50	2,46	0,42	8,21
Bisagno	5537,09	3,88	636,9	5,94	2,06	5,46	1,26	7,46
Bisagno	5542,39	3,80	636,9	5,86	2,06	5,23	1,16	7,25
Bisagno	5547,69	3,70	636,9	5,82	2,12	5,08	1,12	7,13
Bisagno	5565,69	3,37	636,8	5,68	2,31	4,65	0,98	6,78
Bisagno	5599,39	2,76	636,9	5,49	2,73	4,17	0,81	6,38
Bisagno	5633,19	2,15	637,1	5,37	3,22	3,83	0,68	6,12
Bisagno	5637,49	2,07	637,1	5,37	3,30	3,74	0,66	6,08
Bisagno	5665,19	1,97	637,3	5,27	3,30	4,01	0,71	6,09
Bisagno	5719,89	1,79	637,1	5,08	3,29	4,10	0,72	5,93
Bisagno	5771,59	1,61	636,5	4,89	3,28	4,10	0,72	5,75
Bisagno	5826,59	1,42	636,5	4,70	3,28	4,16	0,74	5,58
Bisagno	5872,29	1,27	636,5	4,53	3,26	4,18	0,74	5,42
Bisagno	5912,00	1,13	636,4	4,38	3,25	4,18	0,74	5,27
Bisagno	6132,00	0,33	636,4	3,56	3,23	4,18	0,75	4,45
Bisagno	6232,00	-0,03	636,1	3,19	3,22	4,20	0,75	4,09
Bisagno	6332,00	-0,39	636,1	2,82	3,21	4,22	0,76	3,73
Bisagno	6432,00	-0,75	636,2	2,44	3,19	4,24	0,76	3,36
Bisagno	6532,00	-1,11	636,5	2,05	3,16	4,28	0,77	2,99
Bisagno	6632,00	-1,47	636,8	1,65	3,12	4,34	0,79	2,61
Bisagno	6672,00	-1,61	636,8	1,49	3,10	4,37	0,80	2,46
Bisagno	6675,50	-1,62	636,8	1,47	3,09	4,30	0,79	2,41
Bisagno	6732,00	-1,83	636,8	1,24	3,07	4,34	0,80	2,20
Bisagno	6771,50	-1,97	636,8	1,07	3,04	4,39	0,81	2,05
Bisagno	6772,00	-1,97	636,8	1,07	3,04	4,30	0,79	2,01
Bisagno	6791,50	-2,18	636,8	0,99	3,17	4,12	0,74	1,86
Bisagno	6792,00	-2,18	636,8	0,99	3,17	4,13	0,74	1,86
Bisagno	6871,87	-3,00	636,8	0,50	3,50	3,58	0,61	1,15
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	12,30	119,3	14,65	2,35	3,17	0,66	15,16
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77	12,15	119,3	14,46	2,31	3,22	0,68	14,99
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77	12,10	119,3	14,44	2,34	3,18	0,66	14,96
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77	11,22	119,3	13,48	2,26	3,30	0,70	14,04
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77	10,48	119,8	12,87	2,40	3,06	0,63	13,35
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77	9,52	174,4	12,42	2,90	3,62	0,68	13,09
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	9,51	175,0	12,48	2,97	0,92	0,17	12,52

Tabella 4 – Risultati di sintesi per lo scenario TR50, SIM1A.

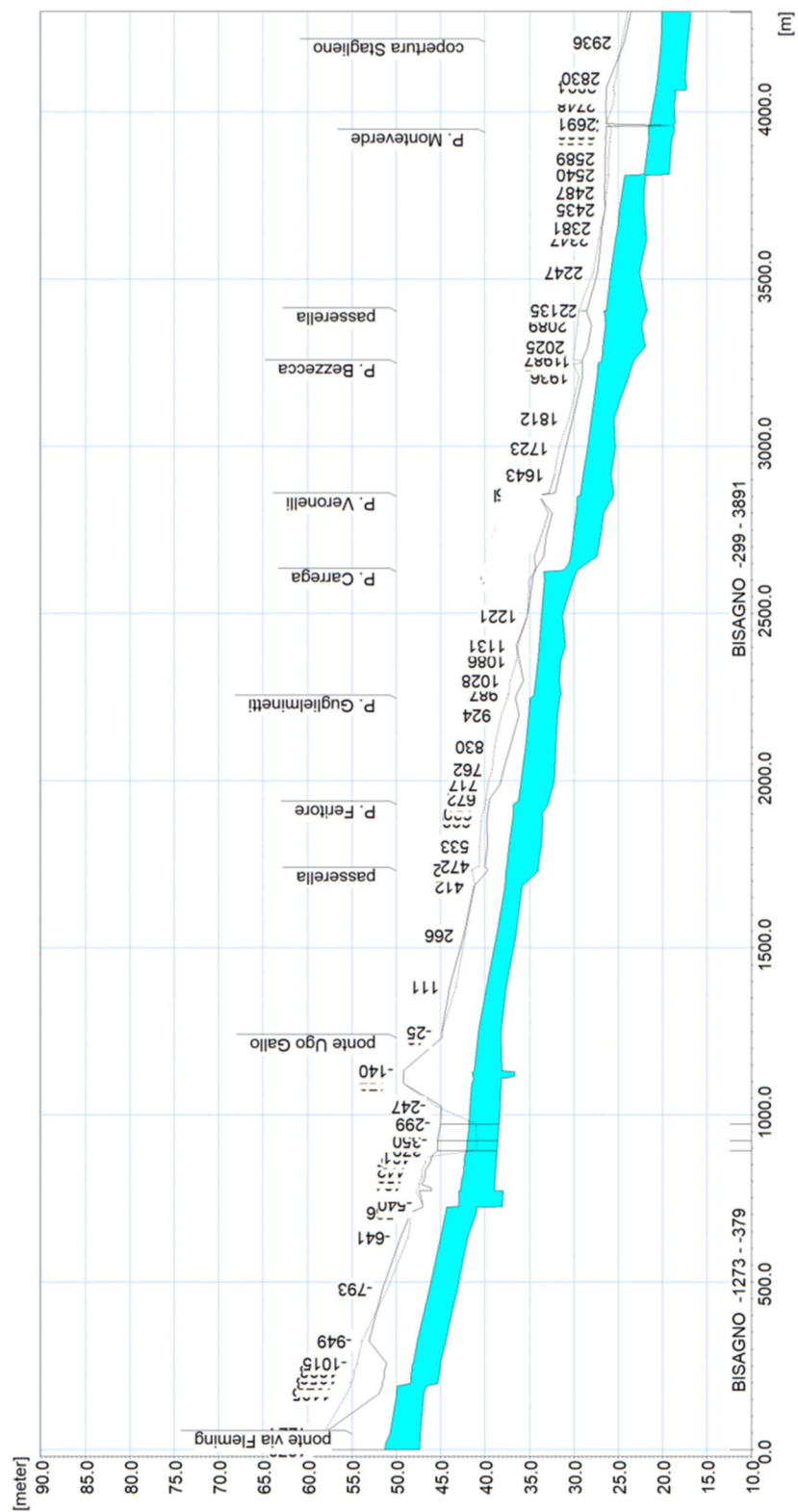


Figura 56 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1A, tratto di monte.

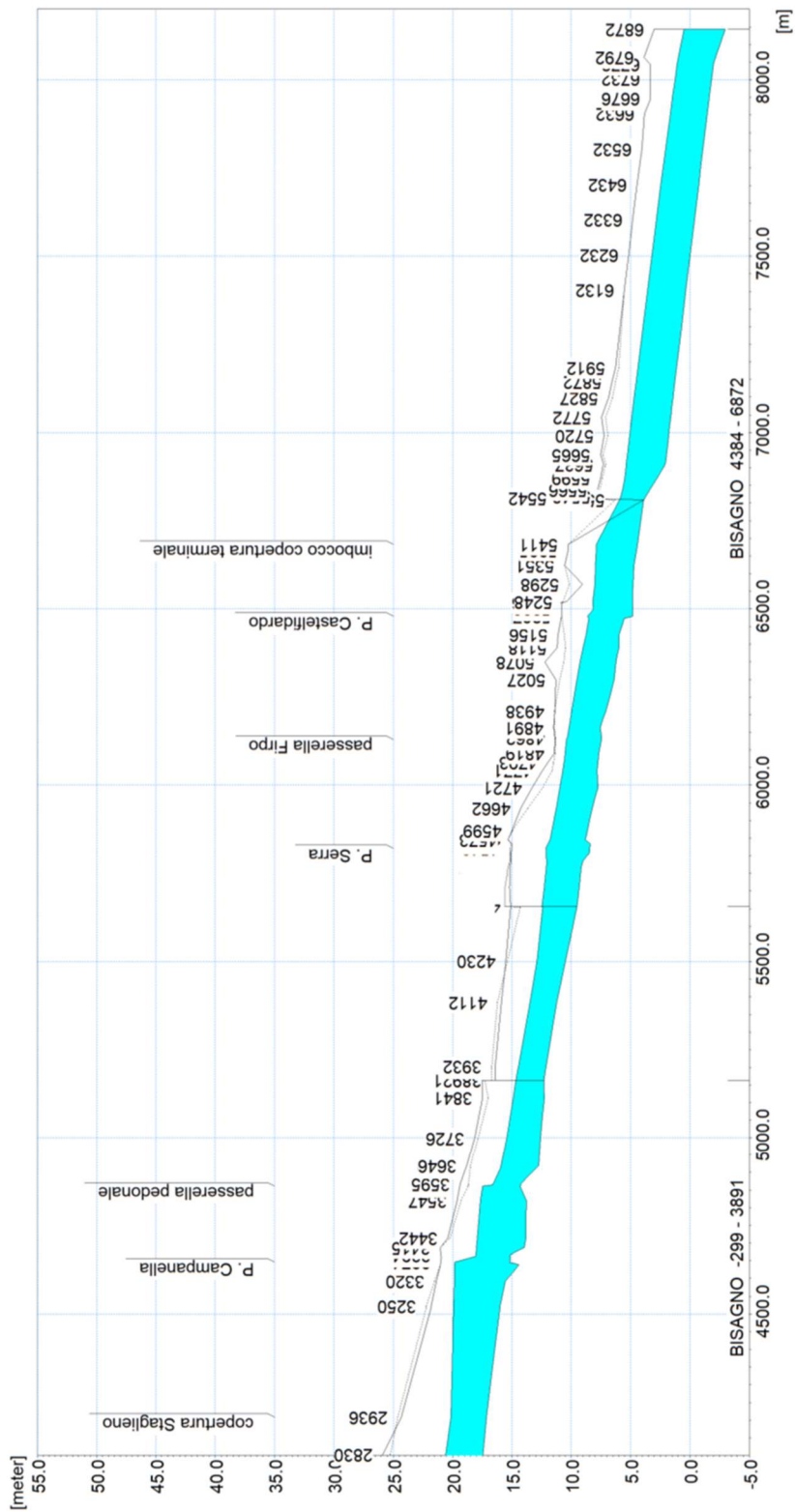


Figura 57 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1A, tratto di valle.

Dall'analisi dei risultati restituiti dal modello monodimensionale si osserva come l'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni defluisca completamente contenuto in alveo, senza provocare esondazioni. Non è pertanto rappresentato alcun output del modello bidimensionale in quanto non vi è propagazione di deflusso nelle aree esterne.

In Figura 58 sono rappresentati gli idrogrammi di portata che mostrano l'effetto prodotto dallo scolmatore: quelli relativi alla coordinata longitudinale -1272.85 m (Bisagno, linea nera) e -247.12 m (Bisagno, linea blu) sono riferiti alle sezioni a monte e a valle dello scolmatore, mentre l'idrogramma alla coordinata 120 m (Scolmatore, linea verde) rappresenta l'andamento nel tempo della portata derivata dallo scolmatore e veicolata a mare.

La portata massima in ingresso al tratto in esame è pari a 637 m³/s; essa viene ridotta a un valore al colmo a valle pari a circa 481 m³/s (75,5% del colmo idrologico); lo scolmatore deriva una portata massima di 156 m³/s.

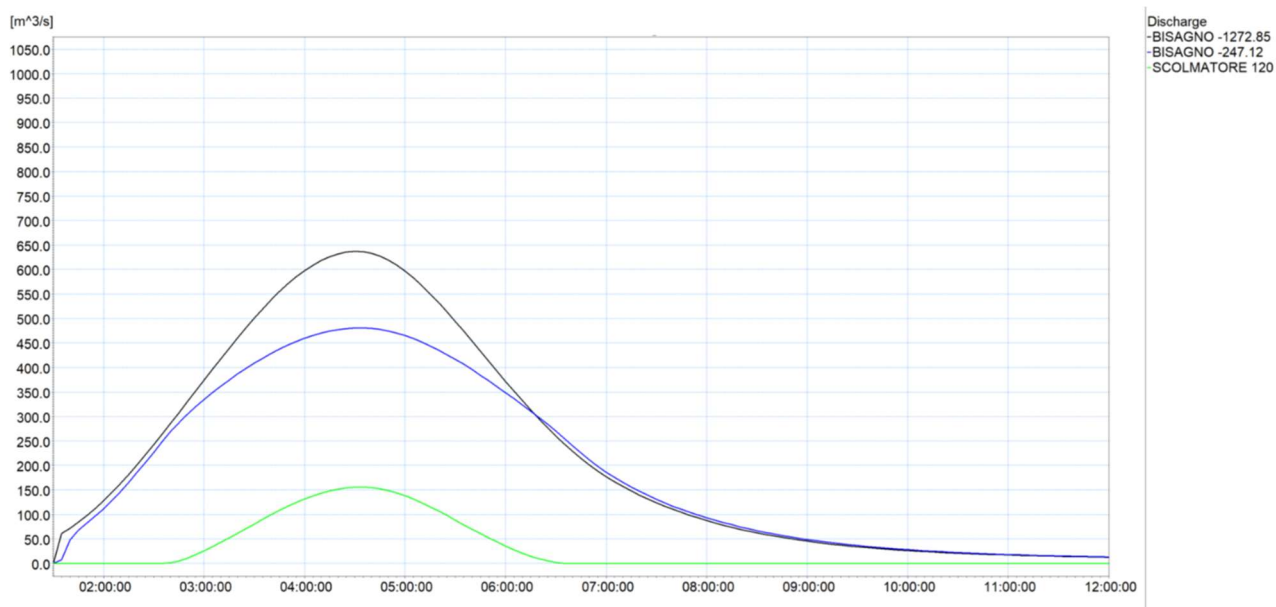


Figura 58 – Idrogrammi (TR50) che rappresentano il funzionamento del nodo di presa dello scolmatore.

5.2.2 SIM2A: scenario “base” con scolmatore attivo: evento TR200

Nella Tabella 5 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 59 e in Figura 60 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, rispettivamente per il tratto di monte e per il tratto di valle.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m³/s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-1272,85	47,37	1049,0	52,43	5,06	4,67	0,73	53,54
Bisagno	-1252,85	47,31	1049,0	52,34	5,03	4,71	0,74	53,47
Bisagno	-1223,85	47,26	1048,9	51,73	4,47	5,45	0,92	53,25
Bisagno	-1104,94	46,88	1048,8	51,07	4,19	4,80	0,78	52,24
Bisagno	-1082,82	46,60	1048,7	51,02	4,42	4,53	0,72	52,07
Bisagno	-1075,12	45,30	1048,7	49,29	3,99	5,07	0,84	50,60
Bisagno	-1072,61	45,29	1048,7	49,27	3,98	5,08	0,84	50,59
Bisagno	-1057,64	45,21	1048,7	49,22	4,01	4,86	0,81	50,43
Bisagno	-1037,58	45,11	1048,7	49,12	4,01	4,88	0,81	50,33
Bisagno	-1017,03	45,01	1048,6	49,03	4,02	4,87	0,82	50,24
Bisagno	-1015,03	45,00	1048,6	48,92	3,92	5,44	0,96	50,43
Bisagno	-948,56	44,41	1048,6	48,47	4,06	5,72	1,05	50,14
Bisagno	-792,88	43,10	1048,5	47,09	3,99	5,58	1,02	48,68
Bisagno	-640,66	41,94	1048,5	45,91	3,97	5,41	0,97	47,40
Bisagno	-566,25	40,97	1048,5	45,40	4,43	5,10	0,90	46,72
Bisagno	-550,25	40,94	1048,6	45,33	4,39	4,66	0,76	46,44
Bisagno	-548,55	38,06	1048,6	44,14	6,08	3,82	0,57	44,88
Bisagno	-540,25	38,04	1048,6	44,11	6,07	3,84	0,57	44,86
Bisagno	-502,25	37,94	1048,6	44,06	6,12	3,46	0,49	44,67
Bisagno	-501,03	38,94	1048,6	43,83	4,89	4,22	0,66	44,74
Bisagno	-492,76	38,92	1048,6	43,78	4,86	4,31	0,66	44,73
Bisagno	-482,97	38,89	1048,6	43,75	4,86	4,30	0,66	44,69
Bisagno	-481,27	38,89	1048,6	43,75	4,86	4,31	0,66	44,70
Bisagno	-461,96	38,84	1048,6	43,67	4,83	4,38	0,70	44,65
Bisagno	-458,18	38,83	1048,6	43,52	4,69	4,54	0,74	44,57
Bisagno	-441,54	38,79	1048,6	43,45	4,66	4,59	0,75	44,53
Bisagno	-415,64	38,72	1048,6	43,36	4,64	4,54	0,74	44,41
Bisagno	-401,32	38,68	1048,6	43,31	4,63	4,55	0,74	44,36
Bisagno	-378,52	38,62	1048,6	43,11	4,49	5,32	0,85	44,55
Bisagno	-350,05	38,55	896,0	42,99	4,44	4,60	0,74	44,07
Bisagno	-307,57	38,44	686,1	42,86	4,42	3,68	0,58	43,55
Bisagno	-298,66	38,41	686,1	42,84	4,43	3,67	0,58	43,53
Bisagno	-247,12	38,28	612,0	42,81	4,53	3,05	0,46	43,28
Bisagno	-179,30	38,17	611,5	42,71	4,54	3,01	0,45	43,17
Bisagno	-162,95	38,17	611,4	41,60	3,43	3,98	0,69	42,41
Bisagno	-156,95	36,67	611,4	41,78	5,11	2,67	0,38	42,14
Bisagno	-143,45	36,67	611,3	41,76	5,09	2,68	0,38	42,13
Bisagno	-139,95	38,07	611,3	41,56	3,49	3,91	0,67	42,34
Bisagno	-42,20	38,17	611,0	41,15	2,98	3,82	0,79	41,89
Bisagno	-25,20	38,17	661,5	41,08	2,91	4,25	0,89	42,00
Bisagno	110,66	37,60	660,9	40,15	2,55	4,34	0,92	41,11
Bisagno	265,98	36,50	662,0	39,07	2,57	4,23	0,88	39,98
Bisagno	411,85	35,80	667,4	38,18	2,38	4,02	0,83	39,00
Bisagno	457,12	34,00	667,7	38,08	4,08	3,12	0,58	38,58
Bisagno	461,62	34,00	667,7	38,02	4,02	3,19	0,60	38,54
Bisagno	471,62	34,00	669,0	37,97	3,97	3,24	0,61	38,51
Bisagno	532,59	33,64	671,9	37,75	4,11	3,37	0,67	38,33
Bisagno	607,63	33,49	673,6	37,42	3,93	3,52	0,73	38,05
Bisagno	630,34	33,55	674,4	37,35	3,80	3,32	0,67	37,91
Bisagno	654,64	32,88	674,8	37,36	4,48	2,82	0,53	37,76
Bisagno	655,59	32,88	675,0	37,36	4,48	2,82	0,53	37,77
Bisagno	668,59	32,75	675,4	36,63	3,88	3,54	0,74	37,27
Bisagno	672,49	32,75	676,4	36,61	3,86	3,59	0,75	37,27
Bisagno	717,49	32,27	678,1	36,39	4,12	3,56	0,75	37,04
Bisagno	762,49	32,09	680,3	36,18	4,09	3,54	0,73	36,82
Bisagno	830,32	31,99	683,3	35,90	3,91	3,45	0,70	36,51
Bisagno	924,32	31,80	685,7	35,59	3,79	3,16	0,62	36,10

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m³/s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	973,32	31,56	686,4	35,46	3,90	3,10	0,55	35,95
Bisagno	974,16	31,56	686,6	35,46	3,90	3,11	0,55	35,95
Bisagno	983,31	31,46	686,9	34,96	3,50	3,54	0,67	35,60
Bisagno	986,81	31,43	687,8	34,95	3,52	3,52	0,66	35,58
Bisagno	1027,81	31,60	689,7	34,77	3,17	3,61	0,73	35,43
Bisagno	1086,49	31,48	691,4	34,58	3,10	3,26	0,66	35,12
Bisagno	1131,49	30,91	693,8	34,51	3,60	2,82	0,54	34,92
Bisagno	1220,84	31,28	697,0	34,36	3,08	2,62	0,47	34,71
Bisagno	1327,75	30,04	698,2	34,11	4,07	2,86	0,50	34,53
Bisagno	1350,76	29,69	698,9	34,17	4,48	2,38	0,37	34,46
Bisagno	1352,76	29,69	699,0	34,17	4,48	2,40	0,38	34,46
Bisagno	1356,81	29,69	699,2	31,43	1,84	6,61	1,73	33,66
Bisagno	1398,12	27,39	700,8	30,76	3,37	3,94	0,78	31,55
Bisagno	1460,12	26,95	703,1	30,47	3,52	3,87	0,76	31,23
Bisagno	1527,12	26,63	705,6	30,16	3,53	3,76	0,76	30,88
Bisagno	1576,12	25,60	707,3	30,06	4,46	3,19	0,61	30,58
Bisagno	1577,87	25,58	707,4	30,06	4,48	3,17	0,60	30,57
Bisagno	1581,17	25,56	707,5	29,64	4,08	3,70	0,75	30,34
Bisagno	1588,27	25,48	707,8	29,62	4,14	3,61	0,73	30,28
Bisagno	1643,29	25,80	711,5	29,35	3,55	3,67	0,76	30,04
Bisagno	1722,81	25,31	714,6	28,89	3,58	4,16	0,82	29,77
Bisagno	1811,82	25,45	718,7	28,44	2,99	3,76	0,76	29,16
Bisagno	1935,84	23,81	721,2	27,88	4,07	3,69	0,72	28,58
Bisagno	1974,84	23,38	722,2	27,78	4,40	3,41	0,59	28,37
Bisagno	1975,79	23,36	722,4	27,79	4,43	3,39	0,59	28,38
Bisagno	1983,39	23,20	722,9	27,30	4,10	3,76	0,69	28,02
Bisagno	1987,29	23,12	724,0	27,30	4,18	3,67	0,66	27,99
Bisagno	2025,25	21,94	726,8	27,19	5,25	3,51	0,65	27,82
Bisagno	2089,02	22,34	729,7	26,93	4,59	3,69	0,69	27,62
Bisagno	2130,92	21,80	739,7	26,85	5,05	3,35	0,59	27,42
Bisagno	2133,68	21,77	740,4	26,87	5,10	3,39	0,60	27,46
Bisagno	2135,35	21,75	742,7	26,79	5,04	3,39	0,60	27,38
Bisagno	2247,31	22,59	743,4	26,29	3,70	4,18	0,83	27,18
Bisagno	2347,31	21,77	751,4	25,76	3,99	3,98	0,76	26,57
Bisagno	2381,31	21,67	756,0	25,56	3,69	4,25	0,82	26,48
Bisagno	2435,37	22,10	761,2	25,33	3,23	3,74	0,67	26,04
Bisagno	2486,91	21,89	766,3	25,07	2,98	4,13	0,78	25,94
Bisagno	2540,29	19,06	771,8	22,66	3,40	3,96	0,69	23,46
Bisagno	2589,29	18,92	777,7	22,42	3,30	4,15	0,73	23,30
Bisagno	2638,59	18,77	781,7	22,17	3,20	4,30	0,78	23,11
Bisagno	2666,39	18,67	785,5	22,13	3,46	3,46	0,59	22,74
Bisagno	2687,00	18,65	787,4	22,03	3,18	3,80	0,68	22,76
Bisagno	2691,34	18,57	790,7	21,95	3,38	4,83	0,93	23,14
Bisagno	2747,87	18,45	798,3	21,60	2,95	4,64	0,88	22,70
Bisagno	2783,95	18,34	803,8	21,39	2,85	4,44	0,86	22,39
Bisagno	2790,55	18,31	805,0	21,34	2,83	4,64	0,91	22,44
Bisagno	2792,55	18,31	805,3	21,33	2,82	4,67	0,92	22,44
Bisagno	2803,95	17,10	809,1	21,28	3,98	4,39	0,83	22,26
Bisagno	2829,77	16,44	813,0	21,16	3,72	4,24	0,79	22,07
Bisagno	2935,77	16,14	814,9	20,76	3,62	3,69	0,64	21,46
Bisagno	3245,77	14,90	800,4	20,72	4,72	2,55	0,38	21,05
Bisagno	3249,77	14,90	800,2	20,75	4,75	2,40	0,35	21,04
Bisagno	3319,77	14,43	800,1	20,67	5,13	2,48	0,37	20,98
Bisagno	3365,88	14,39	800,0	20,67	6,28	2,27	0,33	20,93
Bisagno	3372,78	14,08	800,0	20,63	5,45	2,46	0,36	20,94
Bisagno	3373,78	14,08	800,0	20,63	5,45	2,46	0,36	20,94
Bisagno	3389,78	14,08	800,0	18,62	3,49	4,23	0,82	19,53

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m³/s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	3393,78	14,08	800,0	18,59	3,41	4,37	0,86	19,56
Bisagno	3414,52	13,97	800,0	18,59	4,63	2,89	0,46	19,01
Bisagno	3441,78	12,77	800,0	18,49	4,67	3,16	0,53	19,00
Bisagno	3546,77	12,67	800,0	18,22	4,45	3,32	0,57	18,78
Bisagno	3586,77	12,99	800,0	18,02	3,73	3,76	0,68	18,74
Bisagno	3587,77	12,99	800,0	18,02	3,73	3,76	0,69	18,74
Bisagno	3591,77	12,99	800,0	17,03	2,79	5,41	1,18	18,52
Bisagno	3594,77	12,99	800,0	17,00	2,76	5,50	1,21	18,54
Bisagno	3639,77	11,81	800,0	16,43	3,50	4,62	0,93	17,52
Bisagno	3645,77	11,65	800,0	16,40	3,65	4,43	0,87	17,40
Bisagno	3725,77	11,55	800,0	15,94	3,34	4,13	0,79	16,81
Bisagno	3840,77	11,25	800,0	15,41	3,16	4,05	0,76	16,24
Bisagno	3891,77	11,30	637,1	15,09	2,79	4,37	0,84	16,07
Bisagno	3926,77	11,15	637,1	14,86	2,71	4,50	0,87	15,89
Bisagno	3931,77	11,10	637,1	14,83	2,73	4,46	0,86	15,85
Bisagno	4112,77	10,10	637,1	13,78	3,68	3,83	0,67	14,53
Bisagno	4382,77	9,52	646,9	12,94	3,42	3,83	0,66	13,69
Bisagno	4383,77	9,51	647,0	13,11	3,60	2,78	0,47	13,50
Bisagno	4438,37	9,32	800,6	12,93	3,61	3,56	0,61	13,58
Bisagno	4497,07	9,15	800,4	12,78	3,63	3,51	0,61	13,41
Bisagno	4514,57	9,09	800,4	12,77	3,78	3,36	0,57	13,35
Bisagno	4529,77	8,72	800,3	12,81	4,19	3,03	0,50	13,28
Bisagno	4537,57	8,53	800,3	12,83	4,40	2,89	0,46	13,25
Bisagno	4547,07	8,53	800,3	12,81	4,38	2,90	0,47	13,24
Bisagno	4548,57	8,53	800,4	12,84	4,41	2,76	0,43	13,23
Bisagno	4562,57	8,53	800,4	12,55	4,14	2,94	0,47	12,99
Bisagno	4573,09	8,80	865,5	12,33	3,53	3,76	0,66	13,05
Bisagno	4599,22	7,63	865,5	12,18	3,55	4,08	0,75	13,03
Bisagno	4662,42	7,23	866,0	11,82	3,59	4,51	0,83	12,86
Bisagno	4721,23	6,74	867,1	11,51	3,77	4,32	0,79	12,46
Bisagno	4770,63	6,83	867,7	11,25	3,42	4,35	0,80	12,22
Bisagno	4791,09	6,76	867,9	11,16	3,40	4,20	0,77	12,06
Bisagno	4793,09	6,75	868,2	11,16	3,40	4,18	0,76	12,05
Bisagno	4819,36	6,66	868,9	11,08	3,42	3,92	0,70	11,86
Bisagno	4857,63	6,43	869,3	10,94	3,51	3,88	0,69	11,71
Bisagno	4862,30	6,43	869,6	10,85	3,42	3,99	0,72	11,66
Bisagno	4890,91	6,57	870,4	10,70	3,13	4,15	0,77	11,58
Bisagno	4937,95	6,08	871,7	10,46	3,38	4,14	0,78	11,33
Bisagno	5027,00	5,37	873,0	10,02	3,65	4,11	0,77	10,88
Bisagno	5077,72	5,22	873,9	9,75	3,53	4,22	0,80	10,66
Bisagno	5118,49	4,98	874,7	9,51	3,53	4,41	0,85	10,50
Bisagno	5155,73	4,98	875,5	9,27	3,29	4,50	0,88	10,30
Bisagno	5200,81	4,84	876,0	9,03	3,49	4,06	0,74	9,87
Bisagno	5207,09	4,41	876,3	9,11	4,30	3,38	0,57	9,69
Bisagno	5225,24	4,41	876,5	9,02	4,21	3,47	0,59	9,63
Bisagno	5229,90	4,41	876,7	9,00	4,19	3,48	0,59	9,62
Bisagno	5243,90	4,42	876,9	9,05	4,23	3,12	0,51	9,55
Bisagno	5245,90	4,42	876,9	8,98	4,16	3,70	0,62	9,68
Bisagno	5247,90	4,42	877,4	9,03	4,21	3,13	0,51	9,53
Bisagno	5297,90	4,40	878,4	8,90	4,10	3,23	0,53	9,43
Bisagno	5350,90	4,71	879,4	8,88	4,17	2,86	0,45	9,30
Bisagno	5395,09	4,48	880,2	8,84	4,36	2,73	0,42	9,22
Bisagno	5411,09	4,40	880,2	8,83	4,43	2,68	0,41	9,20
Bisagno	5537,09	3,88	880,2	6,65	2,77	5,81	1,18	8,37
Bisagno	5542,39	3,80	880,2	6,58	2,78	5,36	1,03	8,05
Bisagno	5547,69	3,70	880,2	6,54	2,84	5,22	0,99	7,93
Bisagno	5565,69	3,37	880,2	6,44	3,07	4,85	0,89	7,64

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	5599,39	2,76	880,2	6,28	3,52	4,47	0,76	7,30
Bisagno	5633,19	2,15	880,2	6,17	4,02	4,24	0,68	7,09
Bisagno	5637,49	2,07	880,2	6,17	4,10	4,16	0,66	7,05
Bisagno	5665,19	1,97	880,2	6,06	4,09	4,45	0,70	7,07
Bisagno	5719,89	1,79	880,2	5,87	4,08	4,55	0,72	6,93
Bisagno	5771,59	1,61	880,2	5,68	4,07	4,57	0,73	6,75
Bisagno	5826,59	1,42	880,2	5,48	4,06	4,64	0,74	6,58
Bisagno	5872,29	1,27	880,1	5,30	4,03	4,66	0,74	6,41
Bisagno	5912,00	1,13	880,1	5,15	4,02	4,68	0,75	6,26
Bisagno	6132,00	0,33	880,1	4,29	3,96	4,71	0,76	5,42
Bisagno	6232,00	-0,03	880,1	3,90	3,93	4,75	0,77	5,05
Bisagno	6332,00	-0,39	880,1	3,49	3,88	4,81	0,78	4,67
Bisagno	6432,00	-0,75	880,1	3,07	3,82	4,89	0,80	4,29
Bisagno	6532,00	-1,11	880,1	2,63	3,74	4,99	0,83	3,90
Bisagno	6632,00	-1,47	880,2	2,17	3,64	5,14	0,86	3,51
Bisagno	6672,00	-1,61	880,2	1,97	3,58	5,22	0,89	3,36
Bisagno	6675,50	-1,62	880,2	1,95	3,57	5,14	0,88	3,30
Bisagno	6732,00	-1,83	880,2	1,66	3,49	5,26	0,91	3,07
Bisagno	6771,50	-1,97	880,2	1,44	3,41	5,41	0,94	2,93
Bisagno	6772,00	-1,97	880,2	1,43	3,40	5,31	0,92	2,87
Bisagno	6791,50	-2,18	880,2	1,32	3,50	5,16	0,88	2,68
Bisagno	6792,00	-2,18	880,2	1,32	3,50	5,17	0,88	2,68
Bisagno	6871,87	-3,00	880,2	0,50	3,50	4,95	0,85	1,75
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	12,30	162,9	15,19	2,89	3,52	0,66	15,82
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77	12,15	162,9	15,00	2,85	3,57	0,67	15,65
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77	12,10	162,9	14,98	2,88	3,53	0,66	15,62
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77	11,22	162,9	14,03	2,81	3,62	0,69	14,70
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77	10,48	163,1	13,46	2,98	3,35	0,62	14,03
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77	9,52	191,5	12,96	3,44	3,33	0,57	13,53
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	9,51	191,8	13,11	3,60	0,82	0,14	13,14

Tabella 5 – Risultati di sintesi per lo scenario TR200, SIM2A.

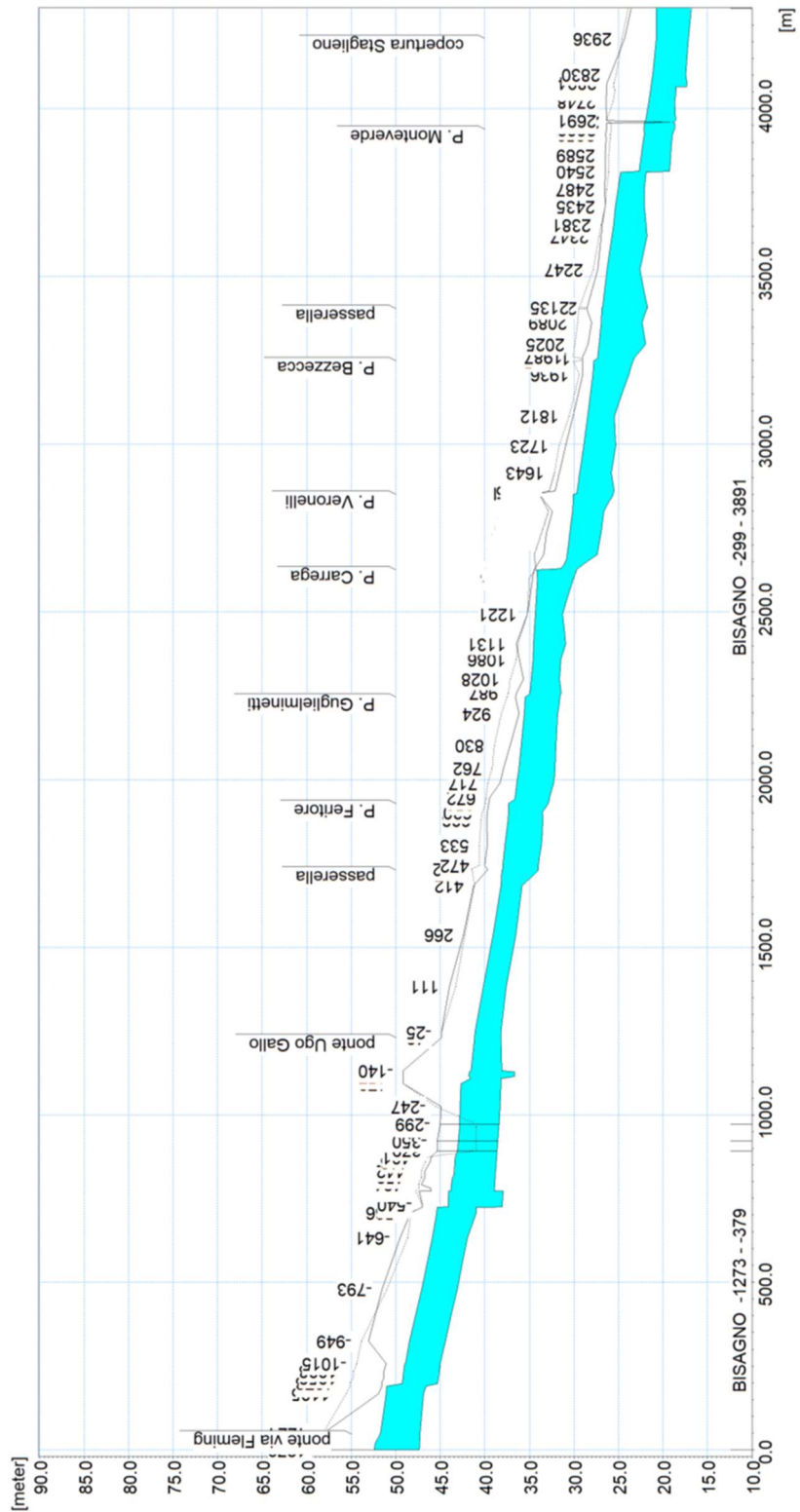


Figura 59 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2A, tratto di monte.

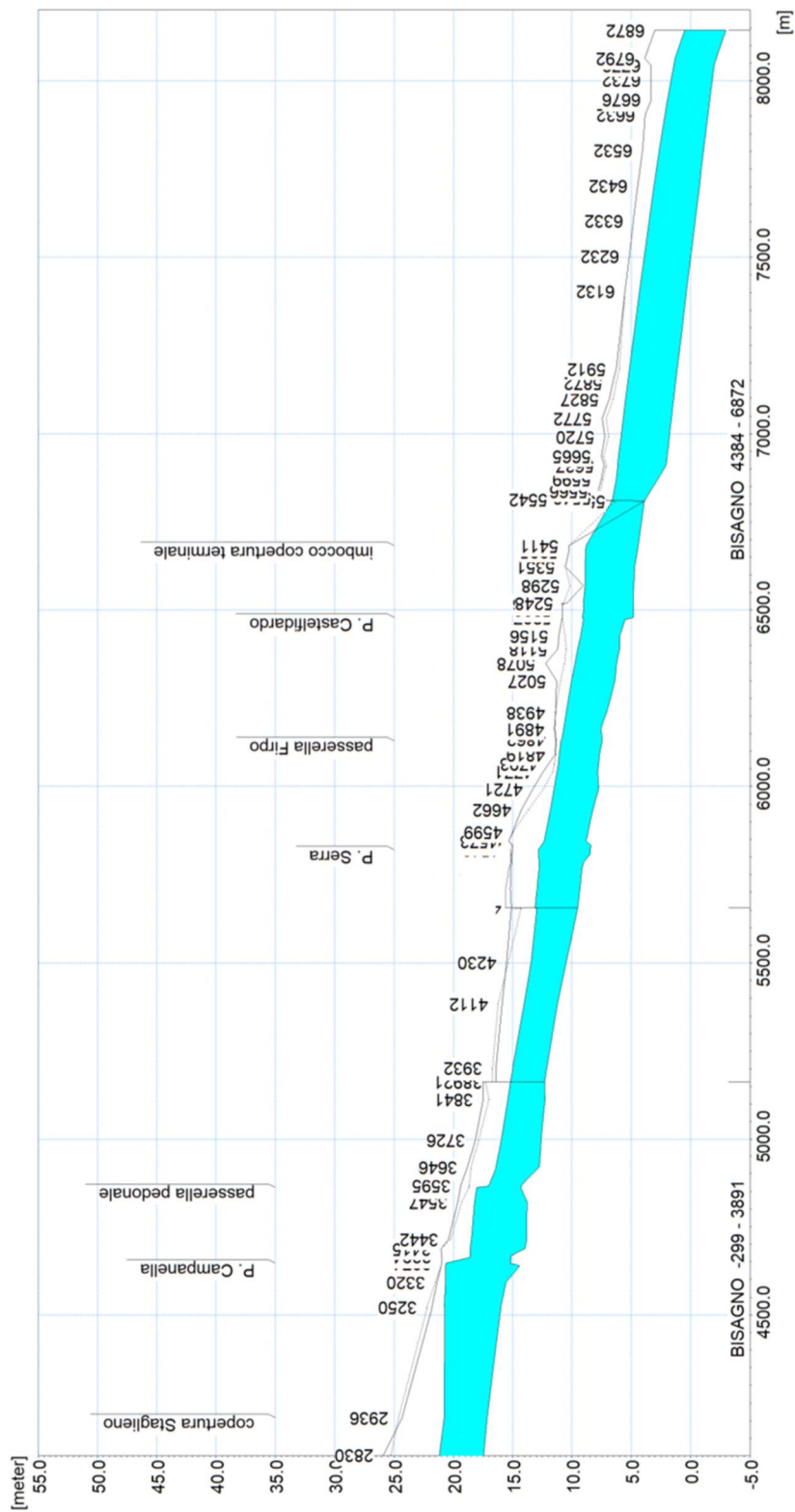


Figura 60 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2A, tratto di valle.

Anche per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni le portate di piena scolmate risultano interamente contenute in alveo, per cui non è prodotto un output del modello bidimensionale, non generandosi esondazioni.

Tuttavia, rispetto all'evento TR50 si riscontrano condizioni maggiormente gravose, con alcuni elementi di criticità idraulica che hanno suggerito l'opportunità di effettuare ulteriori analisi di sensitività dei risultati con scenari integrativi, come meglio descritto nei capitoli che seguono.

In particolare si evidenzia quanto segue, rimandando anche alla valutazione analitica dei franchi idraulici contenuta nel capitolo 5.3.

- Il ponte Guglielminetti presenta un comportamento in pressione, producendo però un innalzamento del profilo idrico della corrente relativamente modesto, anche perché già influenzato da valle dal più intenso effetto di rigurgito dovuto al ponte Carrega. I livelli di piena a monte sono contenuti in alveo con franco idraulico in sponda destra e sinistra superiore a 0,5 m, valore da ritenersi adeguato ai sensi del PdB.
- Anche il ponte Carrega presenta un comportamento in pressione, con più rilevante sovrizzo del livello idrico a monte, che pur rimanendo contenuto in alveo arriva a lambire la sommità spondale per un tratto di circa 25 m a monte, con franchi minimi di 23 cm in sponda sinistra e di 30 cm in sponda destra.
- Il franco idraulico di 1 m non viene rispettato in corrispondenza del ponte Bezzecca, ma esso risulta adeguato rispetto alle sponde nel tratto a monte.
- Il ponte Campanella presenta un comportamento in pressione, con livello della superficie idrica che per circa 10 m a monte, pur rimanendo contenuto in alveo, arriva a lambire la sommità spondale con franchi minimi di 35 cm in sponda sinistra e destra.
- Un tratto di circa 90 m a monte della passerella Firpo presenta franchi idraulici inferiori a 50 cm in sponda sinistra (variabili da 29 cm a 49 cm) e in sponda destra (variabili da 33 cm a 43 cm), nonostante la struttura della passerella non provochi una significativa interferenza con il deflusso della piena.
- Il ponte Castelfidardo presenta un comportamento in pressione, ma il franco idraulico delle sponde a monte viene rispettato, nonostante l'innalzamento della quota della superficie libera associata al profilo di rigurgito che si genera.
- Il ponte ferroviario di Brignole (imbocco della copertura terminale) presenta struttura a tutto arco; calcolando quindi il franco rispetto ai 2/3 della luce risulterebbe un valore negativo (-0,67 m indicati in Tabella 7), che tuttavia non indica in questo caso un funzionamento in pressione: rispetto alla quota in chiave il franco effettivo è infatti di 2,27 m. I franchi idraulici spondali nel tratto a monte risultano rispettati.
- All'interno della copertura terminale il franco risulta generalmente superiore ad 1 m, con valori anche dell'ordine dei 2 m, tranne che nella sezione subito a valle del ponte della ferrovia dove esso è pari a 87 cm per effetto di un locale abbassamento dell'intradosso della copertura.

In Figura 61 sono rappresentati gli idrogrammi di portata che mostrano l'effetto prodotto dallo scolmatore: quelli relativi alla coordinata longitudinale -1272.85 m (Bisagno, linea nera) e -247.12 m (Bisagno, linea blu) sono riferiti alle sezioni a monte e a valle dello scolmatore, mentre l'idrogramma alla coordinata 120 m (Scolmatore, linea verde) rappresenta l'andamento nel tempo della portata derivata dallo scolmatore e veicolata a mare.

La portata massima in ingresso al tratto in esame è pari a 1049 m³/s; il colmo di piena viene ridotto a valle a un valore di circa 591 m³/s (56,3% del colmo idrologico); lo scolmatore deriva una portata massima di 458 m³/s, coerentemente con le ipotesi di progetto.

Si osserva dal grafico un breve picco di portata rilasciata a valle antecedente il passaggio del colmo, che raggiunge il valore di 612 m³/s. Questa oscillazione è dovuta a un fenomeno transitorio nella propagazione verso monte del rigurgito indotto dalla traversa per portate prossime al colmo, per cui si ha una piccola isteresi nel raggiungimento sul ciglio dello sfioratore del battente idrico che consente a regime di derivare la portata di progetto (circa 450 m³/s). Si tratta di un effetto non osservato nelle analisi del Progetto Esecutivo (nel quale si consideravano condizioni di moto stazionario, già a regime), ma del tutto ininfluenza sulle modalità di propagazione della piena a valle, e verosimilmente amplificato rispetto all'idrodinamica reale dalla schematizzazione modellistica monodimensionale.

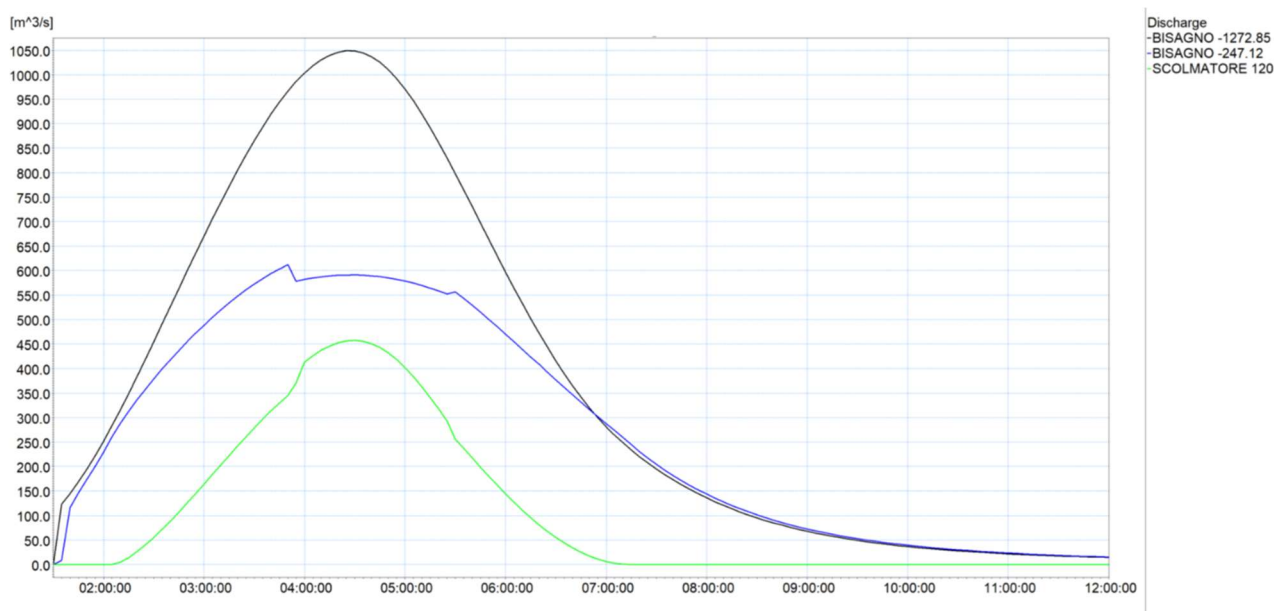


Figura 61 – Idrogrammi (TR200) che rappresentano il funzionamento del nodo di presa dello scolmatore.

5.2.3 SIM3A: scenario “base” con scolmatore attivo: evento TR500

Nella Tabella 6 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 62 e in Figura 63 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, rispettivamente per il tratto di monte e per il tratto di valle.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-1272,85	47,37	1439,8	53,37	6,00	5,23	0,74	54,76
Bisagno	-1252,85	47,31	1439,8	53,29	5,98	5,25	0,74	54,70
Bisagno	-1223,85	47,26	1439,9	52,58	5,32	6,04	0,92	54,44
Bisagno	-1104,94	46,88	1440,0	51,98	5,10	5,34	0,78	53,43
Bisagno	-1082,82	46,60	1440,0	51,93	5,33	5,06	0,73	53,23
Bisagno	-1075,12	45,30	1440,0	50,10	4,80	5,73	0,86	51,77
Bisagno	-1072,61	45,29	1440,0	50,08	4,79	5,74	0,86	51,76
Bisagno	-1057,64	45,21	1439,9	50,02	4,81	5,47	0,83	51,55
Bisagno	-1037,58	45,11	1439,9	49,93	4,82	5,48	0,83	51,46
Bisagno	-1017,03	45,01	1439,8	49,84	4,83	5,45	0,83	51,36
Bisagno	-1015,03	45,00	1439,8	49,70	4,70	6,02	0,96	51,55
Bisagno	-948,56	44,41	1439,5	49,29	4,88	6,17	1,01	51,23
Bisagno	-792,88	43,10	1438,5	48,11	5,01	5,75	0,91	49,80
Bisagno	-640,66	41,94	1437,4	47,35	5,41	5,10	0,76	48,68
Bisagno	-566,25	40,97	1446,3	47,19	6,22	4,53	0,64	48,24
Bisagno	-550,25	40,94	1447,3	46,93	5,99	4,59	0,64	48,00
Bisagno	-548,55	38,06	1447,5	46,64	8,58	3,35	0,40	47,21
Bisagno	-540,25	38,04	1447,6	46,77	8,73	3,35	0,40	47,34
Bisagno	-502,25	37,94	1435,3	46,79	8,85	3,07	0,36	47,27
Bisagno	-501,03	38,94	1435,3	46,65	7,71	3,42	0,42	47,25
Bisagno	-492,76	38,92	1435,4	46,61	7,69	3,51	0,44	47,24
Bisagno	-482,97	38,89	1435,6	46,60	7,71	3,50	0,43	47,23
Bisagno	-481,27	38,89	1435,7	46,60	7,71	3,50	0,43	47,23
Bisagno	-461,96	38,84	1435,6	46,60	7,76	3,43	0,42	47,20
Bisagno	-458,18	38,83	1435,5	46,53	7,70	3,46	0,43	47,14
Bisagno	-441,54	38,79	1434,9	46,51	7,72	3,45	0,42	47,12
Bisagno	-415,64	38,72	1434,7	46,50	7,78	3,40	0,41	47,09
Bisagno	-401,32	38,68	1434,6	46,49	7,81	3,37	0,41	47,07
Bisagno	-378,52	38,62	1434,6	46,27	7,65	4,07	0,49	47,11
Bisagno	-350,05	38,55	1347,8	46,24	7,69	3,80	0,45	46,98
Bisagno	-307,57	38,44	995,2	46,18	7,74	2,94	0,35	46,62
Bisagno	-298,66	38,41	995,4	46,18	7,77	2,92	0,34	46,61
Bisagno	-247,12	38,28	796,5	46,18	7,90	2,25	0,26	46,44
Bisagno	-179,30	38,17	796,0	46,15	7,98	2,23	0,25	46,40
Bisagno	-162,95	38,17	796,0	42,07	3,90	4,56	0,74	43,13
Bisagno	-156,95	36,67	796,0	42,23	5,56	3,19	0,43	42,75
Bisagno	-143,45	36,67	796,0	42,21	5,54	3,21	0,43	42,73
Bisagno	-139,95	38,07	796,0	42,01	3,94	4,51	0,72	43,05
Bisagno	-42,20	38,17	796,0	41,61	3,44	4,18	0,79	42,50
Bisagno	-25,20	38,17	876,6	41,53	3,36	4,72	0,90	42,67
Bisagno	110,66	37,60	876,6	40,61	3,01	4,80	0,92	41,78
Bisagno	265,98	36,50	876,6	39,57	3,07	4,65	0,88	40,67
Bisagno	411,85	35,80	876,6	38,72	2,92	4,30	0,80	39,66
Bisagno	457,12	34,00	876,6	38,66	4,66	3,43	0,58	39,26
Bisagno	461,62	34,00	876,6	38,58	4,58	3,51	0,60	39,21
Bisagno	471,62	34,00	878,4	38,54	4,54	3,56	0,61	39,19
Bisagno	532,59	33,64	882,5	38,34	4,70	3,60	0,65	39,00
Bisagno	607,63	33,49	885,4	38,08	4,59	3,61	0,67	38,74
Bisagno	630,34	33,55	886,8	38,04	4,49	3,42	0,61	38,64
Bisagno	654,64	32,88	887,6	38,06	5,18	2,99	0,50	38,51
Bisagno	655,59	32,88	888,0	38,06	5,18	2,99	0,50	38,52
Bisagno	668,59	32,75	888,5	37,15	4,40	3,81	0,72	37,89
Bisagno	672,49	32,75	890,0	37,12	4,37	3,85	0,73	37,88
Bisagno	717,49	32,27	892,7	36,94	4,67	3,78	0,72	37,67
Bisagno	762,49	32,09	896,1	36,77	4,68	3,74	0,69	37,48
Bisagno	830,32	31,99	900,9	36,54	4,55	3,59	0,65	37,20

Bisagno	924,32	31,80	905,1	36,32	4,52	3,27	0,57	36,87
Bisagno	973,32	31,56	906,6	36,19	4,63	3,35	0,54	36,76
Bisagno	974,16	31,56	906,9	36,18	4,62	3,35	0,54	36,75
Bisagno	983,31	31,46	907,3	35,61	4,15	3,81	0,65	36,35
Bisagno	986,81	31,43	908,7	35,60	4,17	3,80	0,65	36,33
Bisagno	1027,81	31,60	911,6	35,47	3,87	3,73	0,67	36,18
Bisagno	1086,49	31,48	914,7	35,37	3,89	3,26	0,58	35,91
Bisagno	1131,49	30,91	918,7	35,35	4,44	2,86	0,48	35,77
Bisagno	1220,84	31,28	924,6	35,24	3,95	2,71	0,43	35,61
Bisagno	1327,75	30,04	923,4	35,02	4,98	2,96	0,46	35,47
Bisagno	1350,76	29,69	912,7	35,10	5,41	2,54	0,36	35,43
Bisagno	1352,76	29,69	910,5	35,09	5,40	2,55	0,36	35,42
Bisagno	1356,81	29,69	908,5	31,80	2,21	6,89	1,61	34,22
Bisagno	1398,12	27,39	910,9	31,27	3,88	4,29	0,78	32,21
Bisagno	1460,12	26,95	917,1	30,98	4,03	4,21	0,76	31,88
Bisagno	1527,12	26,63	922,7	30,70	4,07	4,04	0,74	31,53
Bisagno	1576,12	25,60	925,5	30,64	5,04	3,45	0,61	31,25
Bisagno	1577,87	25,58	925,7	30,64	5,06	3,43	0,60	31,24
Bisagno	1581,17	25,56	925,9	30,17	4,61	3,97	0,75	30,97
Bisagno	1588,27	25,48	926,3	30,15	4,67	3,89	0,73	30,92
Bisagno	1643,29	25,80	937,3	29,90	4,10	3,91	0,74	30,68
Bisagno	1722,81	25,31	946,1	29,46	4,15	4,49	0,82	30,49
Bisagno	1811,82	25,45	956,8	29,07	3,62	4,01	0,73	29,89
Bisagno	1935,84	23,81	961,8	28,60	4,79	3,89	0,68	29,37
Bisagno	1974,84	23,38	963,0	28,51	5,13	3,73	0,59	29,22
Bisagno	1975,79	23,36	963,2	28,51	5,15	3,72	0,59	29,22
Bisagno	1983,39	23,20	963,6	28,46	5,26	3,63	0,56	29,13
Bisagno	1987,29	23,12	964,8	28,42	5,30	3,59	0,56	29,08
Bisagno	2025,25	21,94	967,9	28,24	6,30	3,45	0,55	28,85
Bisagno	2089,02	22,34	971,1	27,85	5,51	3,76	0,61	28,57
Bisagno	2130,92	21,80	972,4	27,43	5,63	3,75	0,61	28,15
Bisagno	2133,68	21,77	972,6	27,31	5,54	3,83	0,63	28,06
Bisagno	2135,35	21,75	976,0	27,29	5,54	3,85	0,63	28,04
Bisagno	2247,31	22,59	982,4	26,80	4,21	4,62	0,84	27,89
Bisagno	2347,31	21,77	986,4	26,28	4,51	4,42	0,77	27,28
Bisagno	2381,31	21,67	989,1	26,07	4,20	4,68	0,83	27,19
Bisagno	2435,37	22,10	992,2	25,85	3,75	4,19	0,70	26,75
Bisagno	2486,91	21,89	995,4	25,58	3,49	4,55	0,79	26,64
Bisagno	2540,29	19,06	1001,4	23,33	4,07	4,27	0,70	24,26
Bisagno	2589,29	18,92	1009,0	23,06	3,94	4,47	0,74	24,08
Bisagno	2638,59	18,77	1026,7	22,86	3,89	4,60	0,77	23,94
Bisagno	2666,39	18,67	1030,3	22,86	4,19	3,75	0,58	23,58
Bisagno	2687,00	18,65	1028,8	22,74	3,89	4,05	0,66	23,58
Bisagno	2691,34	18,57	1033,8	22,61	4,04	5,08	0,88	23,93
Bisagno	2747,87	18,45	1021,7	22,28	3,63	4,79	0,82	23,45
Bisagno	2783,95	18,34	1011,9	22,07	3,53	4,47	0,78	23,09
Bisagno	2790,55	18,31	1012,1	22,01	3,50	4,65	0,82	23,11
Bisagno	2792,55	18,31	1012,2	21,99	3,48	4,67	0,83	23,10
Bisagno	2803,95	17,10	1015,0	21,97	4,67	4,42	0,75	22,97
Bisagno	2829,77	16,44	1017,2	21,89	4,45	4,23	0,71	22,80
Bisagno	2935,77	16,14	1029,6	21,64	4,50	3,70	0,57	22,34
Bisagno	3245,77	14,90	1048,8	21,45	5,45	2,87	0,40	21,87
Bisagno	3249,77	14,90	1048,3	21,48	5,48	2,73	0,37	21,86
Bisagno	3319,77	14,43	1039,1	21,40	5,87	2,78	0,38	21,79
Bisagno	3365,88	14,39	1022,5	21,43	7,04	2,52	0,34	21,75
Bisagno	3372,78	14,08	1018,4	21,39	6,21	2,69	0,37	21,76
Bisagno	3373,78	14,08	1017,8	21,39	6,21	2,69	0,37	21,76
Bisagno	3389,78	14,08	1010,8	19,11	3,98	4,54	0,81	20,16
Bisagno	3393,78	14,08	1009,8	19,07	3,89	4,66	0,85	20,18

Bisagno	3414,52	13,97	1005,2	19,11	5,14	3,22	0,48	19,64
Bisagno	3441,78	12,77	1005,7	19,00	5,18	3,49	0,55	19,62
Bisagno	3546,77	12,67	1014,2	18,73	4,96	3,68	0,59	19,42
Bisagno	3586,77	12,99	1016,8	18,54	4,25	4,09	0,69	19,39
Bisagno	3587,77	12,99	1016,8	18,54	4,25	4,10	0,69	19,40
Bisagno	3591,77	12,99	1017,0	17,45	3,21	5,77	1,15	19,15
Bisagno	3594,77	12,99	1017,2	17,41	3,17	5,84	1,18	19,15
Bisagno	3639,77	11,81	1014,0	16,89	3,96	4,95	0,92	18,14
Bisagno	3645,77	11,65	1012,7	16,85	4,10	4,77	0,87	18,01
Bisagno	3725,77	11,55	1009,8	16,40	3,80	4,48	0,79	17,42
Bisagno	3840,77	11,25	1014,3	15,89	3,64	4,40	0,77	16,88
Bisagno	3891,77	11,30	1000,9	15,74	3,44	5,57	0,96	17,32
Bisagno	3926,77	11,15	808,5	15,36	3,21	4,82	0,86	16,54
Bisagno	3931,77	11,10	807,9	15,33	3,23	4,78	0,85	16,50
Bisagno	4112,77	10,10	807,9	14,35	4,25	4,15	0,67	15,23
Bisagno	4382,77	9,52	949,0	13,56	4,04	4,76	0,76	14,71
Bisagno	4383,77	9,51	948,9	13,79	4,28	3,40	0,53	14,38
Bisagno	4438,37	9,32	1021,5	13,56	4,24	3,85	0,61	14,31
Bisagno	4497,07	9,15	1017,3	13,43	4,28	3,74	0,59	14,14
Bisagno	4514,57	9,09	1016,5	13,43	4,44	3,59	0,56	14,09
Bisagno	4529,77	8,72	1014,7	13,48	4,86	3,27	0,49	14,02
Bisagno	4537,57	8,53	1012,0	13,50	5,07	3,12	0,46	14,00
Bisagno	4547,07	8,53	1011,6	13,47	5,04	3,13	0,47	13,97
Bisagno	4548,57	8,53	1011,9	13,50	5,07	3,01	0,44	13,96
Bisagno	4562,57	8,53	1015,1	13,12	4,71	3,26	0,49	13,66
Bisagno	4573,09	8,80	1116,0	12,87	4,07	4,18	0,68	13,76
Bisagno	4599,22	7,63	1115,9	12,72	4,09	4,47	0,76	13,74
Bisagno	4662,42	7,23	1116,6	12,36	4,13	4,94	0,84	13,60
Bisagno	4721,23	6,74	1118,3	12,06	4,32	4,73	0,80	13,20
Bisagno	4770,63	6,83	1117,2	11,80	3,97	4,73	0,80	12,94
Bisagno	4791,09	6,76	1116,5	11,73	3,97	4,56	0,76	12,79
Bisagno	4793,09	6,75	1117,0	11,72	3,97	4,54	0,76	12,77
Bisagno	4819,36	6,66	1117,0	11,65	3,99	4,27	0,70	12,58
Bisagno	4857,63	6,43	1116,1	11,53	4,10	4,21	0,69	12,44
Bisagno	4862,30	6,43	1116,7	11,40	3,97	4,36	0,73	12,37
Bisagno	4890,91	6,57	1118,2	11,25	3,68	4,49	0,77	12,28
Bisagno	4937,95	6,08	1120,3	11,04	3,96	4,44	0,76	12,05
Bisagno	5027,00	5,37	1122,5	10,65	4,28	4,35	0,74	11,61
Bisagno	5077,72	5,22	1124,0	10,42	4,20	4,39	0,75	11,40
Bisagno	5118,49	4,98	1125,2	10,21	4,23	4,51	0,78	11,25
Bisagno	5155,73	4,98	1126,5	10,03	4,05	4,51	0,78	11,07
Bisagno	5200,81	4,84	1128,0	9,90	4,36	4,06	0,66	10,74
Bisagno	5207,09	4,41	1130,0	10,00	5,19	3,50	0,53	10,62
Bisagno	5225,24	4,41	1130,3	9,83	5,02	3,62	0,56	10,50
Bisagno	5229,90	4,41	1129,2	9,82	5,01	3,64	0,56	10,49
Bisagno	5243,90	4,42	1128,5	9,87	5,05	3,31	0,49	10,43
Bisagno	5245,90	4,42	1128,6	9,81	4,99	4,09	0,63	10,66
Bisagno	5247,90	4,42	1129,4	9,85	5,03	3,33	0,49	10,41
Bisagno	5297,90	4,40	1128,1	9,74	4,94	3,38	0,50	10,32
Bisagno	5350,90	4,71	1120,0	9,74	5,03	3,01	0,43	10,20
Bisagno	5395,09	4,48	1115,4	9,72	5,24	2,88	0,40	10,14
Bisagno	5411,09	4,40	1115,6	9,72	5,32	2,84	0,39	10,13
Bisagno	5537,09	3,88	1115,6	7,31	3,43	6,14	1,14	9,23
Bisagno	5542,39	3,80	1115,6	7,25	3,45	5,47	0,94	8,77
Bisagno	5547,69	3,70	1115,6	7,22	3,52	5,35	0,91	8,68
Bisagno	5565,69	3,37	1115,6	7,12	3,75	5,02	0,83	8,40
Bisagno	5599,39	2,76	1115,6	6,98	4,22	4,72	0,74	8,11
Bisagno	5633,19	2,15	1115,6	6,87	4,72	4,57	0,67	7,93
Bisagno	5637,49	2,07	1115,6	6,87	4,80	4,50	0,66	7,90

Bisagno	5665,19	1,97	1115,6	6,76	4,79	4,81	0,70	7,94
Bisagno	5719,89	1,79	1115,6	6,57	4,78	4,92	0,72	7,80
Bisagno	5771,59	1,61	1115,6	6,37	4,76	4,95	0,73	7,62
Bisagno	5826,59	1,42	1115,6	6,16	4,74	5,02	0,74	7,44
Bisagno	5872,29	1,27	1115,6	5,98	4,71	5,05	0,75	7,28
Bisagno	5912,00	1,13	1115,6	5,82	4,69	5,07	0,75	7,13
Bisagno	6132,00	0,33	1115,6	4,92	4,59	5,14	0,77	6,27
Bisagno	6232,00	-0,03	1115,6	4,50	4,53	5,21	0,79	5,88
Bisagno	6332,00	-0,39	1115,6	4,07	4,46	5,30	0,81	5,50
Bisagno	6432,00	-0,75	1115,6	3,61	4,36	5,42	0,83	5,11
Bisagno	6532,00	-1,11	1115,6	3,13	4,24	5,58	0,87	4,72
Bisagno	6632,00	-1,47	1115,6	2,60	4,07	5,81	0,92	4,32
Bisagno	6672,00	-1,61	1115,6	2,37	3,98	5,95	0,96	4,17
Bisagno	6675,50	-1,62	1115,6	2,34	3,96	5,85	0,95	4,09
Bisagno	6732,00	-1,83	1115,6	2,00	3,83	6,07	1,00	3,88
Bisagno	6771,50	-1,97	1115,6	1,73	3,70	6,31	1,06	3,76
Bisagno	6772,00	-1,97	1115,6	1,72	3,69	6,21	1,03	3,68
Bisagno	6791,50	-2,18	1115,6	1,58	3,76	6,09	1,00	3,47
Bisagno	6792,00	-2,18	1115,6	1,58	3,76	6,10	1,01	3,48
Bisagno	6871,87	-3,00	1115,6	0,50	3,50	6,28	1,07	2,51
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	12,30	231,0	15,76	3,46	4,17	0,72	16,65
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77	12,15	206,1	15,53	3,38	3,81	0,66	16,27
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77	12,10	206,0	15,52	3,42	3,77	0,65	16,24
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77	11,22	205,9	14,59	3,37	3,82	0,66	15,33
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77	10,48	206,7	14,07	3,60	3,52	0,59	14,70
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77	9,52	344,3	13,75	4,23	4,86	0,75	14,96
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	9,51	349,4	13,79	4,28	1,25	0,19	13,87

Tabella 6 – Risultati di sintesi per lo scenario TR500, SIM3A.

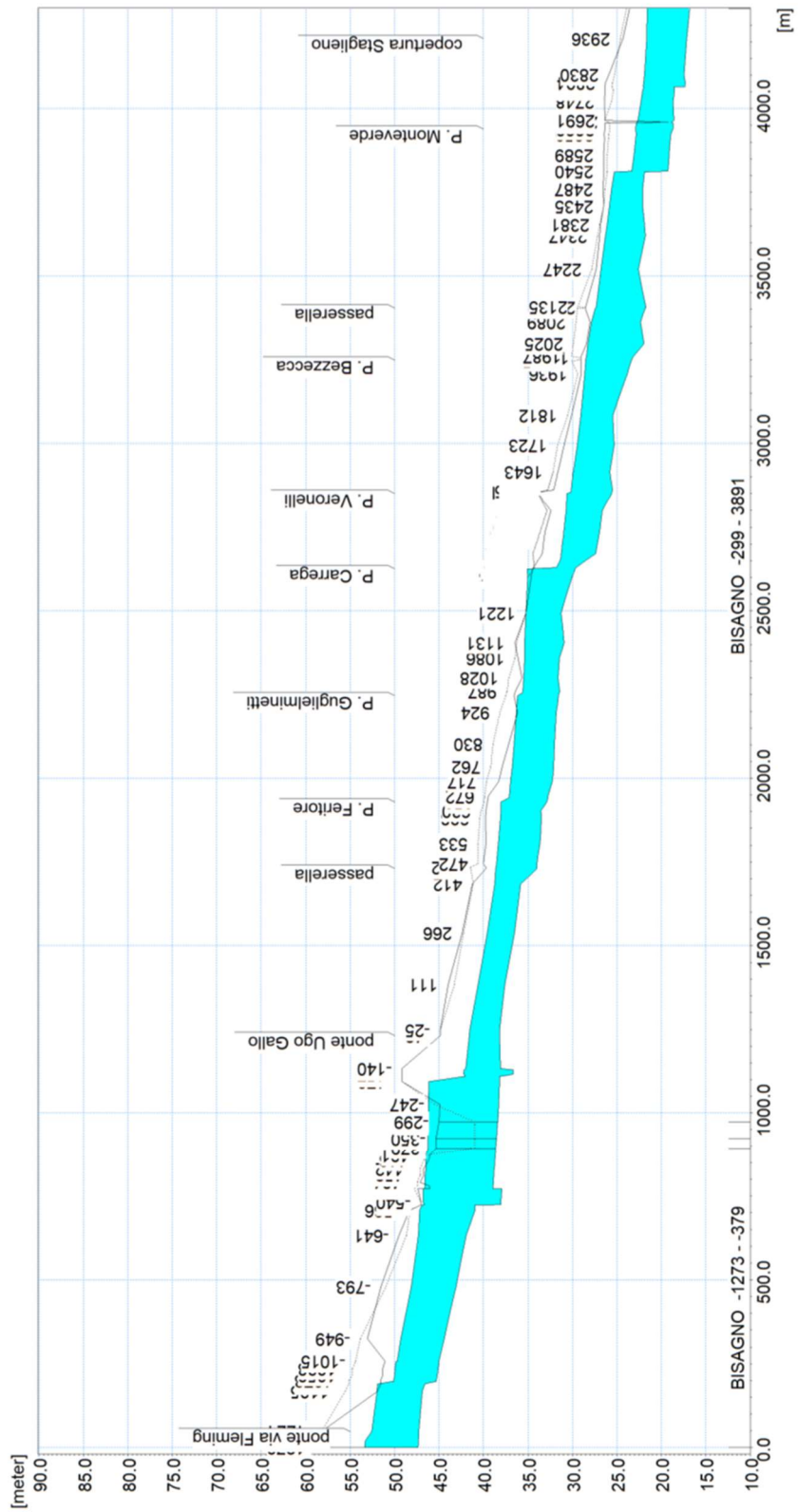


Figura 62 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3A, tratto di monte.

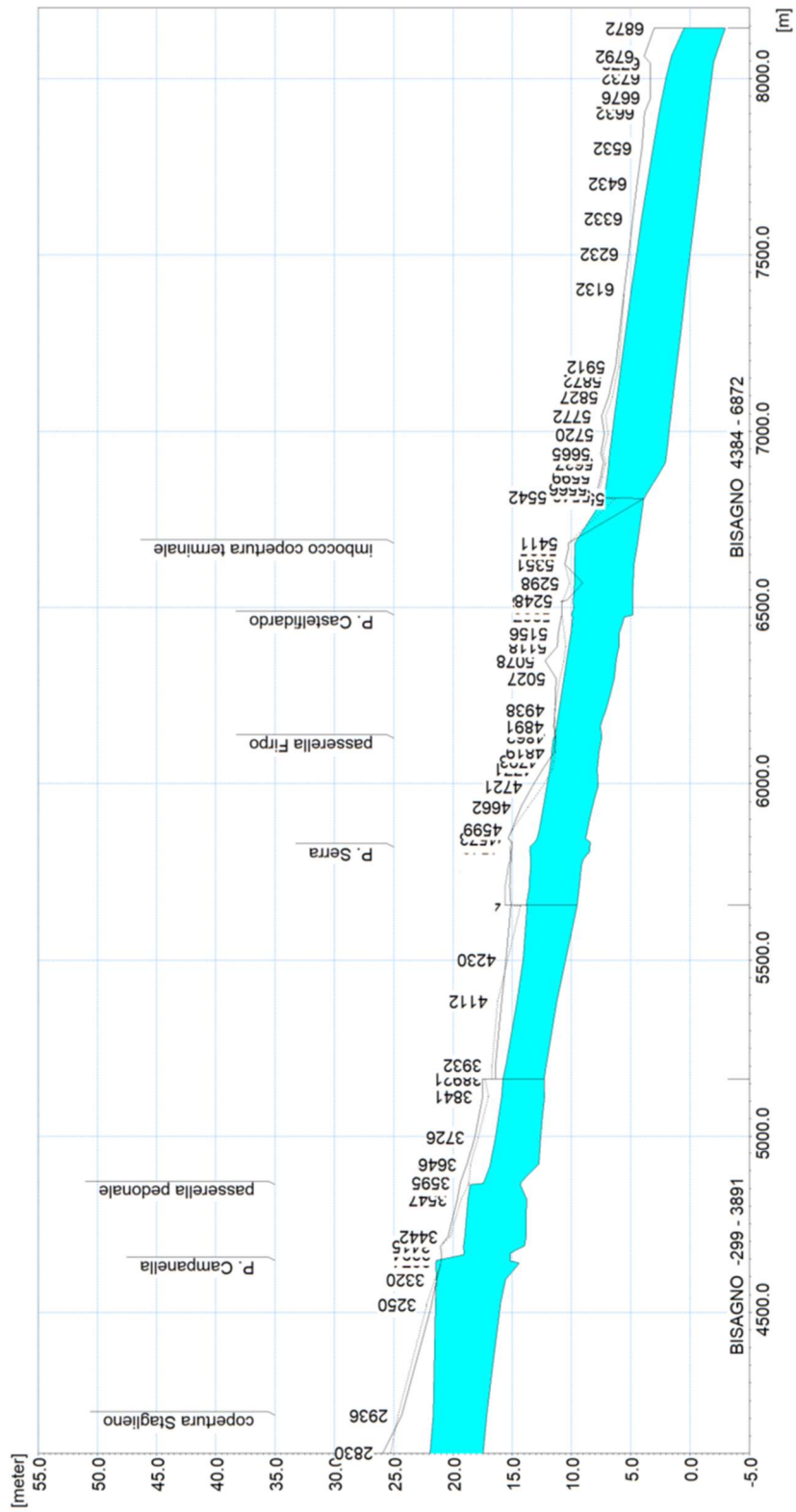


Figura 63 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3A, tratto di valle.

Nel caso dell'evento cinquecentennale la riduzione del colmo di piena ad opera dello scolmatore non è sufficiente ad evitare il verificarsi di esondazioni nel tratto in esame, che inizia a presentare fuoriuscite di portata dall'alveo per valori di portata prossimi a 800 m³/s.

Dall'analisi dei risultati restituiti dal modello monodimensionale si evince quanto nel seguito descritto.

- Non viene rispettato il franco in corrispondenza del ponte Ugo Gallo e del ponte Feritore, dove però i franchi idrici spondali sono ampiamente adeguati.
- Si ha esondazione a monte del ponte Carrega, dovuta all'innalzamento della quota della superficie libera per il comportamento in pressione dell'attraversamento.
- Il ponte Bezzecca presenta un comportamento in pressione, per senza esondazioni a monte.
- Esondazioni si verificano invece in sponda destra e sinistra nel tratto compreso tra la copertura di Staglieno e il ponte Campanella (circa 130 m), associate all'innalzamento della quota della superficie libera per il comportamento in pressione di quest'ultimo.
- A monte della passerella Firpo entrambe le sponde vengono sormontate per un tratto di circa 90 m producendo esondazioni.
- Il ponte Castelfidardo presenta un comportamento in pressione, ma i franchi a monte risultano adeguati; si hanno invece esondazioni a valle in sponda destra, poco a monte dell'imbocco della copertura terminale.
- La copertura terminale presenta condizioni di deflusso a pelo libero, pur con franchi minimi.

In Figura 64 sono rappresentati gli idrogrammi di portata in corrispondenza del nodo di presa dello scolmatore, riferiti alle medesime sezioni già descritte per gli eventi TR50 e TR200. A fronte di una portata al colmo in ingresso di 1440 m³/s, lo scolmatore (che in queste condizioni mostra un funzionamento completamente in pressione fino al mare) è in grado di derivare circa 650 m³/s, lasciando proseguire a valle una portata massima di circa 790 m³/s (circa il 55% della portata al colmo idrologica).

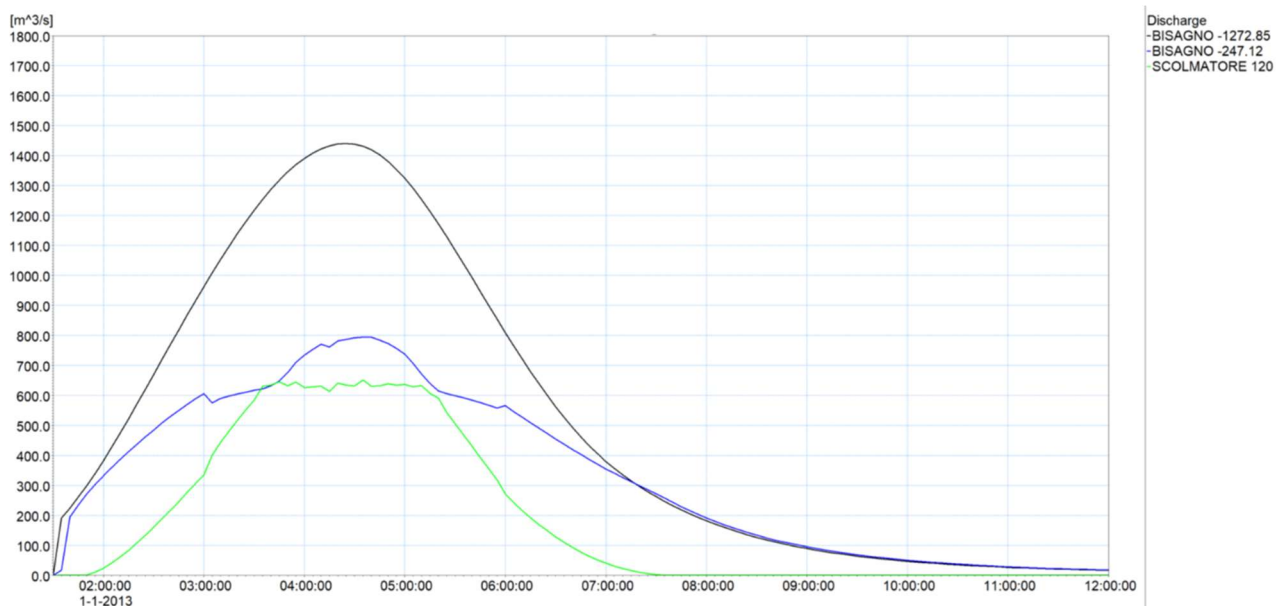


Figura 64 – Idrogrammi (TR500) che rappresentano il funzionamento del nodo di presa dello scolmatore.

In Figura 65 e Figura 66 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente 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.

In Figura 65 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 66 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 modello restituisce allagamenti sulle aree di costa dovuti alla condizione di valle imposta (livello di mare) che risulta maggiore delle quote di spiaggia; essi non sono da considerarsi in questa sede per la finalità di definizione delle aree a rischio idraulico.

Le esondazioni associate all'evento cinquecentennale sono relative ai tratti precedentemente descritti, che interessano il tratto del Bisagno all'altezza del ponte Carrega, del ponte Campanella e del tratto tra la passerella Firpo e l'inizio della copertura finale.

L'esondazione all'altezza del ponte Carrega rimane contenuta in sponda sinistra tra via Ponte Carrega e piazza Adriatico, con profondità d'acqua che variano tra i 0,5 m e i 2,5 m e velocità che raggiungono il valore di 1 m/s. Le situazioni più critiche si creano tra via ponte Carrega e passo ponte Carrega.

In sponda sinistra l'esondazione interessa l'ampio piazzale adiacente con profondità d'acqua che non supera gli 0,6 m e velocità che raggiungono i valori maggiori in prossimità del ponte. Gli allagamenti si propagano verso valle lungo via Piacenza, raggiungendo Staglieno.

L'esondazione in corrispondenza del ponte Campanella si propaga in sponda sinistra sul Lungo Bisagno Istria fino a Piazzale Parenzo, mentre in sponda destra prosegue verso valle defluendo lungo Via Bobbio e unendosi alla portata esondata all'altezza della passerella Firpo. Le profondità idriche risultano prevalentemente contenute al di sotto dei 50 cm e le velocità sono generalmente inferiori a 1,5 m/s.

La portata che fuoriesce nel tratto terminale del Bisagno, all'altezza della passerella Firpo in sponda destra, si propaga verso valle attraverso il sottopasso carrabile di Via Canevari e interessa le aree più depresse a valle della ferrovia.

L'area soggetta ad esondazione in sponda destra si estende a Ponente fino ad interessare Piazza Colombo, Via Galata e Via Cesarea mentre a Sud si propaga fino a Via Armando Diaz. In sponda sinistra l'area maggiormente interessata dagli allagamenti risulta a valle di Via Pisacane e Via Volturno fino a mare, con limite verso Levante presso corso Torino e via Casaregis.

L'esondazione in sponda sinistra all'altezza della passerella Firpo si propaga lungo Corso Sardegna fino all'altezza di Via Giacometti. Le profondità maggiori sono dell'ordine di 1,5 m e le velocità sono contenute generalmente al di sotto di 1 m/s.

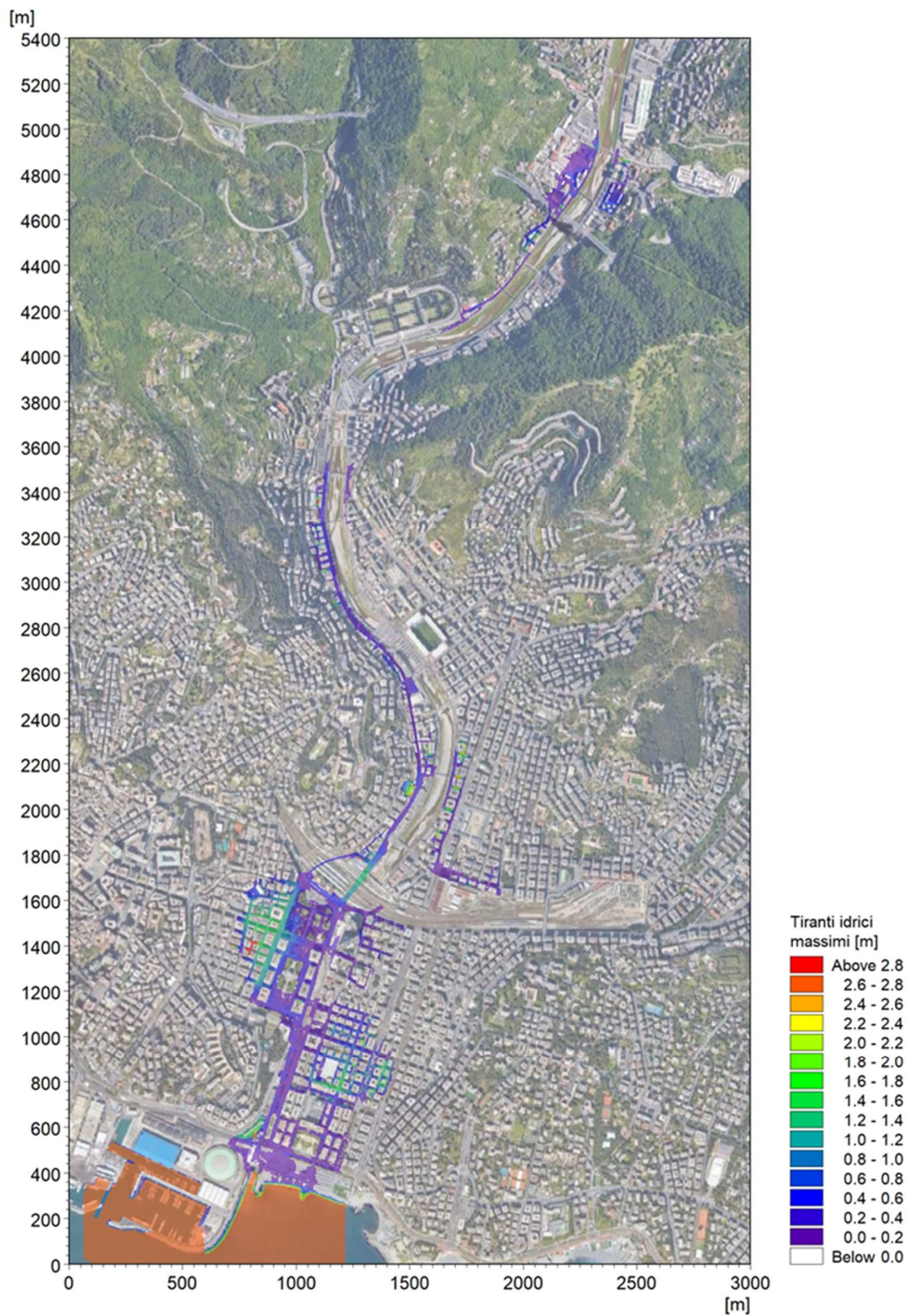


Figura 65 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3A.

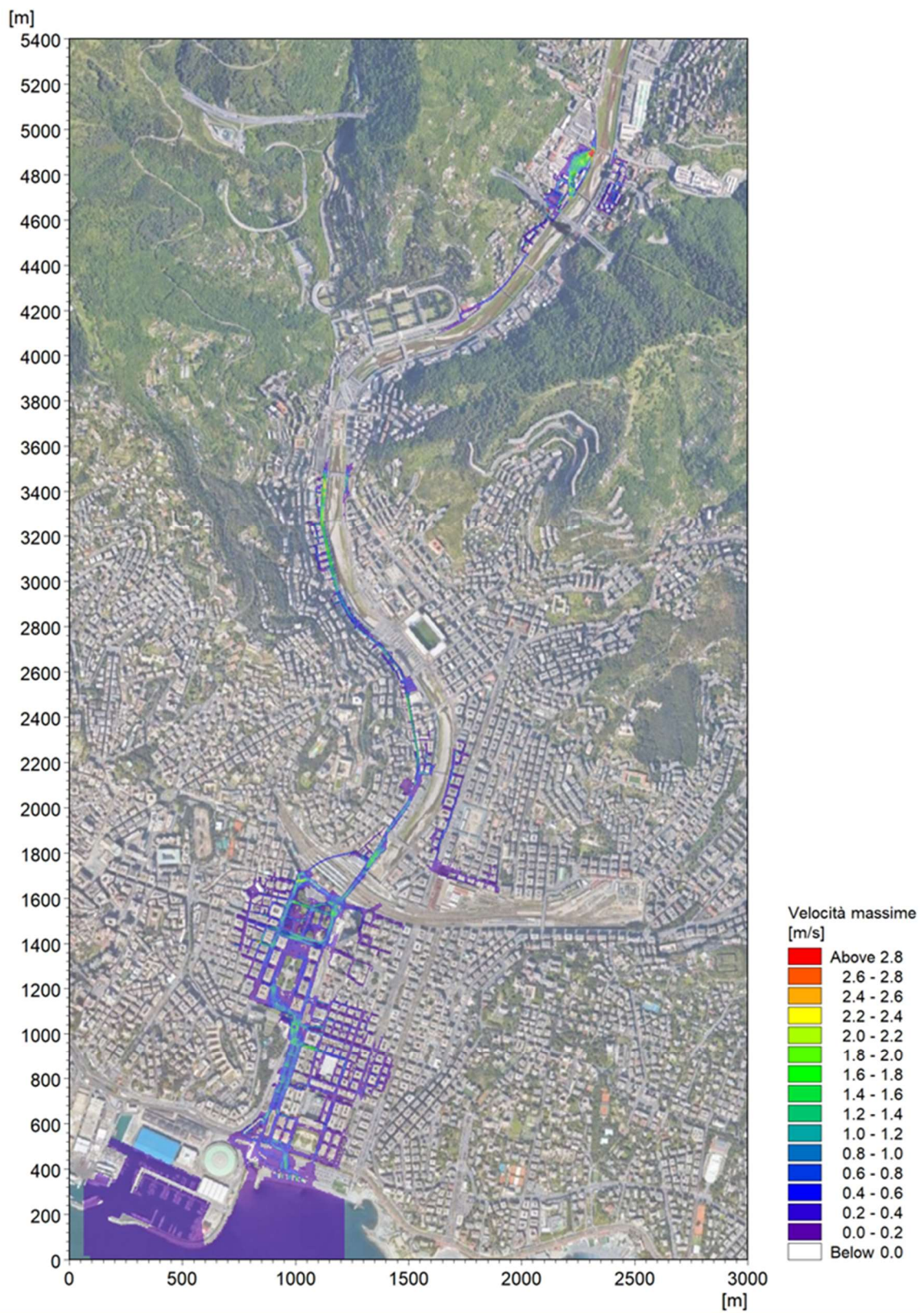


Figura 66 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3A.

5.3 Analisi dei franchi idraulici

In Tabella 18 per ciascuna sezione del modello sono indicati i franchi idraulici minimi rispetto alle quote di ritenuta spondale (“Franco sx” per la sponda sinistra e “Franco dx” per la sponda destra), estratti dai risultati del modello monodimensionale per gli eventi di piena cinquantennale (TR50) e duecentennale (TR200).

Essi sono indicati con valore negativo nel caso in cui si verificano dei sormonti delle sponde, con conseguente allagamento delle aree limitrofe.

ID Fiume	Progressiva [m]	TR50		TR200	
		Franco sx [m]	Franco dx [m]	Franco sx [m]	Franco dx [m]
Bisagno	-1272,85	6,95	6,95	5,81	5,81
Bisagno	-1252,85	6,98	6,98	5,84	5,84
Bisagno	-1223,85	7,47	7,47	6,45	6,45
Bisagno	-1104,94	5,61	1,96	4,50	0,85
Bisagno	-1082,82	5,23	1,70	4,11	0,58
Bisagno	-1075,12	6,73	3,20	5,84	2,31
Bisagno	-1072,61	6,74	3,21	5,86	2,33
Bisagno	-1057,64	6,38	3,00	5,51	2,13
Bisagno	-1037,58	6,47	3,09	5,61	2,23
Bisagno	-1017,03	6,20	2,92	5,35	2,07
Bisagno	-1015,03	6,29	3,01	5,46	2,18
Bisagno	-948,56	6,22	5,40	5,40	4,58
Bisagno	-792,88	4,76	5,27	3,92	4,43
Bisagno	-640,66	3,68	4,51	2,76	3,59
Bisagno	-566,25	3,87	3,90	2,88	2,91
Bisagno	-550,25	2,70	2,70	1,69	1,69
Bisagno	-548,55	4,05	4,05	2,88	2,88
Bisagno	-540,25	4,07	4,07	2,91	2,91
Bisagno	-502,25	4,86	4,44	3,72	3,30
Bisagno	-501,03	5,04	3,33	3,95	2,24
Bisagno	-492,76	4,72	3,38	3,65	2,31
Bisagno	-482,97	4,75	4,41	3,68	3,34
Bisagno	-481,27	4,75	4,41	3,68	3,34
Bisagno	-461,96	4,57	4,16	3,48	3,07
Bisagno	-458,18	4,68	4,27	3,63	3,22
Bisagno	-441,54	4,75	4,34	3,70	3,29
Bisagno	-415,64	4,35	3,81	3,31	2,77
Bisagno	-401,32	4,24	3,78	3,20	2,74
Bisagno	-378,52	-1,10	3,27	-2,11	2,26
Bisagno	-350,05	-0,98	3,39	-1,99	2,38
Bisagno	-307,57	-0,81	3,23	-1,86	2,18
Bisagno	-298,66	-0,79	3,24	-1,85	2,18
Bisagno	-247,12	3,79	3,21	2,67	2,09
Bisagno	-179,30	7,67	7,67	6,46	6,46
Bisagno	-162,95	7,93	7,93	7,57	7,57
Bisagno	-156,95	7,76	7,76	7,39	7,39
Bisagno	-143,45	7,78	7,78	7,41	7,41
Bisagno	-139,95	7,96	7,96	7,61	7,61
Bisagno	-42,20	4,05	4,03	3,71	3,69
Bisagno	-25,20	4,11	4,09	3,78	3,76
Bisagno	110,66	3,46	4,18	3,12	3,84
Bisagno	265,98	3,54	3,69	3,18	3,33
Bisagno	411,85	3,40	3,49	2,99	3,08
Bisagno	457,12	3,80	2,06	3,36	1,62

ID Fiume	Progressiva [m]	TR50		TR200	
		Franco sx [m]	Franco dx [m]	Franco sx [m]	Franco dx [m]
Bisagno	461,62	3,85	2,11	3,42	1,68
Bisagno	471,62	3,06	2,46	2,63	2,03
Bisagno	532,59	3,30	2,40	2,85	1,95
Bisagno	607,63	3,47	2,86	2,97	2,36
Bisagno	630,34	3,44	2,90	2,91	2,37
Bisagno	654,64	3,20	2,80	2,63	2,23
Bisagno	655,59	3,20	2,80	2,63	2,23
Bisagno	668,59	3,64	3,24	3,23	2,83
Bisagno	672,49	3,67	3,27	3,25	2,85
Bisagno	717,49	3,70	2,33	3,29	1,92
Bisagno	762,49	3,41	2,14	2,99	1,72
Bisagno	830,32	3,47	1,69	3,01	1,23
Bisagno	924,32	3,05	1,08	2,53	0,56
Bisagno	973,32	2,54	1,62	2,02	1,10
Bisagno	974,16	2,54	1,62	2,02	1,10
Bisagno	983,31	2,87	1,95	2,42	1,50
Bisagno	986,81	2,85	1,93	2,40	1,48
Bisagno	1027,81	2,84	1,36	2,36	0,88
Bisagno	1086,49	2,44	2,08	1,88	1,52
Bisagno	1131,49	2,38	2,57	1,74	1,93
Bisagno	1220,84	1,60	1,60	0,88	0,88
Bisagno	1327,75	1,72	1,35	0,91	0,54
Bisagno	1350,76	1,03	1,10	0,23	0,30
Bisagno	1352,76	1,03	1,10	0,23	0,30
Bisagno	1356,81	3,14	3,21	2,87	2,94
Bisagno	1398,12	4,06	3,02	3,67	2,63
Bisagno	1460,12	3,60	3,03	3,19	2,62
Bisagno	1527,12	3,10	2,68	2,67	2,25
Bisagno	1576,12	4,23	4,24	3,78	3,79
Bisagno	1577,87	4,21	4,22	3,76	3,77
Bisagno	1581,17	4,54	4,55	4,16	4,17
Bisagno	1588,27	3,50	2,87	3,11	2,48
Bisagno	1643,29	3,22	2,69	2,81	2,28
Bisagno	1722,81	3,21	2,44	2,79	2,02
Bisagno	1811,82	2,54	2,12	2,09	1,67
Bisagno	1935,84	2,01	1,62	1,49	1,10
Bisagno	1974,84	2,85	1,77	2,32	1,24
Bisagno	1975,79	1,95	1,77	1,41	1,23
Bisagno	1983,39	2,39	2,21	1,90	1,72
Bisagno	1987,29	3,29	2,21	2,80	1,72
Bisagno	2025,25	3,21	1,69	2,72	1,20
Bisagno	2089,02	3,15	1,55	2,67	1,07
Bisagno	2130,92	2,90	1,99	2,60	1,69
Bisagno	2133,68	2,20	2,19	1,65	1,64
Bisagno	2135,35	3,08	2,17	2,61	1,70
Bisagno	2247,31	1,95	1,48	1,50	1,03
Bisagno	2347,31	1,90	1,65	1,42	1,17
Bisagno	2381,31	1,83	1,76	1,34	1,27
Bisagno	2435,37	1,66	1,62	1,17	1,13
Bisagno	2486,91	1,76	1,97	1,27	1,48
Bisagno	2540,29	3,98	4,41	3,40	3,83
Bisagno	2589,29	4,20	4,63	3,64	4,07
Bisagno	2638,59	4,34	4,78	3,78	4,22
Bisagno	2666,39	4,22	4,77	3,67	4,22
Bisagno	2687,00	4,48	4,22	3,95	3,69
Bisagno	2691,34	4,90	4,90	4,37	4,37

ID Fiume	Progressiva [m]	TR50		TR200	
		Franco sx [m]	Franco dx [m]	Franco sx [m]	Franco dx [m]
Bisagno	2747,87	4,54	5,32	3,98	4,76
Bisagno	2783,95	4,60	5,51	4,02	4,93
Bisagno	2790,55	4,81	5,58	4,22	4,99
Bisagno	2792,55	4,82	5,59	4,23	5,00
Bisagno	2803,95	4,79	5,60	4,19	5,00
Bisagno	2829,77	4,69	5,31	4,09	4,71
Bisagno	2935,77	4,47	4,17	3,84	3,54
Bisagno	3245,77	2,30	1,90	1,48	1,08
Bisagno	3249,77	2,27	1,87	1,45	1,05
Bisagno	3319,77	1,67	1,50	0,85	0,67
Bisagno	3365,88	1,17	1,17	0,35	0,35
Bisagno	3372,78	1,19	1,19	0,37	0,37
Bisagno	3373,78	1,19	1,19	0,37	0,37
Bisagno	3389,78	2,87	2,87	2,33	2,33
Bisagno	3393,78	2,95	2,95	2,41	2,41
Bisagno	3414,52	3,02	3,02	2,43	2,43
Bisagno	3441,78	2,31	2,50	1,72	1,91
Bisagno	3546,77	1,65	1,95	1,08	1,38
Bisagno	3586,77	1,24	1,94	0,68	1,38
Bisagno	3587,77	1,24	1,94	0,68	1,38
Bisagno	3591,77	2,04	2,74	1,62	2,32
Bisagno	3594,77	2,08	2,78	1,65	2,35
Bisagno	3639,77	2,57	2,93	2,08	2,44
Bisagno	3645,77	2,59	2,90	2,09	2,40
Bisagno	3725,77	2,40	2,72	1,89	2,21
Bisagno	3840,77	2,11	2,58	1,59	2,06
Bisagno	3891,77	2,74	2,14	2,21	1,61
Bisagno	3926,77	2,98	2,38	2,44	1,84
Bisagno	3931,77	3,01	2,41	2,47	1,87
Bisagno	4112,77	3,38	2,28	2,74	1,64
Bisagno	4382,77	3,27	2,77	2,66	2,16
Bisagno	4383,77	3,12	2,62	2,49	1,99
Bisagno	4438,37	3,30	2,93	2,64	2,27
Bisagno	4497,07	3,22	3,07	2,53	2,38
Bisagno	4514,57	3,07	2,97	2,38	2,28
Bisagno	4529,77	3,04	2,94	2,34	2,24
Bisagno	4537,57	3,02	2,92	2,32	2,22
Bisagno	4547,07	3,02	2,89	2,32	2,19
Bisagno	4548,57	2,99	2,86	2,29	2,16
Bisagno	4562,57	3,14	3,01	2,56	2,43
Bisagno	4573,09	3,55	3,55	3,00	3,00
Bisagno	4599,22	3,32	3,38	2,77	2,83
Bisagno	4662,42	2,40	2,98	1,86	2,44
Bisagno	4721,23	1,43	2,33	0,89	1,79
Bisagno	4770,63	0,89	1,72	0,34	1,17
Bisagno	4791,09	0,89	1,39	0,34	0,84
Bisagno	4793,09	0,88	1,34	0,33	0,79
Bisagno	4819,36	0,84	0,88	0,29	0,33
Bisagno	4857,63	0,92	0,97	0,38	0,43
Bisagno	4862,30	0,99	1,04	0,47	0,52
Bisagno	4890,91	1,22	1,29	0,70	0,77
Bisagno	4937,95	1,47	1,43	0,96	0,92
Bisagno	5027,00	1,47	1,77	0,96	1,26
Bisagno	5077,72	1,40	2,98	0,89	2,47
Bisagno	5118,49	1,47	2,18	0,96	1,67
Bisagno	5155,73	1,85	2,35	1,34	1,84

ID Fiume	Progressiva [m]	TR50		TR200	
		Franco sx [m]	Franco dx [m]	Franco sx [m]	Franco dx [m]
Bisagno	5200,81	2,23	2,31	1,73	1,81
Bisagno	5207,09	2,19	2,21	1,69	1,71
Bisagno	5225,24	2,61	2,63	1,78	1,80
Bisagno	5229,90	2,67	2,67	1,82	1,82
Bisagno	5243,90	2,59	2,59	1,73	1,73
Bisagno	5245,90	2,59	2,77	1,74	1,92
Bisagno	5247,90	2,55	2,23	1,69	1,37
Bisagno	5297,90	2,16	1,32	1,26	0,42
Bisagno	5350,90	2,61	2,61	1,68	1,68
Bisagno	5395,09	2,34	2,34	1,41	1,41

Tabella 7 – Franco disponibile dalla quota del pelo libero simulato (per gli scenari TR50 e TR200) alla quota di sommità spondale.

In Tabella 8 sono sintetizzati i franchi minimi di sicurezza rispetto alle quote di intradosso degli attraversamenti, estratti dai risultati per l'evento di piena cinquantennale TR50 e duecentennale TR200 (si fa riferimento alla sezione posta immediatamente a monte, non essendo definito nel modello il livello in corrispondenza della struttura).

Essi identificano la differenza tra le altezze dell'intradosso del ponte e le altezze piezometriche nella sezione di monte del ponte stesso e sono indicati con valore negativo nel caso in cui il moto sia in pressione (livello idrico superiore alla quota di intradosso, non necessariamente con sormonto dell'impalcato). La quota di intradosso (minima) considerata per il calcolo del franco è valutata con riferimento ai 2/3 della luce; tra parentesi, in Tabella 8, è fornito anche il valore della quota massima di intradosso, ove significativamente diverso (ad esempio per ponti ad arco).

ID Fiume	Progressiva sezione	ID Struttura	Intradosso	TR50	TR200
	[m]			FR_INTR [m]	FR_INTR [m]
Bisagno	-1252,85	monte ponte via Fleming	54,15	2,95	1,81
Bisagno	-42,20	monte ponte Ugo Gallo	42,50	1,69	1,35
Bisagno	457,12	monte passerella	40,91 (41,49)	2,70	2,26
Bisagno	655,59	monte di P.Feritore	38,71 (38,94)	1,92	1,35
Bisagno	974,16	monte di P.Guglielminetti	35,16 (36,06)	0,22	-0,30
Bisagno	1352,76	monte di P.Carrega	33,72 (35,02)	0,35	-0,45
Bisagno	1577,87	monte di P.Veronelli	33,81	4,20	3,75
Bisagno	1975,79	monte di P.Bezzecca	28,36	1,11	0,57
Bisagno	2130,92	monte della passerella	29,09 (29,65)	2,54	2,24
Bisagno	2666,39	monte di P.Monteverde	24,85	3,27	2,72
Bisagno	2935,77	imbocco copertura Staglieno	23,78 (24,35)	3,65	3,02
Bisagno	3373,78	monte di P.Campanella	19,51 (20)	-0,30	-1,12
Bisagno	3587,77	monte della passerella pedonale	19,83 (20,50)	2,37	1,81
Bisagno	3926,77	monte della passerella pedonale	18,70	4,38	3,84
Bisagno	4112,77	imbocco copertura Marassi	15,29 (15,42)	2,15	1,51
Bisagno	4548,57	monte di P.Serra	14,00	1,86	1,16
Bisagno	4857,63	monte di passerella Firpo	11,62 (11,90)	1,22	0,68
Bisagno	5207,09	monte di P. Castelfidardo	8,90	0,29	-0,21

ID Fiume	Progressiva sezione	ID Struttura	Intradosso	TR50	TR200
	[m]	[-]	[m.s.m.]	FR_INTR [m]	FR_INTR [m]
Bisagno	5411,09	imbocco copertura terminale - monte ponte della ferrovia	8,16 (11,10)	0,26	-0,67
Bisagno	5542,39		11,20	5,34	4,62
Bisagno	5547,69		7,41 (7,54)	1,59	0,87
Bisagno	5565,69		7,77 (7,96)	2,09	1,33
Bisagno	5599,39		7,54 (7,73)	2,05	1,26
Bisagno	5633,19		7,33 (7,54)	1,96	1,16
Bisagno	5637,49		7,25 (7,46)	1,88	1,08
Bisagno	5665,19		7,50 (7,72)	2,23	1,44
Bisagno	5719,89		7,40 (7,54)	2,32	1,53
Bisagno	5771,59		7,64 (7,75)	2,75	1,96
Bisagno	5826,59		7,05 (7,17)	2,35	1,57
Bisagno	5872,29		6,47 (6,87)	1,94	1,17
Bisagno	5912,00		6,18 (6,58)	1,80	1,03
Bisagno	6132,00		5,53	1,97	1,24
Bisagno	6232,00		5,17	1,98	1,27
Bisagno	6332,00		4,81	1,99	1,32
Bisagno	6432,00		4,45	2,01	1,38
Bisagno	6532,00		4,04	1,99	1,41
Bisagno	6632,00		3,82	2,17	1,65
Bisagno	6672,00		3,35	1,86	1,38
Bisagno	6675,50		3,35	1,88	1,40
Bisagno	6732,00		3,35	2,11	1,69
Bisagno	6771,50	Fine copertura	3,35	2,28	1,91
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	Inizio parcheggio pensile	16,50 (16,70)	1,85	1,31
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77		16,50 (16,70)	2,04	1,50
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77		16,50 (16,70)	2,06	1,52
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77		15,99 (16,22)	2,51	1,96
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77		15,48 (15,53)	2,61	2,02
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77		14,83 (15,10)	2,41	1,87
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	Fine parcheggio pensile	15,27 (15,10)	2,79	2,16

Tabella 8 – Franco disponibile dalla quota del pelo libero simulato (per le simulazioni TR50 e TR200) alla quota di intradosso degli attraversamenti. Per i ponti con geometria ad arco o con impalcato non orizzontale si indica il franco minimo rispetto ai 2/3 della luce. In parentesi è riportata la quota di intradosso massima.

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 con tempo di ritorno 200 anni; in particolare sono definiti i franchi idraulici di sicurezza che devono essere rispettati (per almeno i 2/3 della luce) in funzione della dimensione del bacino del corso d'acqua interferito e delle caratteristiche del manufatto (Tabella 9).

Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b)			
		Reticolo principale e secondario	Reticolo minore
(a)		$U^2/2g_s$	$0,5 U^2/2g_s$
(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 9 – 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).

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 non rientrerebbero nelle disposizioni specifiche per i “tombini” ai sensi di quanto indicato dalla Circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n.7/2019.

Il torrente Bisagno presenta un bacino sotteso di estensione pari a 92 km² e quindi ricade nell’ambito del reticolo principale.

6. ANALISI DI SENSITIVITÀ DEI RISULTATI – SCENARI INTEGRATIVI

Il franco idraulico rappresenta, in generale, il coefficiente di sicurezza da assumere rispetto agli esiti delle modellazioni eseguite, per tenere conto di tutte le incertezze (concettuali, matematiche e numeriche) e dei vari fenomeni che possono occorrere durante gli eventi di piena che la modellazione non può rappresentare, così da assicurare l’affidabilità delle previsioni effettuate, particolarmente in termini di perimetrazione di aree di maggiore o minore rischio idraulico.

Ai fini della determinazione delle aree inondabili, fin dagli inizi delle attività relative alla pianificazione di bacino (cfr. ad es. raccomandazioni n. 1/1995 e n.7/1999), è stato fatto riferimento al concetto di capienza certa nell’alveo dei corsi d’acqua, presupponendo quindi una valutazione anche dell’incertezza con la quale vengono determinati i livelli del pelo libero durante gli eventi di piena considerati. Inoltre, negli indirizzi ex DGR 16/2007 è segnalata la necessità, in casi di carenza di franco, di analizzare le condizioni di pericolosità residua, che dipendono anche dalla tipologia dell’alveo e delle opere esistenti, oltre che dalle caratteristiche cinetiche della corrente e dai fenomeni di trasporto solido e flottante nel corso dell’evento.

Nei criteri per la redazione dei piani di bacino (testo integrato di cui alla DGR 1265/2011), recepiti nella normativa attualmente vigente dei piani di bacino regionali, viene ulteriormente specificato che le aree inondabili sono determinate *“nei tratti in cui le portate di massima piena, corrispondenti ai vari tempi di ritorno, non trovano più capienza certa nell’alveo, tenendo conto quindi della tolleranza con cui sono determinati i livelli idrici attraverso un adeguato franco”*. Il concetto è ancor più esplicitato laddove (confermando peraltro quanto già previsto dalla raccomandazione n.7/1999 e dai criteri ex DGR 357/2001), si specifica che particolare attenzione va posta *“ai tratti in corrispondenza di opere, per le quali, in assenza di specifiche analisi sugli effetti del trasporto solido, è opportuno prevedere valutazioni di riduzione di sezione utile per gli effetti di piena (ostruzioni di arcate di ponti o coperture per eccezionale trasporto solido, etc.)”*.

Le attuali perimetrazioni di pericolosità idraulica sono state definite (nello studio DHI2014) considerando l’inviluppo di una serie di scenari integrativi riferibili in prevalenza a parziali ostruzioni della luce di deflusso di numerosi ponti, anche per entità significative (fino al 40%).

Nella configurazione indagata, con scolmatore realizzato e in esercizio, l’assetto idraulico del tratto risulta assai migliore rispetto al pregresso, poiché la portata massima di piena viene significativamente ridotta dalla derivazione all’estremità di monte del tratto in esame, circa del 25% per TR50 e circa del 45% per TR200 e TR500.

Si riscontrano quindi, oltre all’assenza di esondazioni per gli eventi cinquantennale e duecentennale, franchi idraulici significativamente più ampi e dunque una maggiore certezza della capienza in alveo delle portate di massima piena.

Occorre inoltre considerare che la nuova briglia selettiva a monte dell’opera di presa dello scolmatore permetterà di intercettare il materiale flottante di grosse dimensioni, rendendo più improbabile l’ostruzione di rilevanti porzioni delle campate dei ponti, se non per quelli di struttura maggiormente tozza e interferente con il deflusso di piena.

Per coerenza con gli studi pregressi, è stato comunque ritenuto opportuno eseguire ulteriori scenari di simulazione che permettano di effettuare un’analisi di sensitività dei risultati ottenuti rispetto alla variazione di alcuni parametri rappresentativi della geometria e delle condizioni al contorno dell’alveo inciso.

- Analisi dell’effetto della variazione del coefficiente di scabrezza in alveo e nelle coperture (SIMB). L’incremento della scabrezza assunta come rappresentativa del tratto in studio permette di rappresentare l’effetto di maggiori ostacoli al moto causati dalla presenza di vegetazione nella stagione calda, o di detriti e locali effetti di deposito, oltre all’effetto prodotto dall’inghiainamento del fondo delle coperture. In queste condizioni infatti la sezione della copertura non è dissimile da quella dell’alveo a cielo aperto nel tratto in studio: fondo in materiale ghiaioso-ciottoloso e pareti sub-verticali in calcestruzzo. Si è pertanto deciso di ridurre il coefficiente di scabrezza secondo Strickler per le coperture da $42 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, e nel contempo utilizzare per i tratti a cielo aperto i valori minimi previsti dal Piano di Bacino per alvei caratterizzati dalla presenza di una fitta vegetazione.
- Analisi dell’effetto della parziale ostruzione delle luci di alcuni attraversamenti: come criterio generale sono stati selezionati i ponti che in corrispondenza della portata TR200 scolmata presentassero ancora funzionamento in pressione, con struttura di tipo tozzo e modesta luce delle arcate, e nel contempo franchi idraulici spondali ridotti nel tratto subito a monte.

Sono stati in particolare identificati due attraversamenti con queste caratteristiche: il ponte Campanella (**SIMC**) e il ponte Carrega (**SIMD**)

- Analisi dell'effetto di annullamento dei franchi idraulici minimi richiesti dal Piano di Bacino (ovvero del coefficiente di sicurezza nella stima dei livelli di piena) nel tratto a monte della passerella Firpo (**SIME**). Tale effetto è stato ottenuto mediante una parziale ostruzione del ponte che implicasse un innalzamento a monte del livello massimo della piena duecentennale di 50 cm.

Per le tombinature è stata già considerata nel modello una geometria attuale parzialmente interrata rispetto alle luci verticali di progetto. Dai sopralluoghi eseguiti si sono riscontrati percentuali di interrimento dell'ordine del 20% per le coperture di Staglieno e Marassi (cfr. capitolo 2.2); tali geometrie sono coerenti con quelle già considerate nello studio DHI2014, indice di un assetto attuale piuttosto stabile del fondo – non è dunque parso necessario ipotizzare ulteriori scenari di ostruzione.

Gli idrogrammi utilizzati per tutte le simulazioni degli scenari integrativi sono i medesimi di riferimento per le simulazioni “base” descritte nel capitolo 5 (definiti nel capitolo 3). A meno di quanto esplicitato nella descrizione dei vari scenari, le condizioni al contorno sono state mantenute pari a quelle già descritte nel capitolo 4.

I risultati delle simulazioni effettuate sono rappresentati nei successivi capitoli in termini di profili longitudinali di inviluppo dei massimi livelli idrici lungo l'alveo inciso (con annesse tabelle con elencati i principali parametri idrodinamici relativi) e delle mappe delle aree di esondazione con rappresentazione delle altezze idriche massime sul piano campagna, secondo i medesimi criteri già descritti nel capitolo 5.

6.1 Considerazioni in merito all'idrogramma equivalente di massimo volume

Per le finalità del presente studio non è risultata significativa l'analisi di scenari di inondazione per idrogrammi equivalenti a quelli definiti nel capitolo 3 nell'ipotesi di criticità idrologica con massimo volume esondante (rif. criteri ex DGR 357/2008).

Grazie alla presenza dello scolmatore infatti nel caso in esame non si verificano esondazioni né per tempi di ritorno di 50 anni né per 200 anni. Poiché lo scolmatore, diversamente da un'opera di laminazione, non è influenzato dal volume dell'idrogramma bensì solo dall'entità della portata in alveo, l'onda di piena con massimo volume, caratterizzata quindi da portate al colmo inferiori, risulterebbe necessariamente in portate massime a valle della traversa di regolazione inferiori rispetto agli scenari già indagati.

La portata soglia di esondazione, in altre parole, risulta già negli scenari “base” di cui al capitolo 5 superiore alle massime defluenti, e non è pertanto calcolabile un idrogramma di massimo volume esondante e minore portata al colmo.

Già peraltro nello studio ITEC2020, pur senza ancora considerare lo scolmatore, si era giunti ad analoghe conclusioni in relazione a una soglia di esondazione piuttosto alta (circa 1.000 m³/s nel tratto di valle) per la quale l'idrogramma Vmax (massimo volume) si discostava molto poco da quello Qmax (massima portata).

6.2 Variazione del parametro di scabrezza (SIMB)

Il parametro di scabrezza associato all'alveo inciso regola le perdite per attrito sul fondo di scorrimento e sulle sponde dei canali di deflusso ed è funzione della tipologia di alveo considerato. Valori del coefficiente di Gauckler-Strickler K_s minori, a parità di geometria e portata considerata, implicano profondità maggiori della corrente nel corso d'acqua.

I coefficienti di scabrezza per l'alveo inciso indicati nelle NTA del vigente Piano di Bacino (Tabella 3) definiscono un range di variazione di K_s tra $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ e $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per corsi d'acqua naturali con presenza di vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo.

Per il presente studio all'alveo del torrente Bisagno è stato associato un valore unico di K_s pari a $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, in funzione delle condizioni osservate in sito e congruentemente con i valori assunti dal modello pregresso su cui si basa il vigente PdB (DHI2014).

Per analizzare la sensibilità dei risultati del modello a questo parametro, il valore del K_s associato all'intero alveo rappresentato dal modello 1D è stato ridotto al minimo indicato dal PdB per questa tipologia di corso d'acqua, ovvero $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (-16,6%).

Tale condizione può essere associabile alla presenza in alveo di vegetazione maggiormente fitta e sviluppata rispetto allo stato attuale osservato nel corso dei sopralluoghi, o alla presenza di elementi interferenti con il deflusso (ad esempio locali depositi di sedimento e/o materiale trasportato che riducano l'efficienza delle sezioni).

Per quanto attiene alle coperture di alcuni tratti del Bisagno, in considerazione del maggiore effetto di resistenza al moto producibile da fenomeni di inghiaamento del fondo, peraltro già in atto, si è assunto un valore di K_s pari a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, assimilandone le condizioni a quelle dell'alveo a cielo aperto più a monte.

Sono state eseguite tre simulazioni, associate ai diversi tempi di ritorno:

- SIM_C1: K_s pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (alveo) e $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (coperture) per evento di piena con tempo di ritorno pari a 50 anni (TR50);
- SIM_C2: K_s pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (alveo) e $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (coperture) per evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni (TR200);
- SIM_C3: K_s pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (alveo) e $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (coperture) per evento di piena con tempo di ritorno pari a 500 anni (TR500);

La geometria del modello e le restanti condizioni al contorno sono invariate rispetto a quanto descritto nel capitolo 4.

6.2.1 SIM1B: evento di piena TR50

Nella Tabella 10 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 67 e in Figura 68 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, rispettivamente per il tratto di monte e per il tratto di valle. L'incremento dei livelli idrici non risulta tale da produrre esondazioni per l'evento di piena cinquantennale.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-1272,85	47,37	637,0	51,29	3,92	3,90	0,72	52,07
Bisagno	-1252,85	47,31	637,0	51,20	3,89	3,94	0,73	51,99
Bisagno	-1223,85	47,26	637,0	50,71	3,45	4,64	0,93	51,81
Bisagno	-1104,94	46,88	636,9	49,96	3,08	4,05	0,76	50,80
Bisagno	-1082,82	46,60	636,9	49,90	3,30	3,76	0,68	50,62
Bisagno	-1075,12	45,30	636,9	48,40	3,10	4,03	0,76	49,23
Bisagno	-1072,61	45,29	636,8	48,39	3,10	4,03	0,76	49,22
Bisagno	-1057,64	45,21	636,8	48,35	3,14	3,86	0,73	49,11
Bisagno	-1037,58	45,11	636,8	48,26	3,15	3,86	0,73	49,02
Bisagno	-1017,03	45,01	636,8	48,18	3,17	3,85	0,74	48,94
Bisagno	-1015,03	45,00	636,8	48,09	3,09	4,43	0,91	49,09
Bisagno	-948,56	44,41	636,8	47,65	3,24	4,76	1,02	48,80
Bisagno	-792,88	43,10	636,7	46,25	3,15	4,68	1,00	47,36
Bisagno	-640,66	41,94	636,6	44,99	3,05	4,63	0,98	46,08
Bisagno	-566,25	40,97	636,5	44,41	3,44	4,43	0,93	45,41
Bisagno	-550,25	40,94	636,5	44,32	3,38	3,86	0,74	45,08
Bisagno	-548,55	38,06	636,5	42,97	4,91	3,01	0,48	43,43
Bisagno	-540,25	38,04	636,5	42,95	4,91	3,02	0,49	43,41
Bisagno	-502,25	37,94	636,1	42,92	4,98	2,71	0,44	43,29
Bisagno	-501,03	38,94	636,2	42,74	3,80	3,48	0,63	43,36
Bisagno	-492,76	38,92	636,4	42,71	3,79	3,48	0,61	43,33
Bisagno	-482,97	38,89	636,5	42,68	3,79	3,47	0,61	43,29
Bisagno	-481,27	38,89	636,5	42,68	3,79	3,47	0,61	43,30
Bisagno	-461,96	38,84	636,5	42,58	3,74	3,66	0,68	43,26
Bisagno	-458,18	38,83	636,5	42,47	3,64	3,79	0,72	43,20
Bisagno	-441,54	38,79	636,5	42,40	3,61	3,84	0,73	43,15
Bisagno	-415,64	38,72	636,5	42,32	3,60	3,78	0,71	43,05
Bisagno	-401,32	38,68	636,5	42,27	3,59	3,79	0,72	43,00
Bisagno	-378,52	38,62	636,6	42,10	3,48	4,30	0,79	43,04
Bisagno	-350,05	38,55	579,1	41,98	3,43	3,99	0,74	42,79
Bisagno	-307,57	38,44	507,1	41,81	3,37	3,66	0,66	42,49
Bisagno	-298,66	38,41	507,1	41,78	3,37	3,67	0,67	42,47
Bisagno	-247,12	38,28	480,8	41,69	3,41	3,19	0,56	42,21
Bisagno	-179,30	38,17	480,8	41,50	3,33	3,22	0,56	42,03
Bisagno	-162,95	38,17	480,8	41,24	3,07	3,50	0,64	41,86
Bisagno	-156,95	36,67	480,8	41,41	4,74	2,26	0,33	41,67
Bisagno	-143,45	36,67	480,8	41,39	4,72	2,27	0,33	41,65
Bisagno	-139,95	38,07	480,8	41,21	3,14	3,42	0,62	41,81
Bisagno	-42,20	38,17	480,8	40,81	2,64	3,51	0,78	41,44
Bisagno	-25,20	38,17	514,8	40,75	2,58	3,86	0,87	41,51
Bisagno	110,66	37,60	514,8	39,82	2,22	3,96	0,90	40,62
Bisagno	265,98	36,50	514,9	38,71	2,21	3,89	0,87	39,48
Bisagno	411,85	35,80	514,9	37,78	1,98	3,73	0,84	38,49
Bisagno	457,12	34,00	514,9	37,66	3,66	2,80	0,56	38,06
Bisagno	461,62	34,00	514,9	37,61	3,61	2,86	0,58	38,03
Bisagno	471,62	34,00	515,8	37,57	3,57	2,92	0,59	38,00
Bisagno	532,59	33,64	517,7	37,33	3,69	3,09	0,67	37,82
Bisagno	607,63	33,49	519,0	36,97	3,48	3,36	0,77	37,55
Bisagno	630,34	33,55	519,7	36,86	3,31	3,20	0,72	37,38
Bisagno	654,64	32,88	520,0	36,79	3,91	2,69	0,56	37,16
Bisagno	655,59	32,88	520,2	36,79	3,91	2,70	0,56	37,16

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	668,59	32,75	520,5	36,46	3,71	2,93	0,62	36,90
Bisagno	672,49	32,75	521,2	36,44	3,69	2,97	0,62	36,89
Bisagno	717,49	32,27	522,4	36,21	3,94	2,97	0,65	36,66
Bisagno	762,49	32,09	524,0	35,97	3,88	2,98	0,65	36,42
Bisagno	830,32	31,99	526,2	35,63	3,64	2,98	0,64	36,08
Bisagno	924,32	31,80	528,3	35,20	3,40	2,84	0,60	35,61
Bisagno	973,32	31,56	534,5	35,00	3,44	2,81	0,54	35,40
Bisagno	974,16	31,56	534,9	35,00	3,44	2,82	0,54	35,41
Bisagno	983,31	31,46	533,6	34,72	3,26	2,99	0,59	35,18
Bisagno	986,81	31,43	532,8	34,71	3,28	2,97	0,59	35,16
Bisagno	1027,81	31,60	531,1	34,50	2,90	3,11	0,66	34,99
Bisagno	1086,49	31,48	532,5	34,20	2,72	2,96	0,65	34,65
Bisagno	1131,49	30,91	534,4	34,05	3,14	2,61	0,55	34,40
Bisagno	1220,84	31,28	537,1	33,76	2,48	2,49	0,50	34,08
Bisagno	1327,75	30,04	538,7	33,32	3,28	2,88	0,57	33,74
Bisagno	1350,76	29,69	539,3	33,38	3,69	2,27	0,40	33,64
Bisagno	1352,76	29,69	539,4	33,37	3,68	2,29	0,40	33,64
Bisagno	1356,81	29,69	539,5	31,32	1,73	5,53	1,50	32,88
Bisagno	1398,12	27,39	540,7	30,57	3,18	3,28	0,67	31,12
Bisagno	1460,12	26,95	542,4	30,22	3,27	3,30	0,69	30,77
Bisagno	1527,12	26,63	544,3	29,80	3,17	3,39	0,74	30,38
Bisagno	1576,12	25,60	545,6	29,58	3,98	2,98	0,62	30,03
Bisagno	1577,87	25,58	545,7	29,57	3,99	2,96	0,62	30,02
Bisagno	1581,17	25,56	545,8	29,50	3,94	3,02	0,63	29,96
Bisagno	1588,27	25,48	546,0	29,48	4,00	2,95	0,61	29,92
Bisagno	1643,29	25,80	548,6	29,20	3,40	3,02	0,65	29,66
Bisagno	1722,81	25,31	551,0	28,69	3,38	3,47	0,71	29,30
Bisagno	1811,82	25,45	553,9	28,19	2,74	3,22	0,68	28,72
Bisagno	1935,84	23,81	556,2	27,43	3,62	3,42	0,72	28,02
Bisagno	1974,84	23,38	556,8	27,28	3,90	3,11	0,59	27,77
Bisagno	1975,79	23,36	556,9	27,27	3,91	3,09	0,58	27,76
Bisagno	1983,39	23,20	557,1	27,21	4,01	2,98	0,55	27,66
Bisagno	1987,29	23,12	557,6	27,21	4,09	2,90	0,53	27,64
Bisagno	2025,25	21,94	559,0	27,12	5,18	2,76	0,51	27,51
Bisagno	2089,02	22,34	560,5	26,90	4,56	2,87	0,54	27,32
Bisagno	2130,92	21,80	561,1	26,84	5,04	2,55	0,45	27,17
Bisagno	2133,68	21,77	561,2	26,64	4,87	2,69	0,49	27,01
Bisagno	2135,35	21,75	562,8	26,64	4,89	2,69	0,48	27,01
Bisagno	2247,31	22,59	565,7	26,07	3,48	3,47	0,72	26,68
Bisagno	2347,31	21,77	567,5	25,49	3,72	3,33	0,67	26,05
Bisagno	2381,31	21,67	568,8	25,25	3,38	3,60	0,74	25,91
Bisagno	2435,37	22,10	570,2	25,00	2,90	3,14	0,60	25,50
Bisagno	2486,91	21,89	571,7	24,67	2,58	3,57	0,72	25,32
Bisagno	2540,29	19,06	573,1	22,39	3,13	3,19	0,58	22,91
Bisagno	2589,29	18,92	574,5	22,15	3,03	3,34	0,61	22,72
Bisagno	2638,59	18,77	575,5	21,89	2,92	3,47	0,65	22,50
Bisagno	2666,39	18,67	576,1	21,88	3,21	2,75	0,49	22,26
Bisagno	2687,00	18,65	576,5	21,80	2,95	3,00	0,56	22,26
Bisagno	2691,34	18,57	577,4	21,65	3,08	3,96	0,81	22,45
Bisagno	2747,87	18,45	580,5	21,25	2,60	3,85	0,78	22,01
Bisagno	2783,95	18,34	582,1	21,00	2,46	3,76	0,78	21,72

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2790,55	18,31	582,5	20,92	2,41	3,98	0,85	21,73
Bisagno	2792,55	18,31	582,5	20,90	2,39	4,02	0,86	21,73
Bisagno	2803,95	17,10	584,6	20,85	3,55	3,71	0,74	21,55
Bisagno	2829,77	16,44	585,6	20,70	3,26	3,60	0,72	21,36
Bisagno	2935,77	16,14	585,9	20,14	3,00	3,25	0,63	20,68
Bisagno	3245,77	14,90	585,9	19,96	3,96	2,25	0,37	20,22
Bisagno	3249,77	14,90	585,9	19,99	3,99	2,10	0,34	20,21
Bisagno	3319,77	14,43	585,6	19,88	4,34	2,19	0,36	20,12
Bisagno	3365,88	14,39	585,2	19,86	5,47	1,99	0,31	20,06
Bisagno	3372,78	14,08	585,2	19,82	4,64	2,18	0,35	20,06
Bisagno	3373,78	14,08	585,2	19,81	4,63	2,18	0,35	20,05
Bisagno	3389,78	14,08	585,1	18,21	3,08	3,66	0,77	18,89
Bisagno	3393,78	14,08	585,1	18,16	2,98	3,82	0,83	18,90
Bisagno	3414,52	13,97	585,0	18,15	4,18	2,37	0,40	18,44
Bisagno	3441,78	12,77	584,8	18,04	4,22	2,63	0,47	18,39
Bisagno	3546,77	12,67	584,4	17,71	3,94	2,84	0,53	18,12
Bisagno	3586,77	12,99	584,4	17,47	3,18	3,35	0,67	18,04
Bisagno	3587,77	12,99	584,5	17,46	3,17	3,36	0,68	18,04
Bisagno	3591,77	12,99	584,5	16,82	2,58	4,38	1,01	17,80
Bisagno	3594,77	12,99	584,5	16,79	2,55	4,47	1,04	17,81
Bisagno	3639,77	11,81	584,8	16,17	3,24	3,77	0,80	16,89
Bisagno	3645,77	11,65	584,8	16,15	3,40	3,58	0,74	16,80
Bisagno	3725,77	11,55	585,2	15,70	3,10	3,30	0,66	16,26
Bisagno	3840,77	11,25	585,4	15,15	2,90	3,26	0,64	15,69
Bisagno	3891,77	11,30	469,2	14,78	2,48	3,62	0,73	15,45
Bisagno	3926,77	11,15	469,3	14,50	2,35	3,82	0,80	15,24
Bisagno	3931,77	11,10	469,3	14,46	2,36	3,80	0,79	15,20
Bisagno	4112,77	10,10	469,4	13,16	3,06	3,45	0,66	13,77
Bisagno	4382,77	9,52	585,2	12,63	3,11	3,81	0,69	13,37
Bisagno	4383,77	9,51	585,3	12,78	3,27	2,78	0,50	13,17
Bisagno	4438,37	9,32	606,5	12,61	3,29	2,98	0,54	13,06
Bisagno	4497,07	9,15	592,2	12,38	3,23	2,94	0,54	12,82
Bisagno	4514,57	9,09	592,1	12,35	3,36	2,82	0,51	12,75
Bisagno	4529,77	8,72	589,9	12,37	3,75	2,53	0,44	12,70
Bisagno	4537,57	8,53	589,3	12,38	3,95	2,40	0,41	12,67
Bisagno	4547,07	8,53	586,1	12,36	3,93	2,40	0,41	12,65
Bisagno	4548,57	8,53	585,7	12,38	3,95	2,26	0,37	12,64
Bisagno	4562,57	8,53	585,7	12,31	3,90	2,31	0,38	12,58
Bisagno	4573,09	8,80	636,3	12,12	3,32	2,96	0,53	12,57
Bisagno	4599,22	7,63	629,8	11,94	3,31	3,23	0,62	12,47
Bisagno	4662,42	7,23	628,5	11,56	3,33	3,59	0,69	12,22
Bisagno	4721,23	6,74	629,6	11,25	3,51	3,43	0,66	11,85
Bisagno	4770,63	6,83	629,1	10,98	3,15	3,48	0,67	11,60
Bisagno	4791,09	6,76	628,8	10,89	3,13	3,34	0,64	11,46
Bisagno	4793,09	6,75	628,9	10,88	3,13	3,33	0,64	11,44
Bisagno	4819,36	6,66	630,1	10,80	3,14	3,11	0,58	11,29
Bisagno	4857,63	6,43	629,3	10,66	3,23	3,08	0,57	11,14
Bisagno	4862,30	6,43	629,4	10,60	3,17	3,14	0,59	11,10
Bisagno	4890,91	6,57	629,9	10,44	2,87	3,30	0,64	10,99
Bisagno	4937,95	6,08	630,7	10,20	3,12	3,30	0,65	10,76
Bisagno	5027,00	5,37	632,5	9,74	3,37	3,30	0,65	10,30

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	5077,72	5,22	634,1	9,46	3,24	3,41	0,68	10,05
Bisagno	5118,49	4,98	635,1	9,19	3,21	3,63	0,75	9,86
Bisagno	5155,73	4,98	635,3	8,91	2,93	3,76	0,79	9,63
Bisagno	5200,81	4,84	642,6	8,67	3,13	3,38	0,66	9,25
Bisagno	5207,09	4,41	643,3	8,74	3,93	2,76	0,49	9,13
Bisagno	5225,24	4,41	645,4	8,35	3,54	3,15	0,60	8,86
Bisagno	5229,90	4,41	647,2	8,32	3,51	3,19	0,61	8,84
Bisagno	5243,90	4,42	646,9	8,34	3,52	2,81	0,50	8,74
Bisagno	5245,90	4,42	646,1	8,27	3,45	3,28	0,60	8,82
Bisagno	5247,90	4,42	645,5	8,31	3,49	2,83	0,51	8,72
Bisagno	5297,90	4,40	642,0	8,11	3,31	2,99	0,55	8,56
Bisagno	5350,90	4,71	638,9	8,00	3,29	2,63	0,46	8,35
Bisagno	5395,09	4,48	642,2	7,92	3,44	2,52	0,43	8,24
Bisagno	5411,09	4,40	641,5	7,91	3,51	2,47	0,42	8,22
Bisagno	5537,09	3,88	637,9	6,29	2,41	4,74	1,02	7,44
Bisagno	5542,39	3,80	637,9	6,22	2,42	4,46	0,92	7,24
Bisagno	5547,69	3,70	637,9	6,18	2,48	4,34	0,88	7,14
Bisagno	5565,69	3,37	637,7	6,06	2,69	4,01	0,78	6,88
Bisagno	5599,39	2,76	637,2	5,92	3,16	3,61	0,65	6,58
Bisagno	5633,19	2,15	637,3	5,84	3,69	3,35	0,56	6,41
Bisagno	5637,49	2,07	637,4	5,84	3,77	3,28	0,54	6,39
Bisagno	5665,19	1,97	637,9	5,72	3,75	3,53	0,58	6,35
Bisagno	5719,89	1,79	638,6	5,52	3,73	3,61	0,60	6,18
Bisagno	5771,59	1,61	639,2	5,34	3,73	3,63	0,60	6,01
Bisagno	5826,59	1,42	639,6	5,13	3,71	3,68	0,61	5,82
Bisagno	5872,29	1,27	639,6	4,96	3,69	3,70	0,62	5,66
Bisagno	5912,00	1,13	639,0	4,81	3,68	3,71	0,62	5,51
Bisagno	6132,00	0,33	636,5	3,97	3,64	3,71	0,62	4,67
Bisagno	6232,00	-0,03	636,5	3,59	3,62	3,73	0,63	4,30
Bisagno	6332,00	-0,39	636,9	3,20	3,59	3,77	0,64	3,92
Bisagno	6432,00	-0,75	637,2	2,79	3,54	3,82	0,65	3,53
Bisagno	6532,00	-1,11	637,4	2,37	3,48	3,89	0,67	3,14
Bisagno	6632,00	-1,47	637,5	1,92	3,39	4,00	0,70	2,74
Bisagno	6672,00	-1,61	637,4	1,72	3,33	4,06	0,71	2,56
Bisagno	6675,50	-1,62	637,4	1,71	3,33	3,99	0,70	2,52
Bisagno	6732,00	-1,83	637,2	1,43	3,26	4,08	0,73	2,28
Bisagno	6771,50	-1,97	637,1	1,22	3,19	4,18	0,75	2,11
Bisagno	6772,00	-1,97	637,1	1,22	3,19	4,10	0,73	2,08
Bisagno	6791,50	-2,18	637,1	1,12	3,30	3,96	0,70	1,92
Bisagno	6792,00	-2,18	637,1	1,12	3,30	3,97	0,70	1,92
Bisagno	6871,87	-3,00	637,0	0,50	3,50	3,58	0,61	1,15
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	12,30	116,3	14,91	2,61	2,78	0,55	15,31
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77	12,15	116,3	14,72	2,57	2,82	0,56	15,13
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77	12,10	116,3	14,70	2,60	2,79	0,55	15,10
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77	11,22	116,3	13,74	2,52	2,88	0,58	14,16
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77	10,48	116,2	13,18	2,71	2,63	0,51	13,53
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77	9,52	220,2	12,80	3,28	4,02	0,71	13,62
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	9,51	221,2	12,78	3,27	1,05	0,19	12,84

Tabella 10 – Risultati di sintesi per lo scenario TR50, SIM1B.

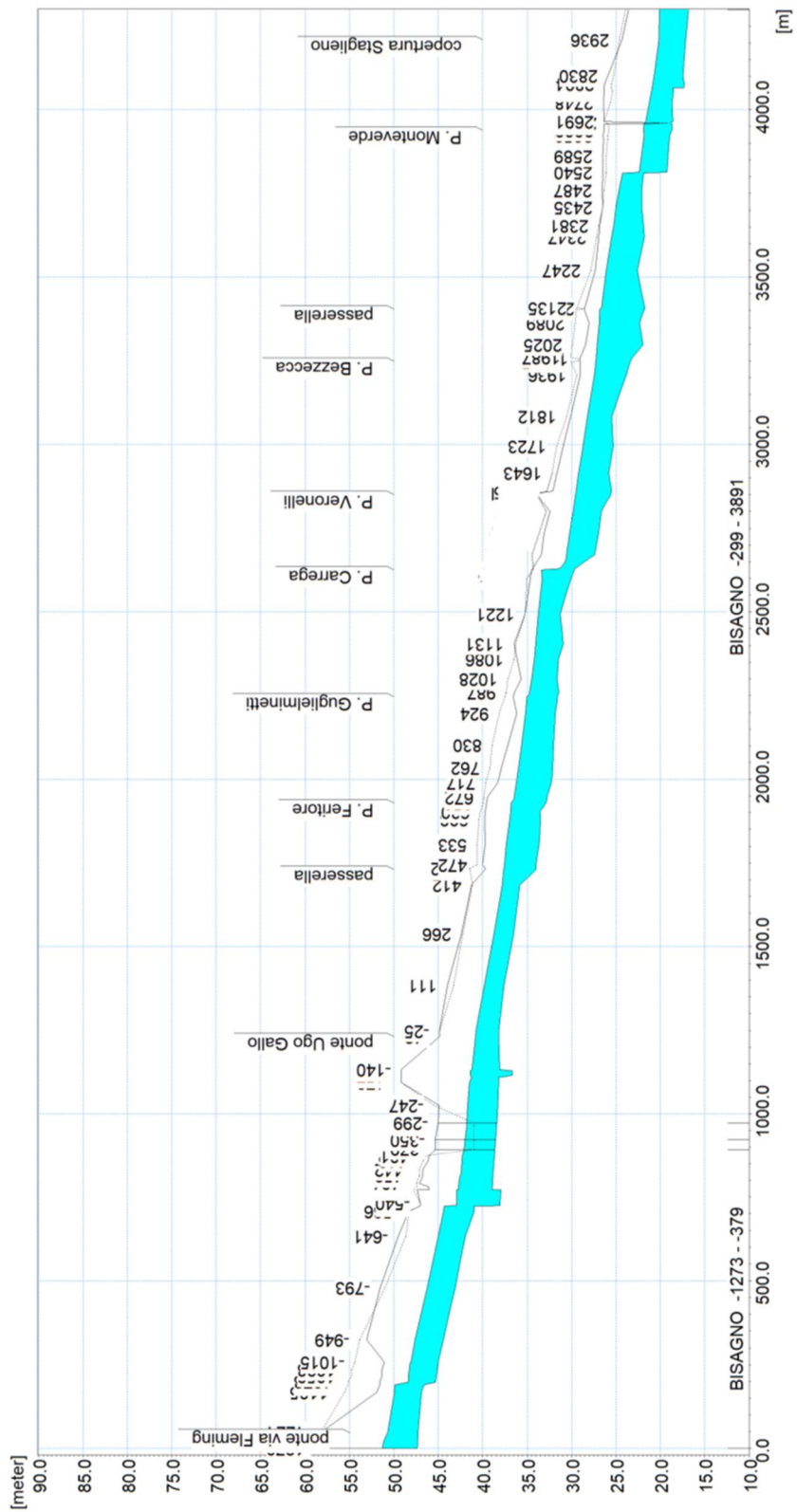


Figura 67 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1B, tratto di monte.

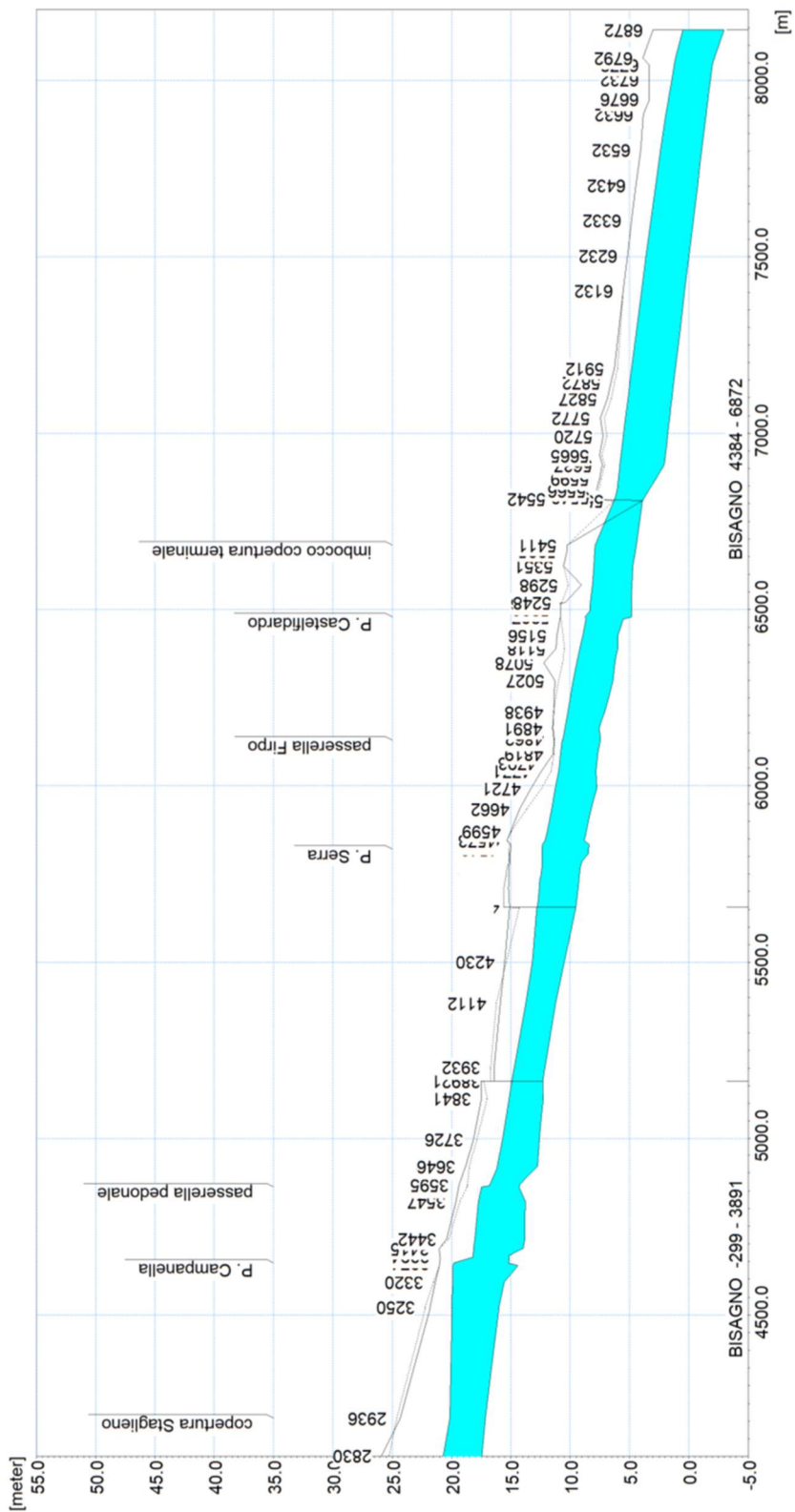


Figura 68 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1B, tratto di valle.

6.2.2 SIM2B: evento di piena TR200

Nella Tabella 11 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 69 e in Figura 70 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, rispettivamente per il tratto di monte e per il tratto di valle.

Anche per l'evento duecentennale l'incremento di scabrezza non è tale da provocare un'esonazione, ma si riscontrano tratti a franco pressochè nullo a monte del ponte Carrega e presso la passerella Firpo.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-1272,85	47,37	1049,0	52,43	5,06	4,67	0,73	53,54
Bisagno	-1252,85	47,31	1049,0	52,34	5,03	4,71	0,74	53,47
Bisagno	-1223,85	47,26	1048,9	51,73	4,47	5,45	0,92	53,25
Bisagno	-1104,94	46,88	1048,8	51,07	4,19	4,80	0,78	52,24
Bisagno	-1082,82	46,60	1048,7	51,02	4,42	4,53	0,72	52,07
Bisagno	-1075,12	45,30	1048,7	49,29	3,99	5,07	0,84	50,60
Bisagno	-1072,61	45,29	1048,7	49,27	3,98	5,08	0,84	50,59
Bisagno	-1057,64	45,21	1048,7	49,22	4,01	4,86	0,81	50,43
Bisagno	-1037,58	45,11	1048,7	49,12	4,01	4,88	0,81	50,33
Bisagno	-1017,03	45,01	1048,6	49,03	4,02	4,87	0,82	50,24
Bisagno	-1015,03	45,00	1048,6	48,92	3,92	5,44	0,96	50,43
Bisagno	-948,56	44,41	1048,6	48,47	4,06	5,72	1,05	50,14
Bisagno	-792,88	43,10	1048,5	47,09	3,99	5,58	1,02	48,68
Bisagno	-640,66	41,94	1048,5	45,91	3,97	5,41	0,97	47,40
Bisagno	-566,25	40,97	1048,5	45,40	4,43	5,10	0,90	46,72
Bisagno	-550,25	40,94	1048,6	45,33	4,39	4,66	0,76	46,44
Bisagno	-548,55	38,06	1048,6	44,14	6,08	3,82	0,57	44,88
Bisagno	-540,25	38,04	1048,6	44,11	6,07	3,84	0,57	44,86
Bisagno	-502,25	37,94	1048,6	44,06	6,12	3,46	0,49	44,67
Bisagno	-501,03	38,94	1048,6	43,83	4,89	4,22	0,66	44,74
Bisagno	-492,76	38,92	1048,6	43,78	4,86	4,31	0,66	44,73
Bisagno	-482,97	38,89	1048,6	43,75	4,86	4,30	0,66	44,69
Bisagno	-481,27	38,89	1048,6	43,75	4,86	4,31	0,66	44,70
Bisagno	-461,96	38,84	1048,6	43,67	4,83	4,38	0,70	44,65
Bisagno	-458,18	38,83	1048,6	43,52	4,69	4,54	0,74	44,57
Bisagno	-441,54	38,79	1048,6	43,45	4,66	4,59	0,75	44,53
Bisagno	-415,64	38,72	1048,6	43,36	4,64	4,54	0,74	44,41
Bisagno	-401,32	38,68	1048,6	43,31	4,63	4,55	0,74	44,36
Bisagno	-378,52	38,62	1048,6	43,11	4,49	5,32	0,85	44,55
Bisagno	-350,05	38,55	896,0	42,99	4,44	4,60	0,74	44,07
Bisagno	-307,57	38,44	686,1	42,86	4,42	3,68	0,58	43,55
Bisagno	-298,66	38,41	686,1	42,84	4,43	3,67	0,58	43,53
Bisagno	-247,12	38,28	612,0	42,81	4,53	3,05	0,46	43,28
Bisagno	-179,30	38,17	611,5	42,71	4,54	3,01	0,45	43,17
Bisagno	-162,95	38,17	611,4	41,60	3,43	3,98	0,69	42,41
Bisagno	-156,95	36,67	611,4	41,78	5,11	2,67	0,38	42,14
Bisagno	-143,45	36,67	611,3	41,76	5,09	2,68	0,38	42,13
Bisagno	-139,95	38,07	611,3	41,56	3,49	3,91	0,67	42,34
Bisagno	-42,20	38,17	610,9	41,15	2,98	3,82	0,79	41,89
Bisagno	-25,20	38,17	661,5	41,09	2,92	4,25	0,89	42,01
Bisagno	110,66	37,60	660,9	40,15	2,55	4,34	0,91	41,11

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	265,98	36,50	661,9	39,08	2,58	4,23	0,87	39,99
Bisagno	411,85	35,80	667,3	38,19	2,39	4,00	0,82	39,00
Bisagno	457,12	34,00	667,6	38,10	4,10	3,10	0,57	38,59
Bisagno	461,62	34,00	667,6	38,04	4,04	3,17	0,59	38,55
Bisagno	471,62	34,00	669,0	38,00	4,00	3,22	0,60	38,53
Bisagno	532,59	33,64	671,8	37,78	4,14	3,33	0,66	38,34
Bisagno	607,63	33,49	673,5	37,47	3,98	3,45	0,71	38,08
Bisagno	630,34	33,55	674,4	37,39	3,84	3,28	0,66	37,94
Bisagno	654,64	32,88	674,7	37,36	4,48	2,81	0,53	37,76
Bisagno	655,59	32,88	675,0	37,36	4,48	2,82	0,53	37,77
Bisagno	668,59	32,75	675,3	36,88	4,13	3,20	0,64	37,40
Bisagno	672,49	32,75	676,4	36,85	4,10	3,24	0,65	37,39
Bisagno	717,49	32,27	678,0	36,62	4,35	3,24	0,65	37,15
Bisagno	762,49	32,09	680,2	36,39	4,30	3,25	0,65	36,93
Bisagno	830,32	31,99	683,3	36,06	4,07	3,23	0,64	36,59
Bisagno	924,32	31,80	685,6	35,66	3,86	3,08	0,59	36,14
Bisagno	973,32	31,56	686,4	35,46	3,90	3,10	0,55	35,95
Bisagno	974,16	31,56	686,6	35,46	3,90	3,11	0,55	35,95
Bisagno	983,31	31,46	686,8	35,19	3,73	3,27	0,60	35,74
Bisagno	986,81	31,43	687,7	35,18	3,75	3,26	0,59	35,72
Bisagno	1027,81	31,60	689,6	34,98	3,38	3,32	0,64	35,54
Bisagno	1086,49	31,48	691,3	34,77	3,29	3,03	0,59	35,24
Bisagno	1131,49	30,91	693,8	34,67	3,76	2,67	0,50	35,03
Bisagno	1220,84	31,28	697,0	34,46	3,18	2,54	0,45	34,79
Bisagno	1327,75	30,04	698,3	34,12	4,08	2,85	0,50	34,53
Bisagno	1350,76	29,69	699,0	34,17	4,48	2,38	0,37	34,46
Bisagno	1352,76	29,69	699,1	34,17	4,48	2,40	0,38	34,46
Bisagno	1356,81	29,69	699,2	31,62	2,03	5,88	1,45	33,38
Bisagno	1398,12	27,39	700,9	30,98	3,59	3,64	0,69	31,65
Bisagno	1460,12	26,95	703,4	30,62	3,67	3,65	0,70	31,30
Bisagno	1527,12	26,63	706,1	30,21	3,58	3,69	0,73	30,90
Bisagno	1576,12	25,60	707,8	30,01	4,41	3,25	0,63	30,55
Bisagno	1577,87	25,58	707,9	30,01	4,43	3,24	0,62	30,54
Bisagno	1581,17	25,56	708,0	29,93	4,37	3,31	0,64	30,49
Bisagno	1588,27	25,48	708,3	29,91	4,43	3,24	0,62	30,44
Bisagno	1643,29	25,80	712,0	29,64	3,84	3,27	0,64	30,18
Bisagno	1722,81	25,31	715,2	29,16	3,85	3,76	0,71	29,88
Bisagno	1811,82	25,45	720,6	28,74	3,29	3,37	0,64	29,32
Bisagno	1935,84	23,81	725,2	28,19	4,38	3,33	0,62	28,76
Bisagno	1974,84	23,38	733,0	28,08	4,70	3,18	0,53	28,60
Bisagno	1975,79	23,36	734,2	28,08	4,72	3,17	0,53	28,59
Bisagno	1983,39	23,20	738,2	27,79	4,59	3,31	0,56	28,35
Bisagno	1987,29	23,12	737,1	27,79	4,67	3,23	0,54	28,32
Bisagno	2025,25	21,94	736,8	27,71	5,77	3,03	0,52	28,18
Bisagno	2089,02	22,34	743,9	27,49	5,15	3,16	0,54	28,00
Bisagno	2130,92	21,80	751,9	27,40	5,60	2,93	0,48	27,84
Bisagno	2133,68	21,77	751,6	27,13	5,36	3,11	0,52	27,62
Bisagno	2135,35	21,75	752,9	27,11	5,36	3,12	0,52	27,60
Bisagno	2247,31	22,59	743,4	26,56	3,97	3,79	0,72	27,29
Bisagno	2347,31	21,77	750,3	26,00	4,23	3,67	0,67	26,69
Bisagno	2381,31	21,67	755,3	25,76	3,89	3,96	0,74	26,56
Bisagno	2435,37	22,10	761,2	25,50	3,40	3,55	0,62	26,14
Bisagno	2486,91	21,89	767,1	25,17	3,08	4,00	0,74	25,98
Bisagno	2540,29	19,06	773,0	23,03	3,77	3,57	0,59	23,68
Bisagno	2589,29	18,92	778,5	22,78	3,66	3,74	0,65	23,49
Bisagno	2638,59	18,77	781,9	22,49	3,52	3,89	0,67	23,26

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2666,39	18,67	785,2	22,46	3,79	3,16	0,52	22,97
Bisagno	2687,00	18,65	786,8	22,37	3,52	3,43	0,58	22,97
Bisagno	2691,34	18,57	790,2	22,21	3,65	4,40	0,81	23,20
Bisagno	2747,87	18,45	795,1	21,84	3,19	4,27	0,78	22,77
Bisagno	2783,95	18,34	797,1	21,63	3,09	4,05	0,75	22,47
Bisagno	2790,55	18,31	797,5	21,55	3,04	4,25	0,81	22,47
Bisagno	2792,55	18,31	797,6	21,53	3,02	4,28	0,81	22,46
Bisagno	2803,95	17,10	800,4	21,49	4,19	4,04	0,74	22,32
Bisagno	2829,77	16,44	802,9	21,35	3,91	3,92	0,71	22,13
Bisagno	2935,77	16,14	811,9	20,89	3,75	3,55	0,60	21,53
Bisagno	3245,77	14,90	808,0	20,80	4,80	2,53	0,38	21,13
Bisagno	3249,77	14,90	807,4	20,82	4,82	2,39	0,35	21,11
Bisagno	3319,77	14,43	811,6	20,70	5,17	2,49	0,37	21,02
Bisagno	3365,88	14,39	808,9	20,70	6,30	2,29	0,33	20,97
Bisagno	3372,78	14,08	807,4	20,65	5,47	2,47	0,36	20,96
Bisagno	3373,78	14,08	807,2	20,65	5,47	2,47	0,36	20,96
Bisagno	3389,78	14,08	804,8	18,78	3,65	4,02	0,76	19,60
Bisagno	3393,78	14,08	805,1	18,73	3,55	4,17	0,80	19,62
Bisagno	3414,52	13,97	808,0	18,75	4,79	2,80	0,44	19,15
Bisagno	3441,78	12,77	807,7	18,65	4,83	3,06	0,50	19,13
Bisagno	3546,77	12,67	800,4	18,28	4,51	3,27	0,55	18,83
Bisagno	3586,77	12,99	800,3	18,03	3,74	3,76	0,68	18,75
Bisagno	3587,77	12,99	800,3	18,02	3,73	3,76	0,69	18,74
Bisagno	3591,77	12,99	800,5	17,30	3,06	4,82	0,99	18,48
Bisagno	3594,77	12,99	800,6	17,26	3,02	4,89	1,01	18,48
Bisagno	3639,77	11,81	801,1	16,71	3,78	4,16	0,80	17,59
Bisagno	3645,77	11,65	800,9	16,69	3,94	3,98	0,75	17,50
Bisagno	3725,77	11,55	801,0	16,26	3,66	3,71	0,67	16,96
Bisagno	3840,77	11,25	800,9	15,72	3,47	3,66	0,65	16,40
Bisagno	3891,77	11,30	644,8	15,33	3,03	4,06	0,74	16,17
Bisagno	3926,77	11,15	644,9	15,07	2,92	4,23	0,79	15,98
Bisagno	3931,77	11,10	644,9	15,03	2,93	4,21	0,78	15,93
Bisagno	4112,77	10,10	644,8	13,80	3,70	3,84	0,67	14,55
Bisagno	4382,77	9,52	733,0	13,28	3,76	3,95	0,65	14,08
Bisagno	4383,77	9,51	733,1	13,43	3,92	2,87	0,47	13,85
Bisagno	4438,37	9,32	798,4	13,24	3,92	3,26	0,54	13,78
Bisagno	4497,07	9,15	800,3	13,08	3,93	3,22	0,53	13,61
Bisagno	4514,57	9,09	800,8	13,06	4,07	3,11	0,51	13,55
Bisagno	4529,77	8,72	801,4	13,09	4,47	2,83	0,45	13,50
Bisagno	4537,57	8,53	801,4	13,10	4,67	2,70	0,42	13,47
Bisagno	4547,07	8,53	801,4	13,08	4,65	2,72	0,42	13,46
Bisagno	4548,57	8,53	801,3	13,10	4,67	2,60	0,39	13,44
Bisagno	4562,57	8,53	801,1	12,92	4,51	2,69	0,41	13,29
Bisagno	4573,09	8,80	865,6	12,71	3,91	3,38	0,56	13,29
Bisagno	4599,22	7,63	865,6	12,55	3,92	3,63	0,63	13,22
Bisagno	4662,42	7,23	866,2	12,16	3,93	4,06	0,71	13,00
Bisagno	4721,23	6,74	867,3	11,85	4,11	3,89	0,68	12,62
Bisagno	4770,63	6,83	868,0	11,58	3,75	3,93	0,69	12,37
Bisagno	4791,09	6,76	868,2	11,49	3,73	3,79	0,66	12,22
Bisagno	4793,09	6,75	868,5	11,49	3,73	3,77	0,65	12,22
Bisagno	4819,36	6,66	869,1	11,41	3,75	3,55	0,60	12,05
Bisagno	4857,63	6,43	869,5	11,26	3,83	3,53	0,60	11,89
Bisagno	4862,30	6,43	869,9	11,18	3,75	3,61	0,62	11,84
Bisagno	4890,91	6,57	870,6	11,02	3,45	3,75	0,66	11,74
Bisagno	4937,95	6,08	871,9	10,78	3,70	3,74	0,67	11,49
Bisagno	5027,00	5,37	873,3	10,31	3,94	3,74	0,67	11,02

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	5077,72	5,22	874,1	10,01	3,79	3,86	0,70	10,77
Bisagno	5118,49	4,98	874,9	9,73	3,75	4,08	0,76	10,58
Bisagno	5155,73	4,98	875,7	9,45	3,47	4,22	0,80	10,36
Bisagno	5200,81	4,84	876,1	9,17	3,63	3,88	0,69	9,94
Bisagno	5207,09	4,41	876,3	9,25	4,44	3,25	0,54	9,79
Bisagno	5225,24	4,41	876,5	9,17	4,36	3,33	0,56	9,73
Bisagno	5229,90	4,41	876,7	9,15	4,34	3,35	0,56	9,72
Bisagno	5243,90	4,42	876,8	9,17	4,35	3,02	0,48	9,63
Bisagno	5245,90	4,42	876,9	9,10	4,28	3,60	0,59	9,76
Bisagno	5247,90	4,42	877,4	9,15	4,33	3,04	0,49	9,62
Bisagno	5297,90	4,40	878,3	8,98	4,18	3,16	0,51	9,49
Bisagno	5350,90	4,71	879,1	8,91	4,20	2,83	0,44	9,32
Bisagno	5395,09	4,48	879,5	8,84	4,36	2,73	0,42	9,22
Bisagno	5411,09	4,40	879,6	8,83	4,43	2,69	0,41	9,20
Bisagno	5537,09	3,88	879,3	7,12	3,24	5,08	0,96	8,43
Bisagno	5542,39	3,80	879,3	7,05	3,25	4,58	0,81	8,12
Bisagno	5547,69	3,70	879,3	7,02	3,32	4,46	0,78	8,03
Bisagno	5565,69	3,37	879,3	6,95	3,58	4,15	0,70	7,83
Bisagno	5599,39	2,76	879,4	6,84	4,08	3,84	0,61	7,59
Bisagno	5633,19	2,15	879,4	6,76	4,61	3,70	0,55	7,46
Bisagno	5637,49	2,07	879,4	6,75	4,68	3,63	0,54	7,42
Bisagno	5665,19	1,97	879,4	6,63	4,66	3,91	0,58	7,41
Bisagno	5719,89	1,79	879,5	6,42	4,63	4,00	0,60	7,24
Bisagno	5771,59	1,61	879,6	6,23	4,62	4,02	0,60	7,05
Bisagno	5826,59	1,42	879,6	6,02	4,60	4,09	0,61	6,87
Bisagno	5872,29	1,27	879,6	5,84	4,57	4,11	0,62	6,70
Bisagno	5912,00	1,13	879,7	5,68	4,55	4,13	0,62	6,55
Bisagno	6132,00	0,33	879,8	4,80	4,47	4,17	0,63	5,69
Bisagno	6232,00	-0,03	879,9	4,38	4,41	4,22	0,65	5,29
Bisagno	6332,00	-0,39	879,9	3,95	4,34	4,30	0,66	4,89
Bisagno	6432,00	-0,75	879,9	3,50	4,25	4,39	0,69	4,48
Bisagno	6532,00	-1,11	879,9	3,01	4,12	4,53	0,72	4,05
Bisagno	6632,00	-1,47	880,0	2,50	3,97	4,71	0,76	3,63
Bisagno	6672,00	-1,61	880,0	2,27	3,88	4,81	0,78	3,45
Bisagno	6675,50	-1,62	880,0	2,25	3,87	4,73	0,78	3,39
Bisagno	6732,00	-1,83	880,0	1,91	3,74	4,90	0,81	3,13
Bisagno	6771,50	-1,97	880,0	1,65	3,62	5,08	0,86	2,96
Bisagno	6772,00	-1,97	880,0	1,65	3,62	4,99	0,84	2,92
Bisagno	6791,50	-2,18	880,0	1,52	3,70	4,89	0,81	2,74
Bisagno	6792,00	-2,18	880,0	1,51	3,69	4,90	0,81	2,73
Bisagno	6871,87	-3,00	880,0	0,50	3,50	4,95	0,85	1,75
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	12,30	156,4	15,49	3,19	3,07	0,55	15,97
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77	12,15	156,4	15,31	3,16	3,10	0,56	15,80
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77	12,10	156,4	15,28	3,18	3,07	0,55	15,76
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77	11,22	156,3	14,35	3,13	3,12	0,56	14,85
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77	10,48	156,3	13,82	3,35	2,86	0,50	14,24
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77	9,52	267,5	13,37	3,85	4,15	0,68	14,25
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	9,51	269,0	13,43	3,92	1,05	0,17	13,49

Tabella 11 – Risultati di sintesi per lo scenario TR200, SIM2B.

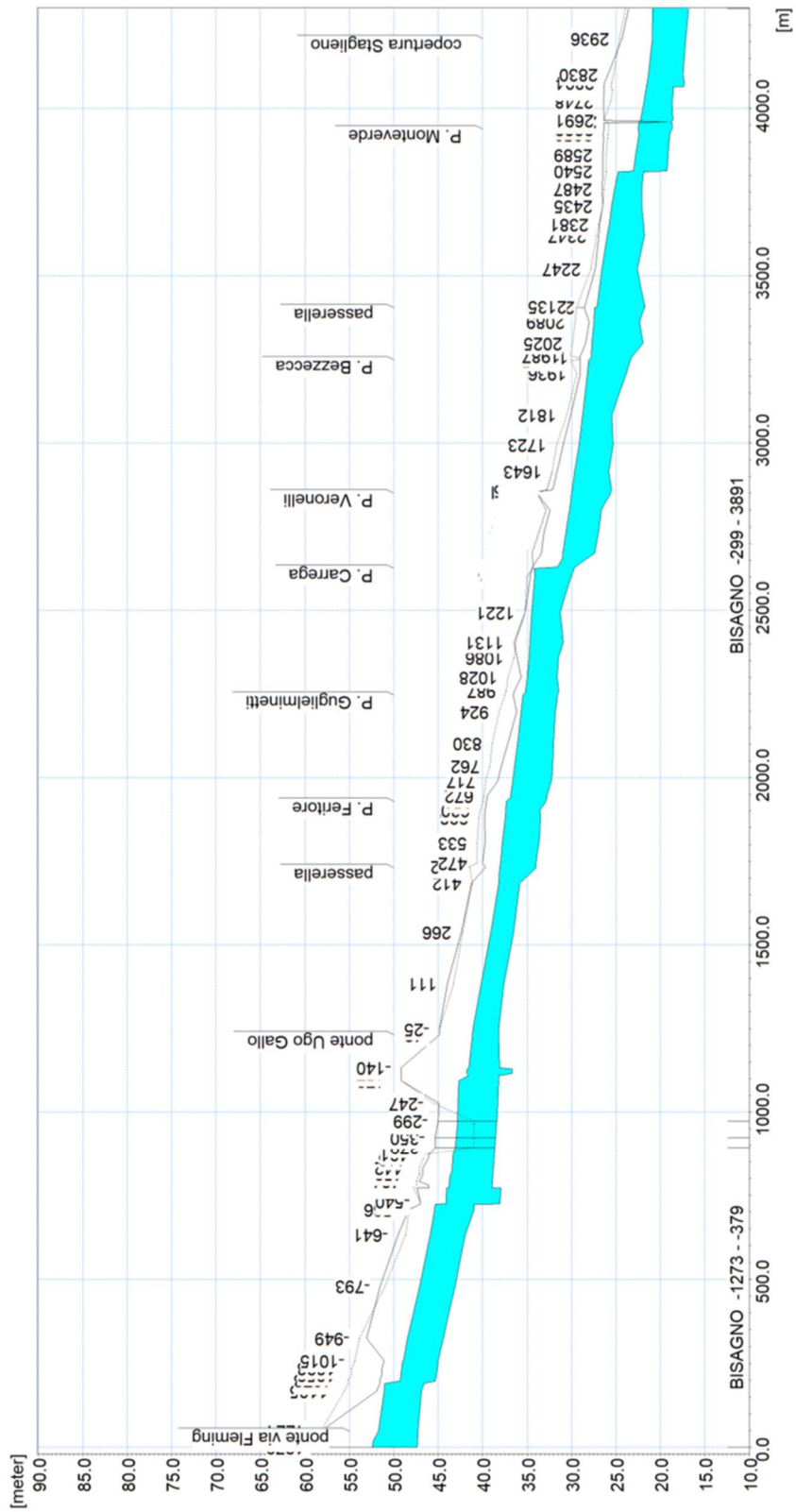


Figura 69 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2B, tratto di monte.

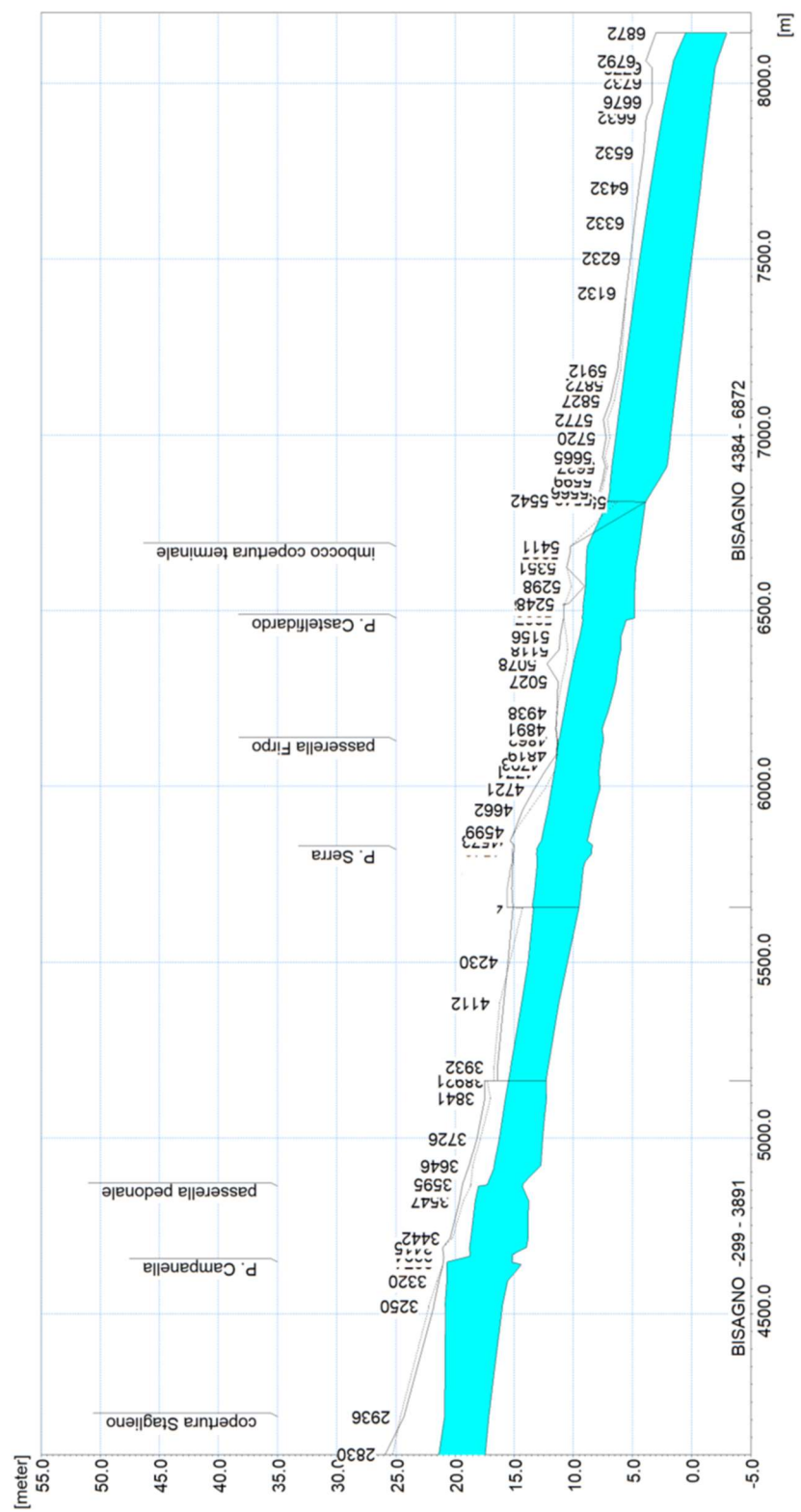


Figura 70 - Profilo di involuppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2B, tratto di valle.

6.2.3 SIM3B: evento di piena TR500

Nella Tabella 12 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 71 e in Figura 72 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, rispettivamente per il tratto di monte e per il tratto di valle.

Per l'evento cinquecentennale le maggiori altezze idriche dovute all'incremento di scabrezza comportano la fuoriuscita di maggiori volumi, da cui una più ampia estensione delle aree allagate.

In Figura 73 e Figura 74 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente 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. Valgono le medesime osservazioni già formulate per lo scenario 3A.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m³/s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-1272,85	47,37	1439,8	53,37	6,00	5,23	0,74	54,76
Bisagno	-1252,85	47,31	1439,8	53,29	5,98	5,25	0,74	54,70
Bisagno	-1223,85	47,26	1439,9	52,58	5,32	6,04	0,92	54,44
Bisagno	-1104,94	46,88	1440,0	51,98	5,10	5,34	0,78	53,43
Bisagno	-1082,82	46,60	1440,0	51,93	5,33	5,06	0,73	53,23
Bisagno	-1075,12	45,30	1440,0	50,10	4,80	5,73	0,86	51,77
Bisagno	-1072,61	45,29	1440,0	50,08	4,79	5,74	0,86	51,76
Bisagno	-1057,64	45,21	1439,9	50,02	4,81	5,47	0,83	51,55
Bisagno	-1037,58	45,11	1439,9	49,93	4,82	5,48	0,83	51,46
Bisagno	-1017,03	45,01	1439,8	49,84	4,83	5,45	0,83	51,36
Bisagno	-1015,03	45,00	1439,8	49,70	4,70	6,02	0,96	51,55
Bisagno	-948,56	44,41	1439,5	49,29	4,88	6,17	1,01	51,23
Bisagno	-792,88	43,10	1438,6	48,11	5,01	5,75	0,91	49,80
Bisagno	-640,66	41,94	1438,2	47,35	5,41	5,11	0,76	48,68
Bisagno	-566,25	40,97	1445,3	47,20	6,23	4,53	0,64	48,25
Bisagno	-550,25	40,94	1447,3	46,94	6,00	4,59	0,64	48,01
Bisagno	-548,55	38,06	1447,5	46,64	8,58	3,35	0,40	47,21
Bisagno	-540,25	38,04	1447,6	46,77	8,73	3,35	0,40	47,34
Bisagno	-502,25	37,94	1436,7	46,79	8,85	3,07	0,36	47,27
Bisagno	-501,03	38,94	1436,7	46,64	7,70	3,43	0,42	47,24
Bisagno	-492,76	38,92	1436,3	46,61	7,69	3,52	0,44	47,24
Bisagno	-482,97	38,89	1436,1	46,60	7,71	3,50	0,43	47,23
Bisagno	-481,27	38,89	1436,1	46,60	7,71	3,50	0,43	47,23
Bisagno	-461,96	38,84	1436,9	46,60	7,76	3,43	0,42	47,20
Bisagno	-458,18	38,83	1437,1	46,53	7,70	3,47	0,43	47,14
Bisagno	-441,54	38,79	1438,4	46,51	7,72	3,46	0,43	47,12
Bisagno	-415,64	38,72	1438,9	46,50	7,78	3,41	0,42	47,09
Bisagno	-401,32	38,68	1437,8	46,50	7,82	3,38	0,41	47,08
Bisagno	-378,52	38,62	1435,0	46,27	7,65	4,07	0,49	47,11
Bisagno	-350,05	38,55	1348,7	46,24	7,69	3,81	0,45	46,98
Bisagno	-307,57	38,44	995,1	46,18	7,74	2,94	0,35	46,62
Bisagno	-298,66	38,41	995,0	46,18	7,77	2,92	0,34	46,61
Bisagno	-247,12	38,28	797,8	46,18	7,90	2,26	0,26	46,44
Bisagno	-179,30	38,17	796,0	46,15	7,98	2,23	0,25	46,40
Bisagno	-162,95	38,17	796,1	42,07	3,90	4,56	0,74	43,13

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	-156,95	36,67	796,1	42,24	5,57	3,19	0,43	42,76
Bisagno	-143,45	36,67	796,1	42,21	5,54	3,21	0,43	42,73
Bisagno	-139,95	38,07	796,1	42,01	3,94	4,51	0,72	43,05
Bisagno	-42,20	38,17	796,0	41,61	3,44	4,18	0,79	42,50
Bisagno	-25,20	38,17	876,7	41,53	3,36	4,72	0,90	42,67
Bisagno	110,66	37,60	876,6	40,61	3,01	4,79	0,92	41,78
Bisagno	265,98	36,50	876,6	39,57	3,07	4,64	0,87	40,67
Bisagno	411,85	35,80	876,6	38,74	2,94	4,28	0,80	39,67
Bisagno	457,12	34,00	876,6	38,68	4,68	3,41	0,58	39,27
Bisagno	461,62	34,00	876,6	38,60	4,60	3,49	0,60	39,22
Bisagno	471,62	34,00	878,4	38,56	4,56	3,54	0,61	39,20
Bisagno	532,59	33,64	882,5	38,37	4,73	3,57	0,64	39,02
Bisagno	607,63	33,49	885,5	38,12	4,63	3,56	0,65	38,76
Bisagno	630,34	33,55	886,9	38,07	4,52	3,39	0,61	38,66
Bisagno	654,64	32,88	887,6	38,06	5,18	2,98	0,50	38,51
Bisagno	655,59	32,88	888,0	38,06	5,18	2,99	0,50	38,52
Bisagno	668,59	32,75	888,5	37,41	4,66	3,49	0,63	38,03
Bisagno	672,49	32,75	890,0	37,39	4,64	3,53	0,64	38,02
Bisagno	717,49	32,27	892,7	37,18	4,91	3,49	0,63	37,80
Bisagno	762,49	32,09	896,1	36,98	4,89	3,49	0,63	37,60
Bisagno	830,32	31,99	900,9	36,70	4,71	3,42	0,61	37,30
Bisagno	924,32	31,80	905,1	36,38	4,58	3,21	0,55	36,91
Bisagno	973,32	31,56	906,7	36,19	4,63	3,35	0,54	36,76
Bisagno	974,16	31,56	907,0	36,18	4,62	3,35	0,54	36,75
Bisagno	983,31	31,46	907,3	35,84	4,38	3,57	0,59	36,49
Bisagno	986,81	31,43	908,7	35,83	4,40	3,56	0,59	36,48
Bisagno	1027,81	31,60	911,7	35,68	4,08	3,50	0,61	36,30
Bisagno	1086,49	31,48	914,8	35,54	4,06	3,10	0,54	36,03
Bisagno	1131,49	30,91	918,8	35,49	4,58	2,76	0,46	35,88
Bisagno	1220,84	31,28	924,6	35,32	4,04	2,66	0,42	35,68
Bisagno	1327,75	30,04	922,7	35,03	4,99	2,95	0,46	35,47
Bisagno	1350,76	29,69	912,1	35,09	5,40	2,54	0,36	35,42
Bisagno	1352,76	29,69	909,9	35,09	5,40	2,55	0,36	35,42
Bisagno	1356,81	29,69	908,0	32,02	2,43	6,17	1,37	33,96
Bisagno	1398,12	27,39	910,5	31,50	4,11	3,99	0,70	32,31
Bisagno	1460,12	26,95	916,8	31,14	4,19	4,00	0,71	31,96
Bisagno	1527,12	26,63	922,4	30,76	4,13	3,97	0,72	31,56
Bisagno	1576,12	25,60	925,2	30,59	4,99	3,50	0,62	31,21
Bisagno	1577,87	25,58	925,4	30,59	5,01	3,48	0,62	31,21
Bisagno	1581,17	25,56	925,6	30,50	4,94	3,56	0,64	31,15
Bisagno	1588,27	25,48	926,0	30,48	5,00	3,50	0,62	31,10
Bisagno	1643,29	25,80	937,1	30,23	4,43	3,51	0,63	30,86
Bisagno	1722,81	25,31	946,1	29,72	4,41	4,15	0,73	30,60
Bisagno	1811,82	25,45	956,8	29,28	3,83	3,75	0,66	30,00
Bisagno	1935,84	23,81	961,7	28,66	4,85	3,81	0,66	29,40
Bisagno	1974,84	23,38	962,9	28,49	5,11	3,75	0,59	29,21
Bisagno	1975,79	23,36	963,2	28,49	5,13	3,74	0,59	29,20
Bisagno	1983,39	23,20	963,5	28,34	5,14	3,74	0,59	29,05
Bisagno	1987,29	23,12	964,8	28,34	5,22	3,67	0,57	29,03
Bisagno	2025,25	21,94	967,8	28,26	6,32	3,42	0,55	28,86
Bisagno	2089,02	22,34	970,8	28,01	5,67	3,58	0,57	28,66
Bisagno	2130,92	21,80	949,3	27,97	6,17	3,21	0,49	28,49
Bisagno	2133,68	21,77	954,3	27,72	5,95	3,43	0,54	28,32
Bisagno	2135,35	21,75	963,1	27,70	5,95	3,43	0,54	28,30
Bisagno	2247,31	22,59	982,4	27,10	4,51	4,21	0,73	28,00
Bisagno	2347,31	21,77	986,4	26,53	4,76	4,10	0,69	27,39

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2381,31	21,67	989,0	26,29	4,42	4,39	0,75	27,27
Bisagno	2435,37	22,10	992,2	26,03	3,93	4,00	0,65	26,85
Bisagno	2486,91	21,89	995,3	25,68	3,59	4,42	0,75	26,68
Bisagno	2540,29	19,06	998,4	23,62	4,36	3,95	0,63	24,42
Bisagno	2589,29	18,92	1001,4	23,35	4,23	4,11	0,66	24,21
Bisagno	2638,59	18,77	1003,2	23,07	4,10	4,25	0,69	23,99
Bisagno	2666,39	18,67	1005,1	23,06	4,39	3,49	0,53	23,68
Bisagno	2687,00	18,65	1005,9	22,95	4,10	3,77	0,59	23,67
Bisagno	2691,34	18,57	1007,7	22,77	4,20	4,73	0,81	23,91
Bisagno	2747,87	18,45	1010,5	22,44	3,79	4,53	0,76	23,49
Bisagno	2783,95	18,34	1011,8	22,27	3,73	4,21	0,71	23,17
Bisagno	2790,55	18,31	1012,1	22,20	3,69	4,39	0,75	23,18
Bisagno	2792,55	18,31	1012,1	22,19	3,68	4,41	0,76	23,18
Bisagno	2803,95	17,10	1014,7	22,16	4,86	4,20	0,70	23,06
Bisagno	2829,77	16,44	1017,1	22,05	4,61	4,06	0,66	22,89
Bisagno	2935,77	16,14	1017,2	21,69	4,55	3,62	0,56	22,36
Bisagno	3245,77	14,90	1016,4	21,51	5,51	2,76	0,38	21,90
Bisagno	3249,77	14,90	1016,4	21,53	5,53	2,62	0,36	21,88
Bisagno	3319,77	14,43	1016,2	21,41	5,88	2,71	0,37	21,78
Bisagno	3365,88	14,39	1008,9	21,41	7,02	2,49	0,33	21,73
Bisagno	3372,78	14,08	1006,7	21,36	6,18	2,67	0,37	21,72
Bisagno	3373,78	14,08	1006,4	21,36	6,18	2,67	0,37	21,72
Bisagno	3389,78	14,08	1004,5	19,26	4,13	4,30	0,75	20,20
Bisagno	3393,78	14,08	1004,6	19,21	4,03	4,43	0,79	20,21
Bisagno	3414,52	13,97	1004,5	19,27	5,30	3,10	0,46	19,76
Bisagno	3441,78	12,77	1005,0	19,15	5,33	3,37	0,52	19,73
Bisagno	3546,77	12,67	1007,1	18,77	5,00	3,61	0,57	19,43
Bisagno	3586,77	12,99	1007,1	18,52	4,23	4,08	0,69	19,37
Bisagno	3587,77	12,99	1007,1	18,51	4,22	4,08	0,69	19,36
Bisagno	3591,77	12,99	1007,1	17,74	3,50	5,13	0,97	19,08
Bisagno	3594,77	12,99	1007,1	17,70	3,46	5,19	0,99	19,07
Bisagno	3639,77	11,81	1007,2	17,19	4,27	4,46	0,79	18,20
Bisagno	3645,77	11,65	1007,3	17,18	4,43	4,29	0,74	18,12
Bisagno	3725,77	11,55	1009,4	16,77	4,17	4,02	0,67	17,59
Bisagno	3840,77	11,25	1012,7	16,25	4,00	3,97	0,66	17,05
Bisagno	3891,77	11,30	818,3	15,85	3,55	4,41	0,75	16,84
Bisagno	3926,77	11,15	818,3	15,59	3,44	4,55	0,78	16,65
Bisagno	3931,77	11,10	818,3	15,55	3,45	4,53	0,78	16,60
Bisagno	4112,77	10,10	818,1	14,38	4,28	4,17	0,67	15,27
Bisagno	4382,77	9,52	1070,0	13,93	4,41	4,91	0,75	15,16
Bisagno	4383,77	9,51	1068,7	14,18	4,67	3,52	0,52	14,81
Bisagno	4438,37	9,32	1027,1	13,92	4,60	3,55	0,54	14,56
Bisagno	4497,07	9,15	1021,5	13,76	4,61	3,47	0,53	14,37
Bisagno	4514,57	9,09	1018,9	13,74	4,75	3,36	0,50	14,32
Bisagno	4529,77	8,72	1019,2	13,77	5,15	3,08	0,45	14,25
Bisagno	4537,57	8,53	1016,9	13,78	5,35	2,95	0,43	14,22
Bisagno	4547,07	8,53	1017,8	13,76	5,33	2,97	0,43	14,21
Bisagno	4548,57	8,53	1017,3	13,78	5,35	2,86	0,40	14,20
Bisagno	4562,57	8,53	1015,6	13,55	5,14	2,98	0,43	14,00
Bisagno	4573,09	8,80	1116,9	13,28	4,48	3,78	0,58	14,01
Bisagno	4599,22	7,63	1116,1	13,11	4,48	4,02	0,65	13,93
Bisagno	4662,42	7,23	1116,5	12,70	4,47	4,50	0,73	13,73
Bisagno	4721,23	6,74	1118,1	12,39	4,65	4,33	0,70	13,35
Bisagno	4770,63	6,83	1115,8	12,11	4,28	4,35	0,71	13,07
Bisagno	4791,09	6,76	1114,7	12,03	4,27	4,19	0,68	12,93
Bisagno	4793,09	6,75	1115,1	12,02	4,27	4,18	0,67	12,91

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	4819,36	6,66	1110,3	11,96	4,30	3,92	0,62	12,74
Bisagno	4857,63	6,43	1096,8	11,85	4,42	3,81	0,60	12,59
Bisagno	4862,30	6,43	1096,6	11,74	4,31	3,92	0,62	12,52
Bisagno	4890,91	6,57	1097,5	11,59	4,02	4,02	0,65	12,41
Bisagno	4937,95	6,08	1099,7	11,38	4,30	3,97	0,65	12,18
Bisagno	5027,00	5,37	1102,0	10,99	4,62	3,89	0,63	11,76
Bisagno	5077,72	5,22	1103,4	10,75	4,53	3,93	0,64	11,54
Bisagno	5118,49	4,98	1105,0	10,54	4,56	4,04	0,67	11,37
Bisagno	5155,73	4,98	1106,2	10,35	4,37	4,05	0,67	11,18
Bisagno	5200,81	4,84	1108,5	10,23	4,69	3,68	0,57	10,92
Bisagno	5207,09	4,41	1110,5	10,32	5,51	3,21	0,47	10,84
Bisagno	5225,24	4,41	1110,7	9,96	5,15	3,46	0,52	10,57
Bisagno	5229,90	4,41	1110,0	9,94	5,13	3,48	0,53	10,56
Bisagno	5243,90	4,42	1110,1	9,97	5,15	3,19	0,46	10,49
Bisagno	5245,90	4,42	1110,1	9,90	5,08	3,97	0,61	10,70
Bisagno	5247,90	4,42	1110,8	9,94	5,12	3,21	0,47	10,46
Bisagno	5297,90	4,40	1110,1	9,80	5,00	3,29	0,49	10,35
Bisagno	5350,90	4,71	1108,5	9,75	5,04	2,98	0,42	10,20
Bisagno	5395,09	4,48	1107,5	9,70	5,22	2,87	0,40	10,12
Bisagno	5411,09	4,40	1107,7	9,69	5,29	2,83	0,39	10,10
Bisagno	5537,09	3,88	1107,5	8,17	4,29	5,13	0,87	9,51
Bisagno	5542,39	3,80	1107,5	8,11	4,31	4,34	0,67	9,07
Bisagno	5547,69	3,70	1107,6	8,09	4,39	4,91	0,81	9,32
Bisagno	5565,69	3,37	1107,6	7,97	4,60	4,22	0,64	8,88
Bisagno	5599,39	2,76	1107,6	7,85	5,09	4,11	0,60	8,71
Bisagno	5633,19	2,15	1107,6	7,73	5,58	4,11	0,58	8,59
Bisagno	5637,49	2,07	1107,6	7,71	5,64	4,11	0,58	8,57
Bisagno	5665,19	1,97	1107,6	7,60	5,63	4,16	0,57	8,48
Bisagno	5719,89	1,79	1107,6	7,39	5,60	4,27	0,59	8,32
Bisagno	5771,59	1,61	1107,6	7,19	5,58	4,20	0,57	8,09
Bisagno	5826,59	1,42	1107,7	6,96	5,54	4,35	0,60	7,92
Bisagno	5872,29	1,27	1107,7	6,75	5,48	4,49	0,63	7,78
Bisagno	5912,00	1,13	1107,7	6,55	5,42	4,59	0,65	7,62
Bisagno	6132,00	0,33	1107,7	5,51	5,18	4,52	0,64	6,55
Bisagno	6232,00	-0,03	1107,7	5,05	5,08	4,61	0,66	6,13
Bisagno	6332,00	-0,39	1107,7	4,57	4,96	4,73	0,68	5,71
Bisagno	6432,00	-0,75	1107,7	4,07	4,82	4,87	0,71	5,28
Bisagno	6532,00	-1,11	1107,7	3,54	4,65	5,04	0,75	4,84
Bisagno	6632,00	-1,47	1107,7	2,97	4,44	5,29	0,81	4,40
Bisagno	6672,00	-1,61	1107,7	2,70	4,31	5,44	0,84	4,21
Bisagno	6675,50	-1,62	1107,7	2,68	4,30	5,35	0,83	4,14
Bisagno	6732,00	-1,83	1107,7	2,29	4,12	5,59	0,89	3,88
Bisagno	6771,50	-1,97	1107,7	1,98	3,95	5,86	0,95	3,73
Bisagno	6772,00	-1,97	1107,7	1,97	3,94	5,77	0,93	3,67
Bisagno	6791,50	-2,18	1107,7	1,81	3,99	5,71	0,91	3,47
Bisagno	6792,00	-2,18	1107,7	1,80	3,98	5,72	0,92	3,47
Bisagno	6871,87	-3,00	1107,7	0,50	3,50	6,23	1,06	2,48
Bisagno: Parcheggio pensile	3891,77	12,30	195,1	16,02	3,72	3,28	0,54	16,57
Bisagno: Parcheggio pensile	3926,77	12,15	195,1	15,84	3,69	3,31	0,55	16,40
Bisagno: Parcheggio pensile	3931,77	12,10	195,1	15,82	3,72	3,28	0,54	16,37
Bisagno: Parcheggio pensile	4111,77	11,22	195,1	14,93	3,71	3,29	0,55	15,48
Bisagno: Parcheggio pensile	4229,77	10,48	195,5	14,44	3,96	3,03	0,49	14,91
Bisagno: Parcheggio pensile	4382,77	9,52	402,3	14,22	4,70	5,13	0,76	15,56
Bisagno: Parcheggio pensile	4383,77	9,51	410,3	14,18	4,67	1,35	0,20	14,27

Tabella 12 – Risultati di sintesi per lo scenario TR500, SIM3B.

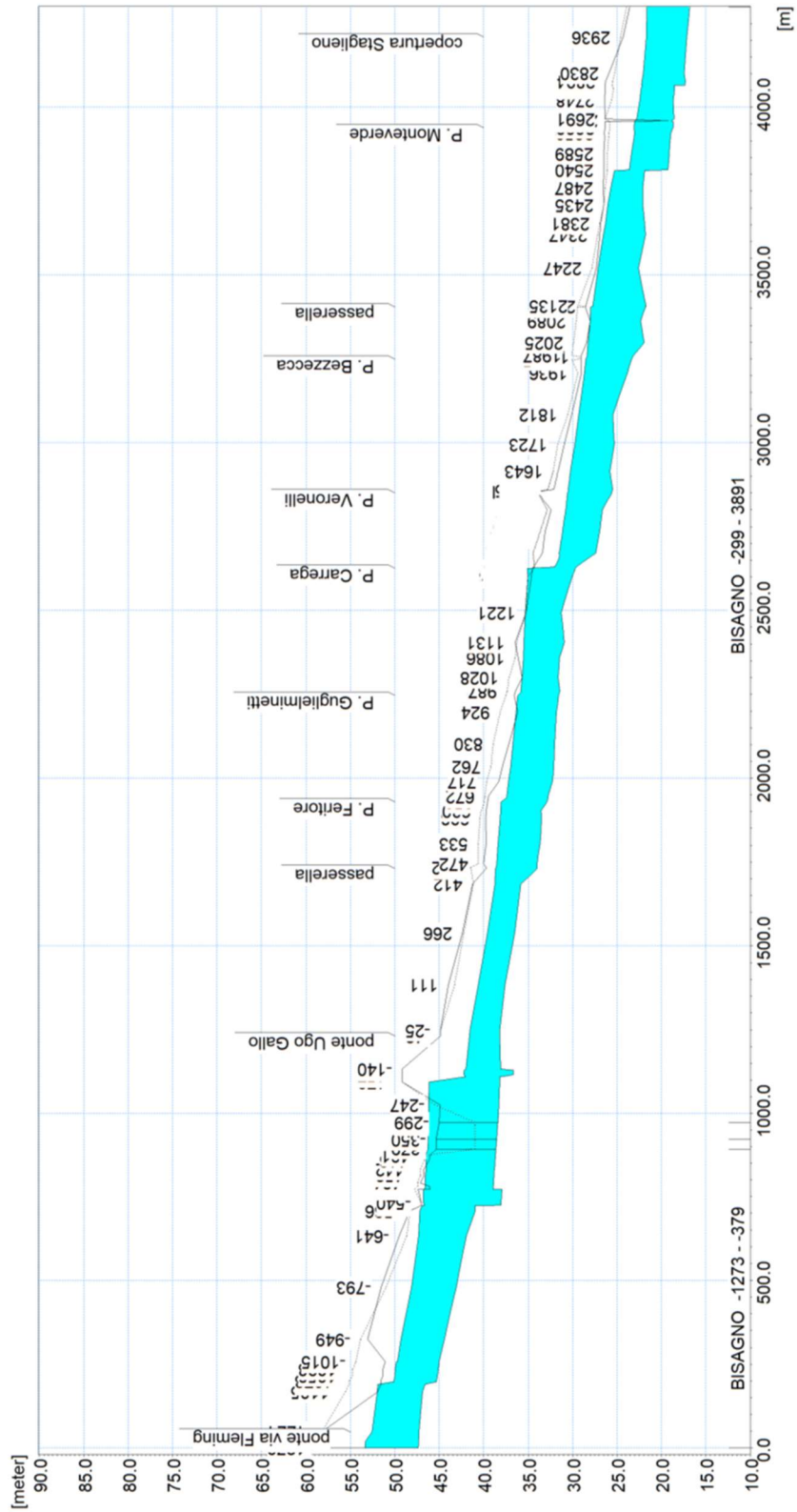


Figura 71 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3B, tratto di monte.

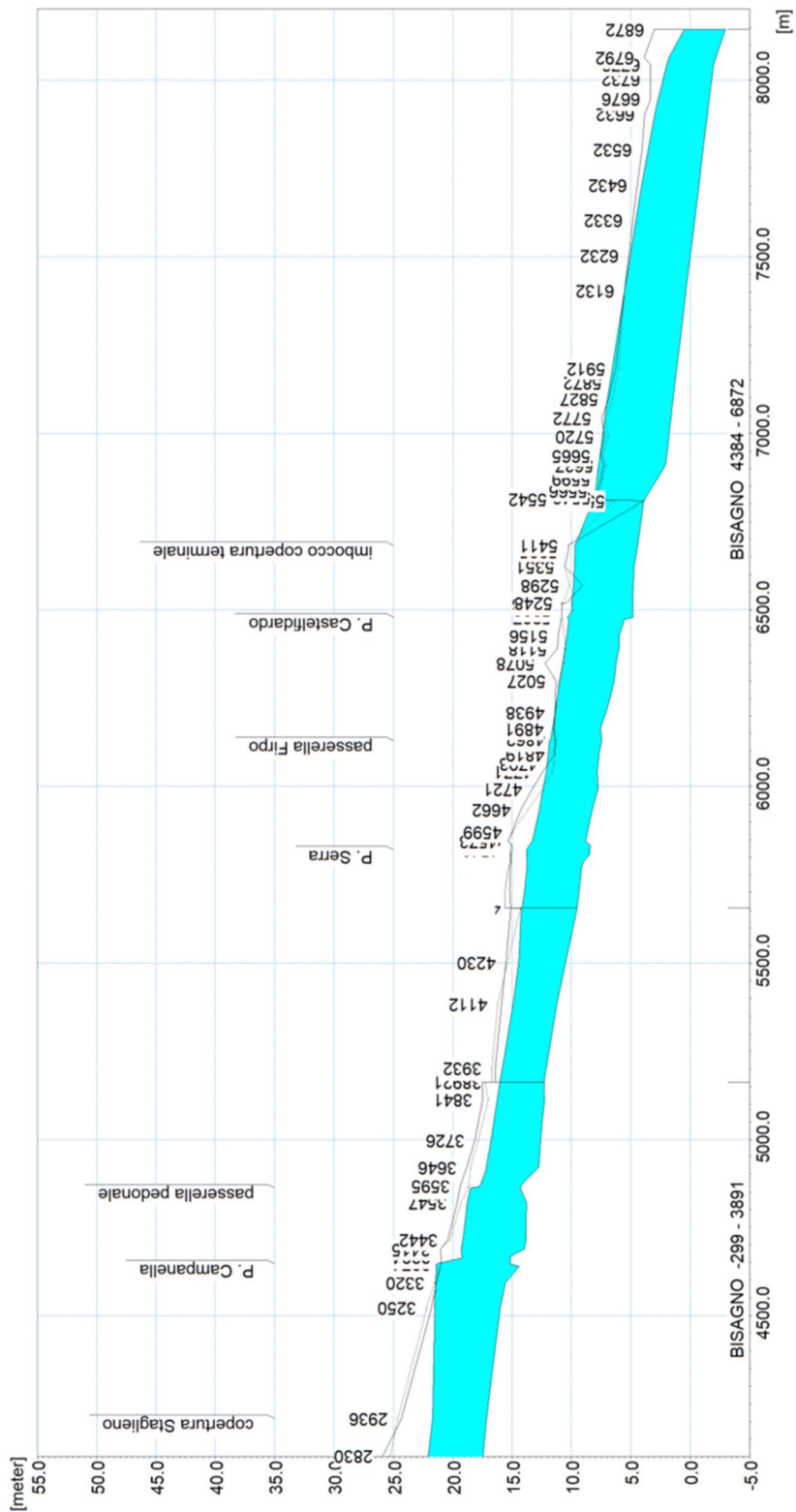


Figura 72 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3B, tratto di valle.

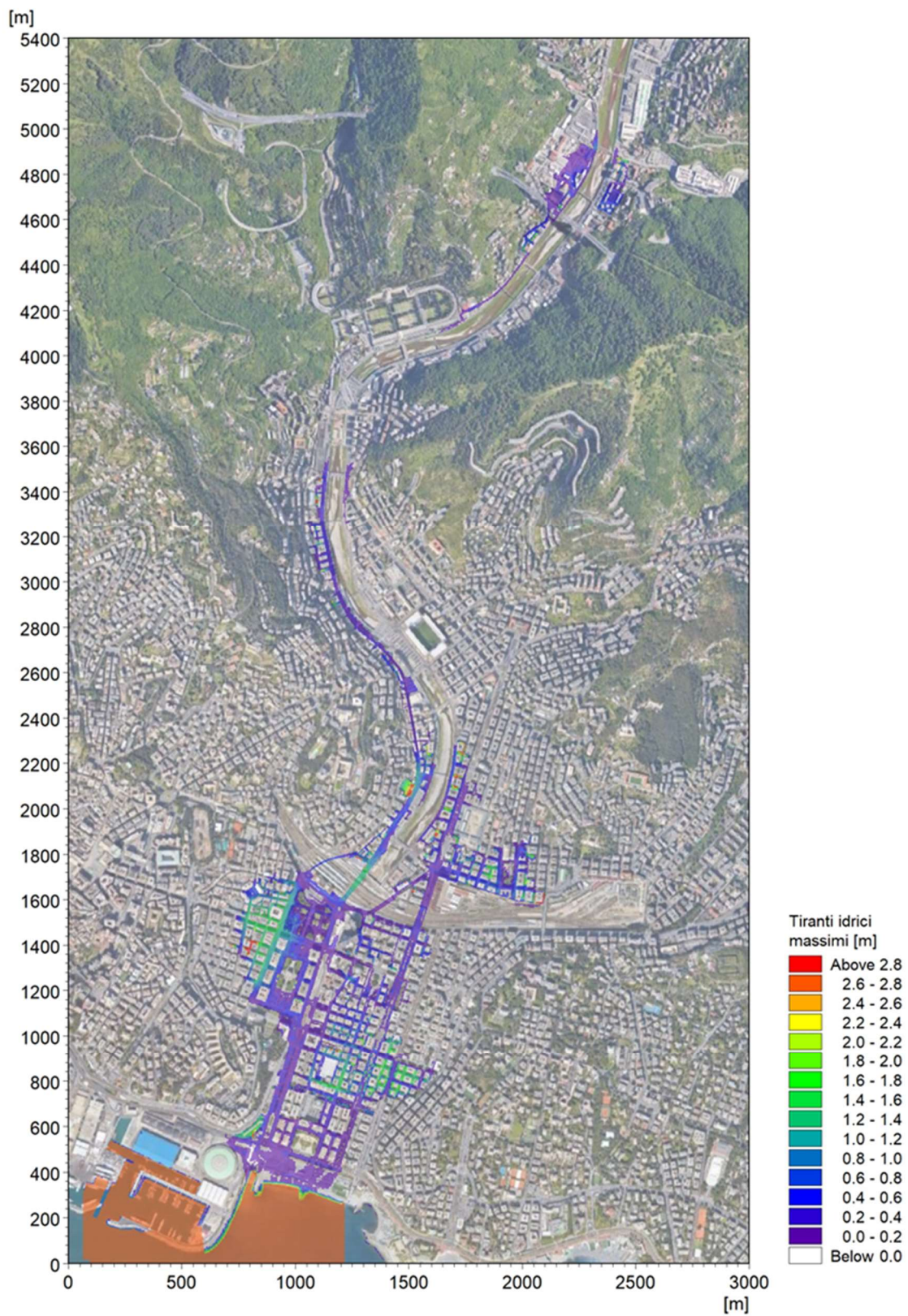


Figura 73 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3B.

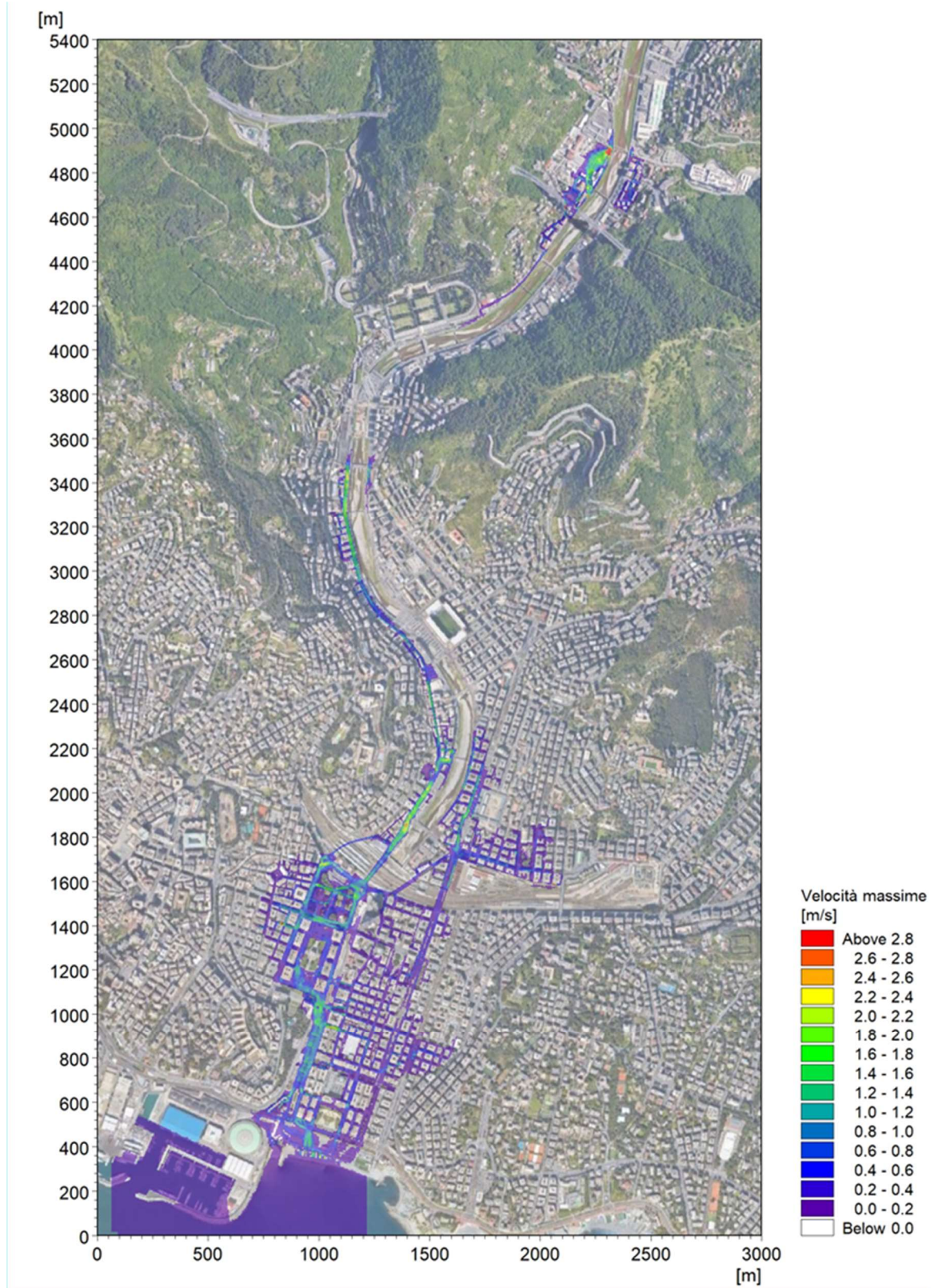


Figura 74 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3B.

6.3 Ostruzione parziale degli attraversamenti (SIMC e SIMD)

Gli attraversamenti con pile in alveo e campate di contenuta larghezza possono essere soggetti nel corso degli eventi di piena a una riduzione della capacità di deflusso, e conseguente rialzo del pelo libero di monte, dovuta alla parziale ostruzione delle luci ad opera di detriti lapidei e vegetali o comunque flottanti trasportati dalla corrente.

Come già indicato, con l'entrata in esercizio dello scolmatore si riscontra maggiore garanzia della capienza in alveo delle portate di massima piena per gli eventi TR50 e TR200; inoltre la presenza della briglia selettiva a monte permetterà di intercettare il materiale flottante di grosse dimensioni, rendendo più improbabile l'ostruzione di rilevanti porzioni delle campate dei ponti, se non per quelli di struttura maggiormente tozza e interferente con il deflusso di piena.

In quest'ottica quindi si ritiene verosimile un significativo effetto di ostruzione unicamente per i ponti con struttura maggiormente tozza, con campate di piccole dimensioni (con ulteriore aggravio da eventuale geometria ad arco), e con funzionamento in pressione per l'evento di piena duecentennale.

Con queste caratteristiche sono stati identificati in particolare due attraversamenti: il ponte Campanella e il ponte Carrega, i quali entrambi presentano condizioni di franchi idraulici modesti rispetto alle sponde a monte, tali da verificare esondazioni nello scenario TR500.

Tali ponti erano già stati oggetto di analogha simulazione di scenario anche nello studio DHI2014 da cui derivano le attuali perimetrazioni di pericolosità idraulica; per quanto sopra esposto si è ritenuto di poter ragionevolmente considerare un minor grado di ostruibilità rispetto al passato, passando da circa il 40% a circa il 20%, come di seguito esposto.

SIMC: si è considerata l'ostruzione di una campata del ponte Campanella (su 5), risultando in una riduzione complessiva della sezione utile pari al 20% circa.

Sono state eseguite tre simulazioni, associate ai diversi tempi di ritorno:

- SIMC1: parziale ostruzione ponte Campanella per evento con tempo di ritorno pari a 50 anni (TR50);
- SIMC2: parziale ostruzione ponte Campanella per evento con tempo di ritorno pari a 200 anni (TR200);
- SIMC3: parziale ostruzione ponte Campanella per evento con tempo di ritorno pari a 500 anni (TR500).

SIM_D: Si è considerata l'ostruzione delle due campate più prossime alla sponda sinistra (su 7) del Ponte Carrega, la prima delle quali ha dimensioni molto ridotte, con un effetto di riduzione di circa il 20% dell'area totale di deflusso dell'attraversamento.

Sono state eseguite tre simulazioni, associate ai diversi tempi di ritorno:

- SIM_D1: parziale ostruzione ponte Carrega per evento con tempo di ritorno pari a 50 anni (TR50);
- SIM_D2: parziale ostruzione ponte Carrega per evento con tempo di ritorno pari a 200 anni (TR200);
- SIM_D3: parziale ostruzione ponte Carrega per evento con tempo di ritorno pari a 500 anni (TR500).

Le condizioni al contorno sono le medesime descritte nel capitolo 4.6.

6.3.1 SIM1C: evento di piena TR50

Nella Tabella 13 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova il ponte Campanella (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi.

In Figura 75 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di valle dove è localizzato il ponte Campanella.

Per l'evento cinquantennale non si verificano esondazioni a seguito della parziale ostruzione del ponte.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2540,29	19,06	573,2	22,13	2,87	3,48	0,66	22,75
Bisagno	2589,29	18,92	574,6	21,92	2,80	3,62	0,69	22,59
Bisagno	2638,59	18,77	575,4	21,69	2,72	3,73	0,72	22,40
Bisagno	2666,39	18,67	576,3	21,69	3,02	2,92	0,54	22,12
Bisagno	2687,00	18,65	576,7	21,61	2,76	3,21	0,62	22,13
Bisagno	2691,34	18,57	577,5	21,50	2,93	4,22	0,89	22,41
Bisagno	2747,87	18,45	578,8	21,19	2,54	3,95	0,81	21,98
Bisagno	2783,95	18,34	579,7	21,02	2,48	3,71	0,77	21,72
Bisagno	2790,55	18,31	580,1	20,96	2,45	3,90	0,82	21,73
Bisagno	2792,55	18,31	580,1	20,95	2,44	3,92	0,83	21,73
Bisagno	2803,95	17,10	582,0	20,94	3,64	3,58	0,70	21,59
Bisagno	2829,77	16,44	583,0	20,87	3,43	3,36	0,65	21,44
Bisagno	2935,77	16,14	582,9	20,68	3,54	2,71	0,48	21,05
Bisagno	3245,77	14,90	582,8	20,67	4,67	1,88	0,29	20,85
Bisagno	3249,77	14,90	582,8	20,68	4,68	1,78	0,26	20,84
Bisagno	3319,77	14,43	582,8	20,64	5,10	1,82	0,27	20,81
Bisagno	3365,88	14,39	582,8	20,64	6,25	1,66	0,24	20,78
Bisagno	3372,78	14,08	582,8	20,62	5,44	1,79	0,27	20,78
Bisagno	3373,78	14,08	582,8	20,62	5,44	1,79	0,27	20,78
Bisagno	3389,78	14,08	582,8	18,08	2,95	3,86	0,84	18,84
Bisagno	3393,78	14,08	582,8	18,04	2,86	4,02	0,89	18,86
Bisagno	3414,52	13,97	582,8	18,00	4,03	2,46	0,42	18,31
Bisagno	3441,78	12,77	582,8	17,90	4,08	2,74	0,50	18,28

Tabella 13 – Risultati di sintesi per lo scenario TR50 nel tratto adiacente al ponte Campanella, SIM1C.

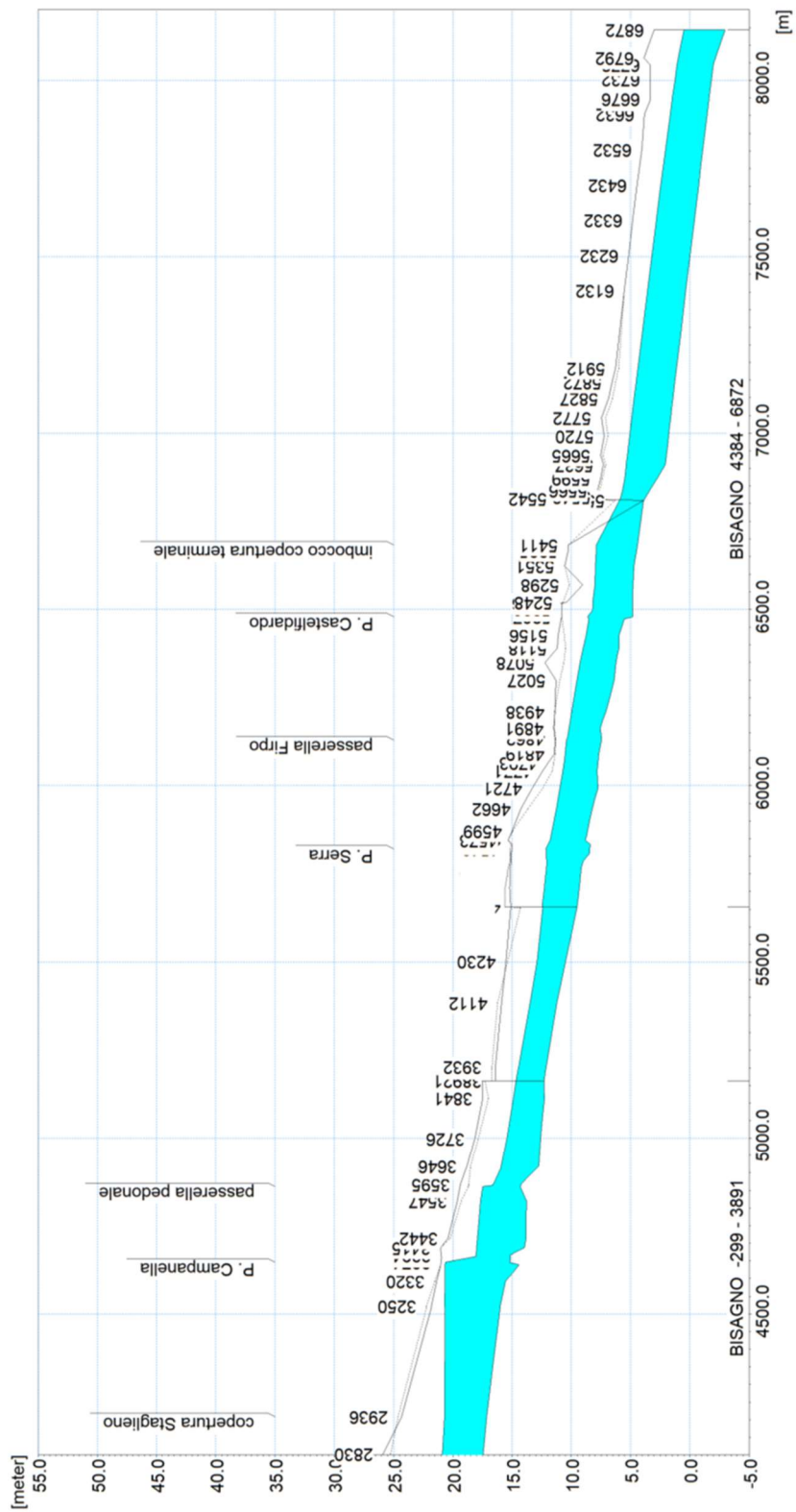


Figura 75 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1C, tratto di valle.

6.3.2 SIM2C: evento di piena TR200

Nella Tabella 14 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova il ponte Campanella (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi.

In Figura 76 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'involuppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di valle dove è localizzato il ponte Campanella.

Per l'evento duecentennale la parziale ostruzione del ponte genera un'esondazione a monte, con maggiore fuoriuscita di volume in sponda destra. Mentre in sinistra gli allagamenti sono limitati all'area di piazzale Parenzo, in destra si rileva un flusso più consistente che si incanala lungo via Bobbio e nelle aree a tergo fino a via Montaldo, proseguendo verso Sud secondo le pendenze morfologiche. Il flusso di esondazione prosegue lungo via Bobbio e poi via Canevari, con graduale riduzione della portata al colmo e dei volumi per progressiva dispersione e invaso, giungendo però fino al sottopasso di Brignole, che viene allagato. Da qui la portata residua si propaga a valle allagando il piazzale della stazione, i giardini di Brignole e gli isolati posti subito a ponente, espandendosi fino a via Galata.

In Figura 77 e Figura 78 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente 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.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m³/s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2540,29	19,06	774,9	22,79	3,53	3,83	0,65	23,54
Bisagno	2589,29	18,92	780,7	22,58	3,46	3,98	0,70	23,39
Bisagno	2638,59	18,77	783,3	22,36	3,39	4,06	0,72	23,20
Bisagno	2666,39	18,67	786,4	22,36	3,69	3,25	0,54	22,90
Bisagno	2687,00	18,65	788,5	22,27	3,42	3,54	0,61	22,91
Bisagno	2691,34	18,57	792,0	22,13	3,56	4,54	0,85	23,18
Bisagno	2747,87	18,45	797,6	21,89	3,24	4,22	0,76	22,80
Bisagno	2783,95	18,34	799,3	21,78	3,24	3,86	0,70	22,54
Bisagno	2790,55	18,31	799,5	21,73	3,22	4,01	0,74	22,55
Bisagno	2792,55	18,31	799,6	21,72	3,21	4,03	0,74	22,55
Bisagno	2803,95	17,10	801,9	21,72	4,42	3,76	0,66	22,44
Bisagno	2829,77	16,44	803,0	21,68	4,24	3,55	0,61	22,32
Bisagno	2935,77	16,14	859,6	21,53	4,39	3,17	0,50	22,04
Bisagno	3245,77	14,90	801,3	21,52	5,52	2,17	0,30	21,76
Bisagno	3249,77	14,90	801,8	21,53	5,53	2,07	0,28	21,75
Bisagno	3319,77	14,43	800,9	21,48	5,95	2,11	0,29	21,71
Bisagno	3365,88	14,39	792,5	21,50	7,10	1,93	0,26	21,69
Bisagno	3372,78	14,08	789,5	21,47	6,29	2,05	0,28	21,68
Bisagno	3373,78	14,08	789,0	21,47	6,29	2,05	0,28	21,68
Bisagno	3389,78	14,08	786,1	18,60	3,47	4,19	0,82	19,50
Bisagno	3393,78	14,08	786,4	18,57	3,39	4,34	0,86	19,53
Bisagno	3414,52	13,97	786,7	18,58	4,61	2,85	0,45	18,99
Bisagno	3441,78	12,77	787,6	18,47	4,65	3,13	0,52	18,97

Tabella 14 – Risultati di sintesi per lo scenario TR200 nel tratto adiacente al ponte Campanella, SIM2C.

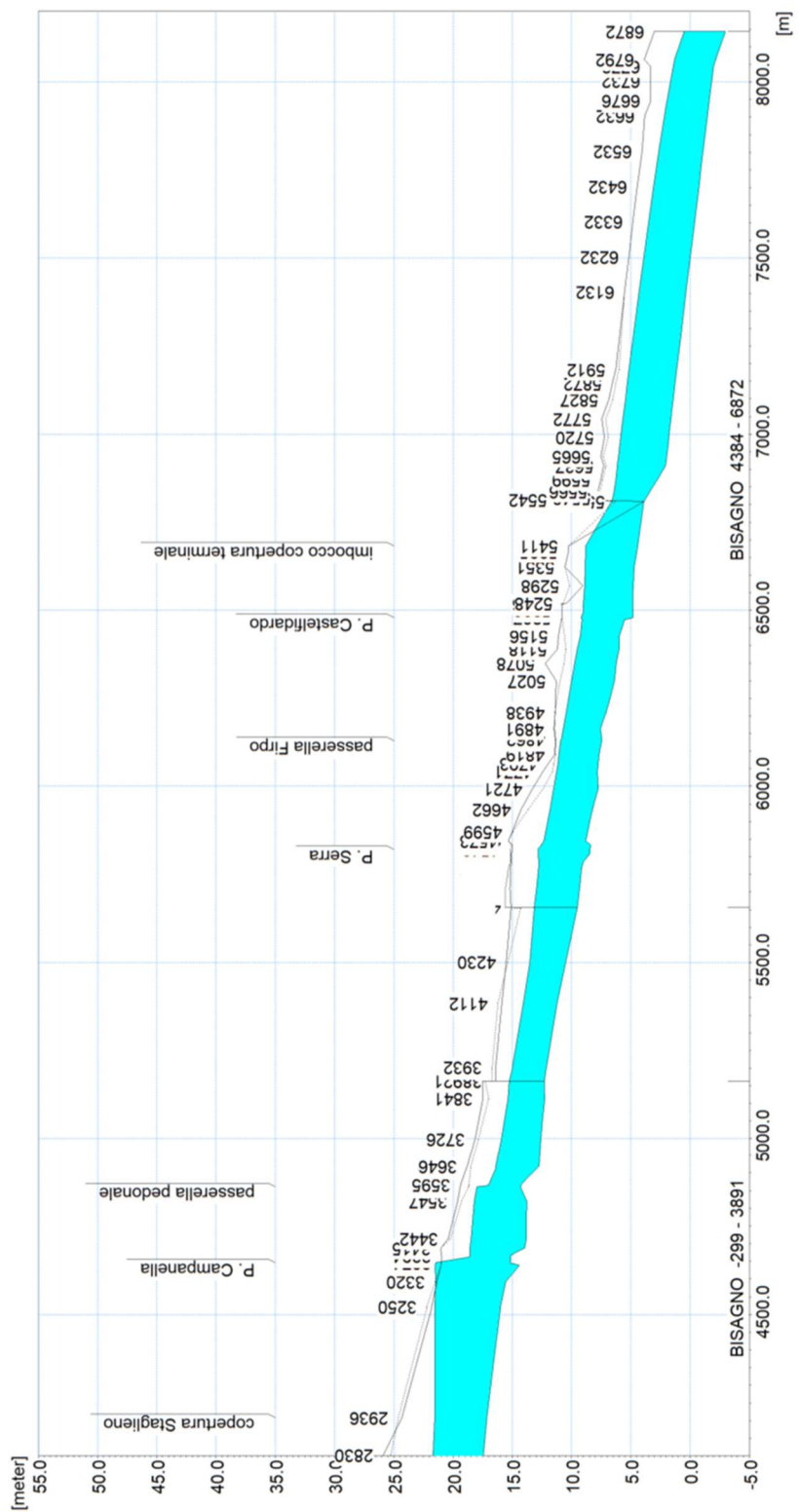


Figura 76 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2C, tratto di valle.

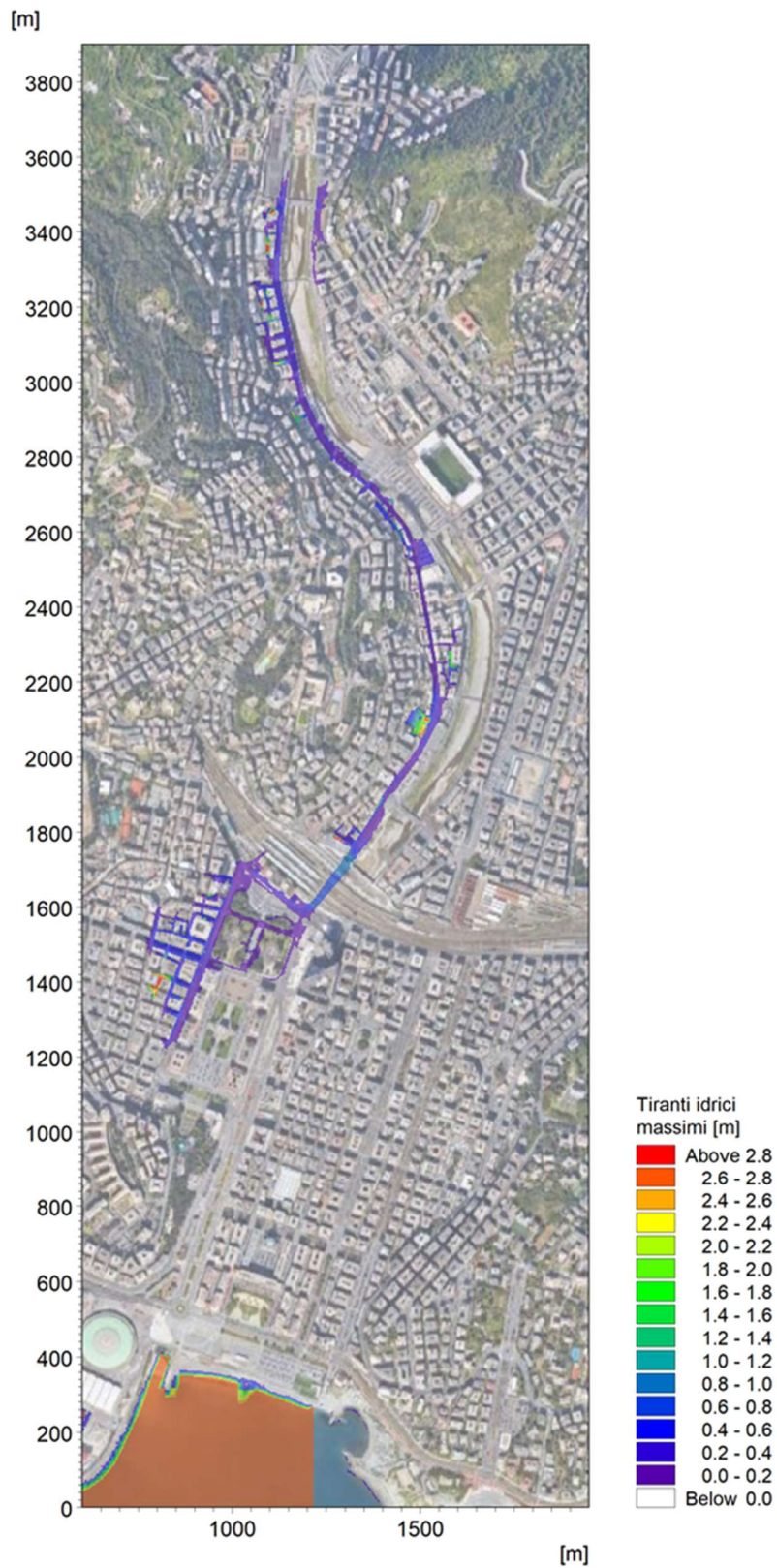


Figura 77 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2C.

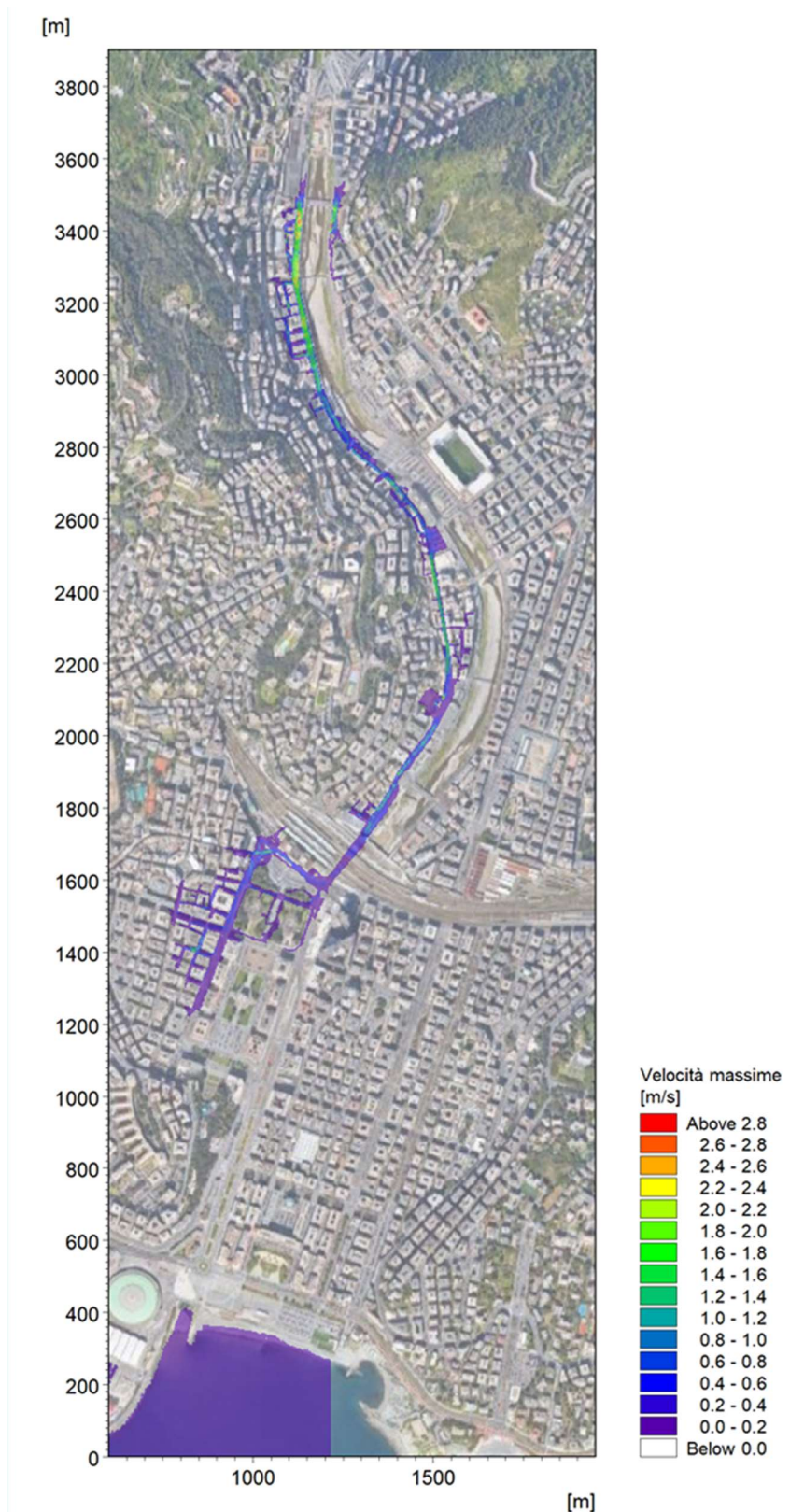


Figura 78 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2C.

6.3.3 SIM3C: evento di piena TR500

Nella Tabella 15 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova il ponte Campanella (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 79 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di valle dove è localizzato il ponte Campanella.

Per l'evento cinquecentennale la parziale ostruzione del ponte provoca un aggravio delle esondazioni riscontrate nello scenario SIM3A.

In Figura 80 e Figura 81 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	2540,29	19,06	998,5	23,36	4,10	4,22	0,69	24,27
Bisagno	2589,29	18,92	1001,5	23,18	4,06	4,30	0,71	24,12
Bisagno	2638,59	18,77	1014,4	22,99	4,02	4,39	0,72	23,97
Bisagno	2666,39	18,67	1025,7	23,02	4,35	3,60	0,55	23,68
Bisagno	2687,00	18,65	1032,3	22,90	4,05	3,91	0,62	23,68
Bisagno	2691,34	18,57	1038,8	22,75	4,18	4,91	0,84	23,98
Bisagno	2747,87	18,45	1045,8	22,50	3,85	4,62	0,76	23,59
Bisagno	2783,95	18,34	1037,0	22,40	3,86	4,17	0,70	23,29
Bisagno	2790,55	18,31	1034,2	22,34	3,83	4,31	0,73	23,29
Bisagno	2792,55	18,31	1033,3	22,33	3,82	4,32	0,73	23,28
Bisagno	2803,95	17,10	1031,2	22,32	5,02	4,09	0,67	23,17
Bisagno	2829,77	16,44	1017,2	22,27	4,83	3,84	0,61	23,02
Bisagno	2935,77	16,14	1016,9	22,06	4,92	3,33	0,49	22,63
Bisagno	3245,77	14,90	1016,5	22,02	6,02	2,51	0,33	22,34
Bisagno	3249,77	14,90	1016,5	22,04	6,04	2,40	0,31	22,33
Bisagno	3319,77	14,43	1015,7	21,98	6,45	2,45	0,32	22,28
Bisagno	3365,88	14,39	985,9	22,02	7,63	2,20	0,28	22,27
Bisagno	3372,78	14,08	975,3	22,00	6,82	2,31	0,30	22,27
Bisagno	3373,78	14,08	973,6	22,00	6,82	2,31	0,30	22,27
Bisagno	3389,78	14,08	965,2	19,10	3,97	4,35	0,78	20,06
Bisagno	3393,78	14,08	968,0	19,06	3,88	4,49	0,82	20,09
Bisagno	3414,52	13,97	978,0	19,11	5,15	3,13	0,47	19,61
Bisagno	3441,78	12,77	986,1	18,99	5,17	3,43	0,54	19,59

Tabella 15 – Risultati di sintesi per lo scenario TR500 nel tratto adiacente al ponte Campanella, SIM3C.

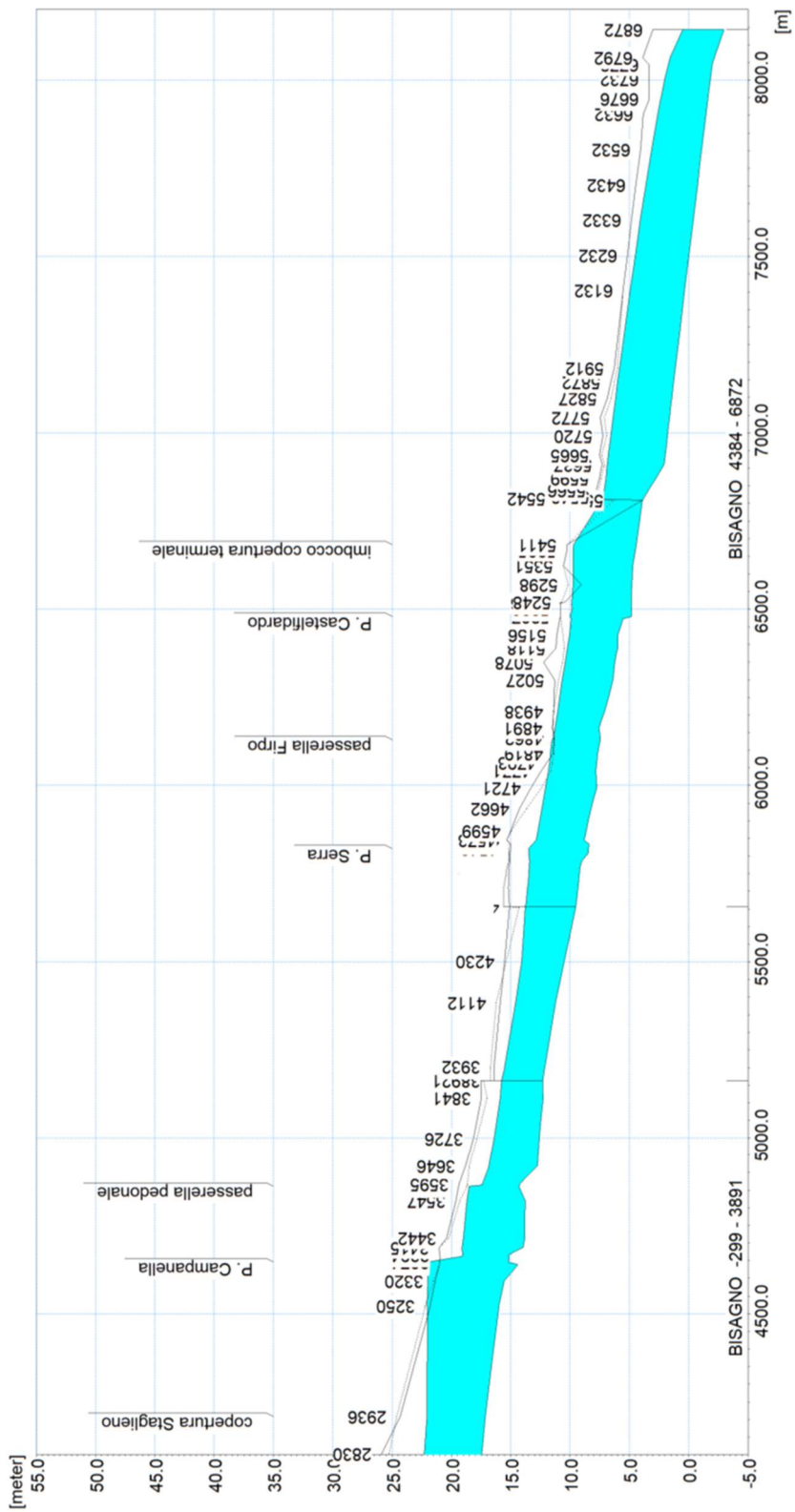


Figura 79 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3C, tratto di valle.

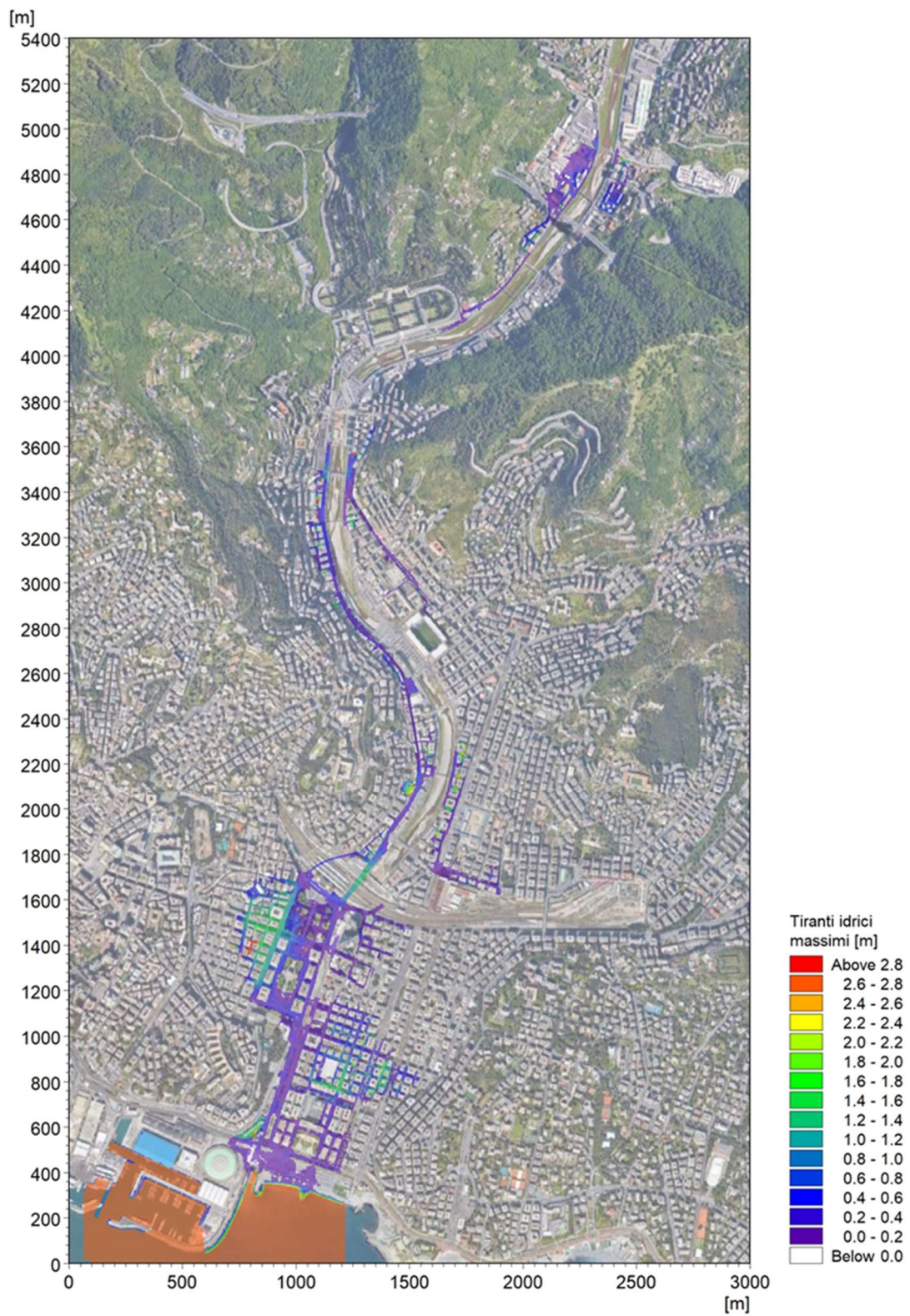


Figura 80 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3C.

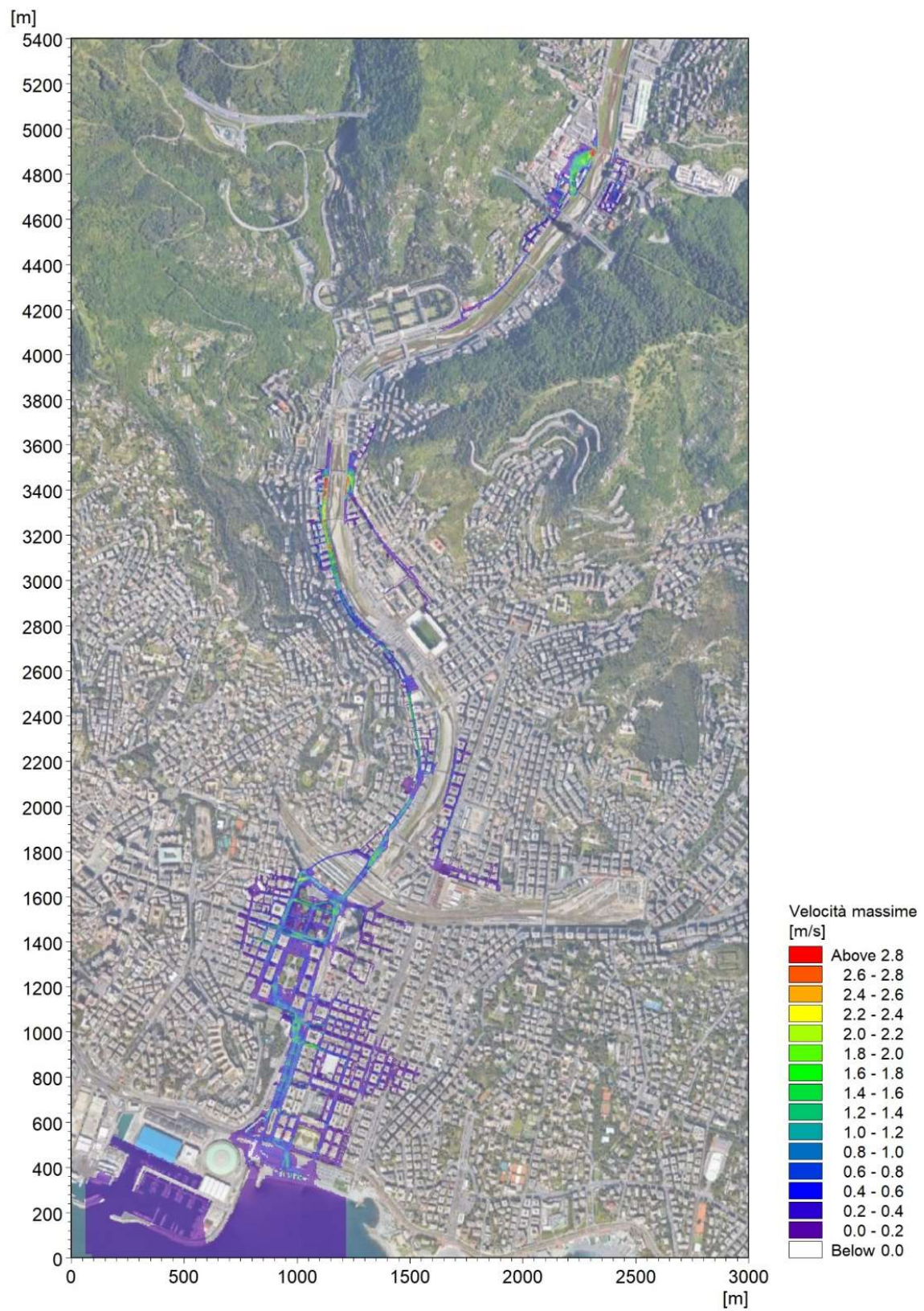


Figura 81 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3C.

6.3.4 SIM1D: evento di piena TR50

Nella Tabella 16 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova il ponte Carrega (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 82 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di monte dove è localizzato il ponte Carrega.

Per l'evento cinquantennale i livelli a monte del ponte, a seguito della parziale ostruzione, giungono a lambire le sponde, con leggero sormonto in destra che comporta la fuoriuscita di un modesto volume, il quale allaga le aree adiacenti con minime altezze idriche.

In Figura 83 e Figura 84 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente 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.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	717,49	32,27	522,5	36,02	3,75	3,26	0,73	36,56
Bisagno	762,49	32,09	524,3	35,81	3,72	3,23	0,73	36,34
Bisagno	830,32	31,99	527,2	35,52	3,53	3,13	0,68	36,02
Bisagno	924,32	31,80	531,1	35,24	3,44	2,81	0,59	35,64
Bisagno	973,32	31,56	557,1	35,11	3,55	2,83	0,53	35,52
Bisagno	974,16	31,56	558,1	35,10	3,54	2,85	0,54	35,51
Bisagno	983,31	31,46	565,8	34,89	3,43	2,98	0,57	35,34
Bisagno	986,81	31,43	565,1	34,89	3,46	2,96	0,57	35,34
Bisagno	1027,81	31,60	535,5	34,77	3,17	2,80	0,56	35,17
Bisagno	1086,49	31,48	534,5	34,71	3,23	2,39	0,47	35,00
Bisagno	1131,49	30,91	536,4	34,70	3,79	2,04	0,38	34,91
Bisagno	1220,84	31,28	541,5	34,63	3,35	1,87	0,32	34,81
Bisagno	1327,75	30,04	544,7	34,53	4,49	1,98	0,33	34,73
Bisagno	1350,76	29,69	545,6	34,56	4,87	1,70	0,25	34,71
Bisagno	1352,76	29,69	545,6	34,56	4,87	1,71	0,26	34,71
Bisagno	1356,81	29,69	545,7	31,17	1,58	6,27	1,80	33,17
Bisagno	1398,12	27,39	547,1	30,38	2,99	3,60	0,77	31,04

Tabella 16 – Risultati di sintesi per lo scenario TR50 nel tratto adiacente al ponte Carrega, SIM1D.

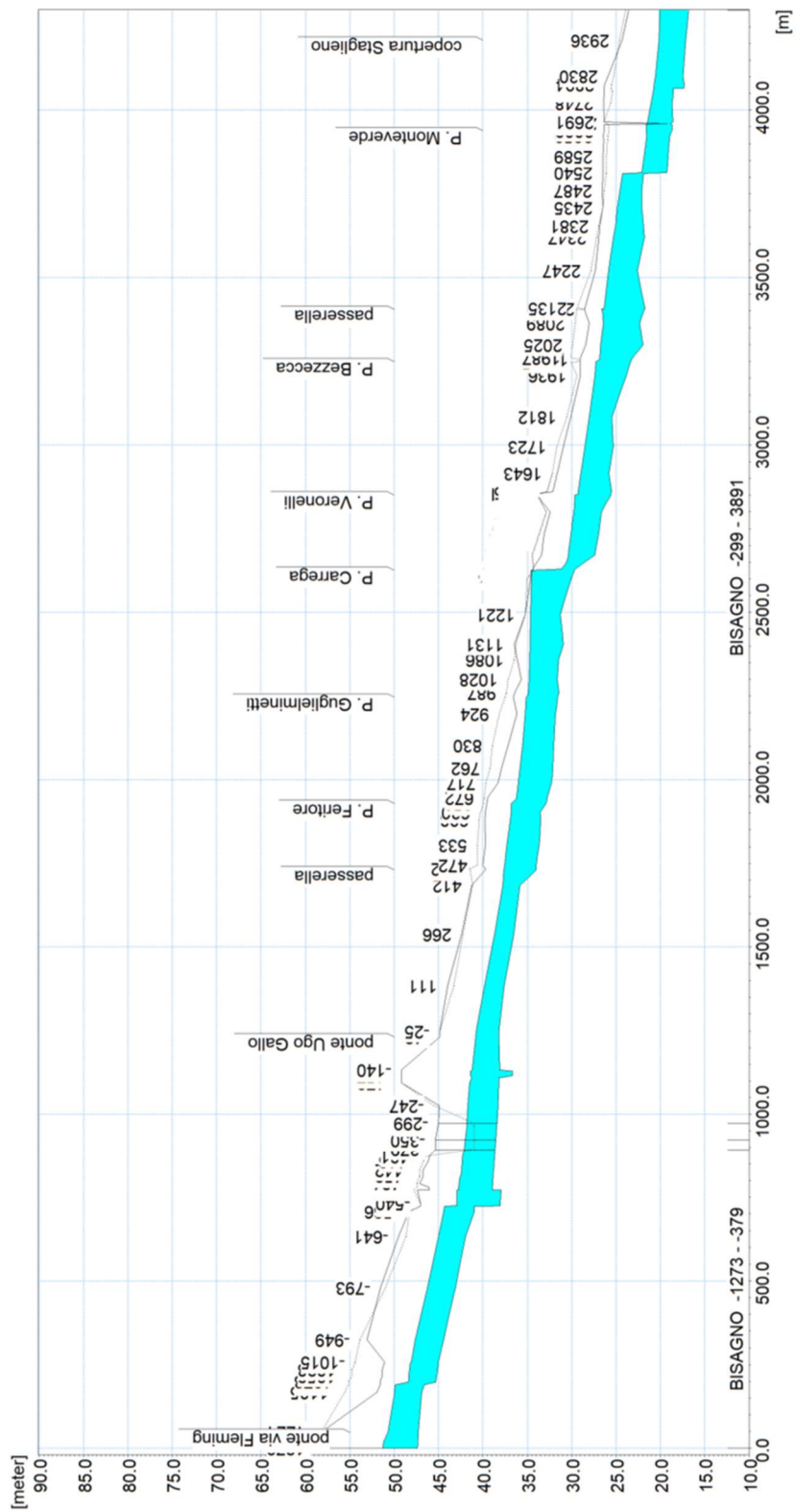


Figura 82 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1D, tratto di monte.



Figura 83 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1D.



Figura 84 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1D.

6.3.5 SIM2D: evento di piena TR200

Nella Tabella 17 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova il ponte Carrega (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 85 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di monte dove è localizzato il ponte Carrega.

Per l'evento duecentennale a seguito della parziale ostruzione del ponte si riscontra un più netto sormonto delle sponde, con fuoriuscita di portata. In sinistra risulta allagata la zona di piazza Adriatico, che in relazione alle quote depresse rispetto alle aree circostanti denuncia altezze d'acqua rilevanti. In destra la portata di esondazione allaga le aree (IRETI) a tergo di via Piacenza e prosegue poi lungo quest'ultima in direzione Sud, disperdendo man mano volume fino a esaurire la propagazione in prossimità del cimitero.

In Figura 86 e Figura 87 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente 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.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	717,49	32,27	677,8	36,43	4,16	3,49	0,73	37,05
Bisagno	762,49	32,09	677,9	36,25	4,16	3,43	0,70	36,85
Bisagno	830,32	31,99	682,0	36,01	4,02	3,28	0,66	36,56
Bisagno	924,32	31,80	684,6	35,78	3,98	2,95	0,56	36,22
Bisagno	973,32	31,56	685,8	35,67	4,11	2,91	0,50	36,10
Bisagno	974,16	31,56	686,1	35,66	4,10	2,92	0,50	36,09
Bisagno	983,31	31,46	686,3	35,45	3,99	3,02	0,53	35,91
Bisagno	986,81	31,43	687,0	35,44	4,01	3,00	0,52	35,90
Bisagno	1027,81	31,60	688,3	35,37	3,77	2,90	0,53	35,80
Bisagno	1086,49	31,48	691,8	35,34	3,86	2,49	0,44	35,66
Bisagno	1131,49	30,91	695,7	35,34	4,43	2,17	0,37	35,58
Bisagno	1220,84	31,28	695,4	35,29	4,01	2,01	0,32	35,50
Bisagno	1327,75	30,04	688,4	35,19	5,15	2,12	0,33	35,42
Bisagno	1350,76	29,69	673,1	35,24	5,55	1,82	0,25	35,41
Bisagno	1352,76	29,69	670,0	35,24	5,55	1,82	0,25	35,41
Bisagno	1356,81	29,69	667,5	31,38	1,79	6,53	1,73	33,55
Bisagno	1398,12	27,39	671,3	30,71	3,32	3,84	0,77	31,46

Tabella 17 – Risultati di sintesi per lo scenario TR200 nel tratto adiacente al ponte Carrega, SIM2D.

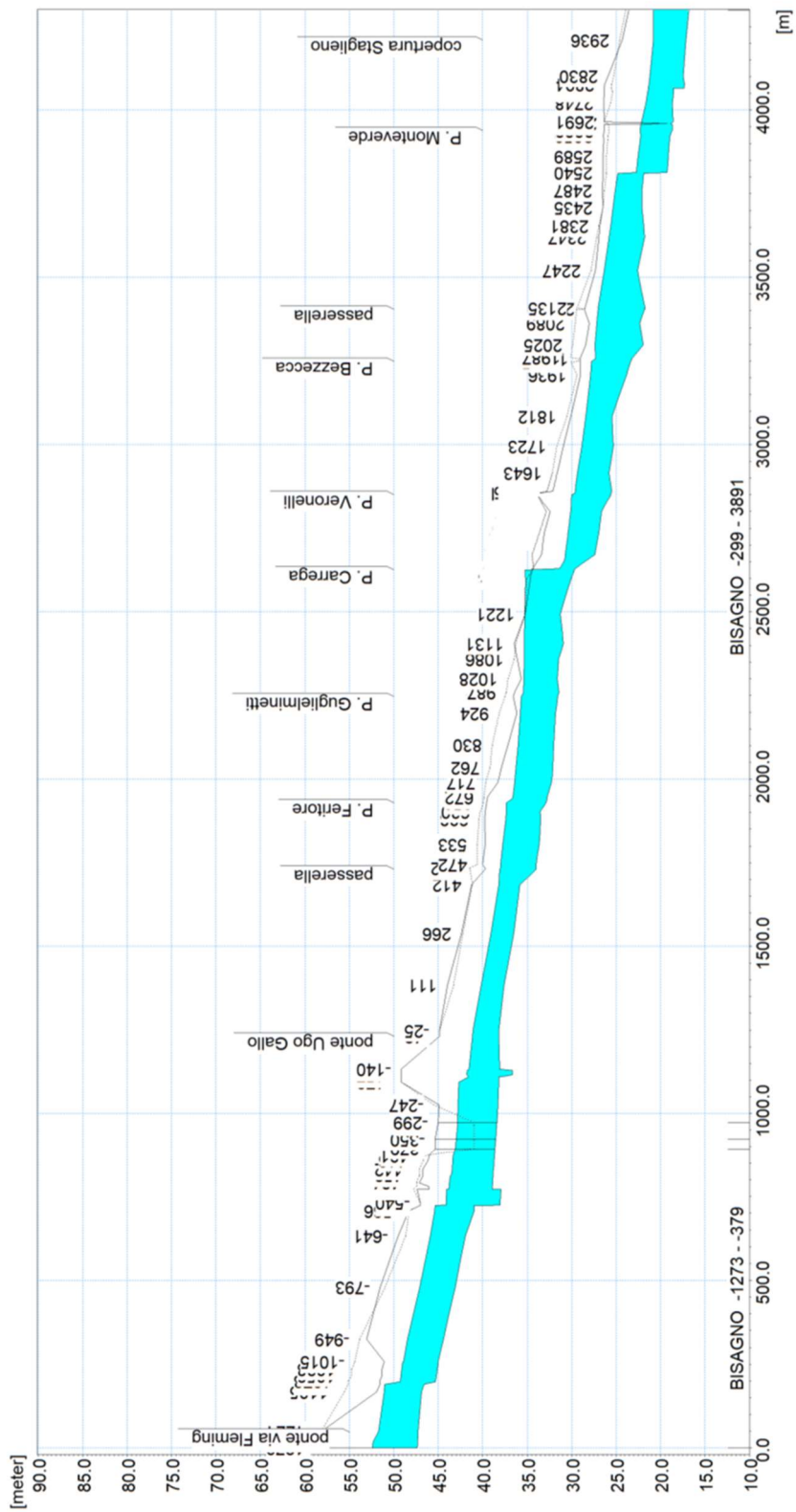


Figura 85 - Profilo di involuppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2D, tratto di monte.

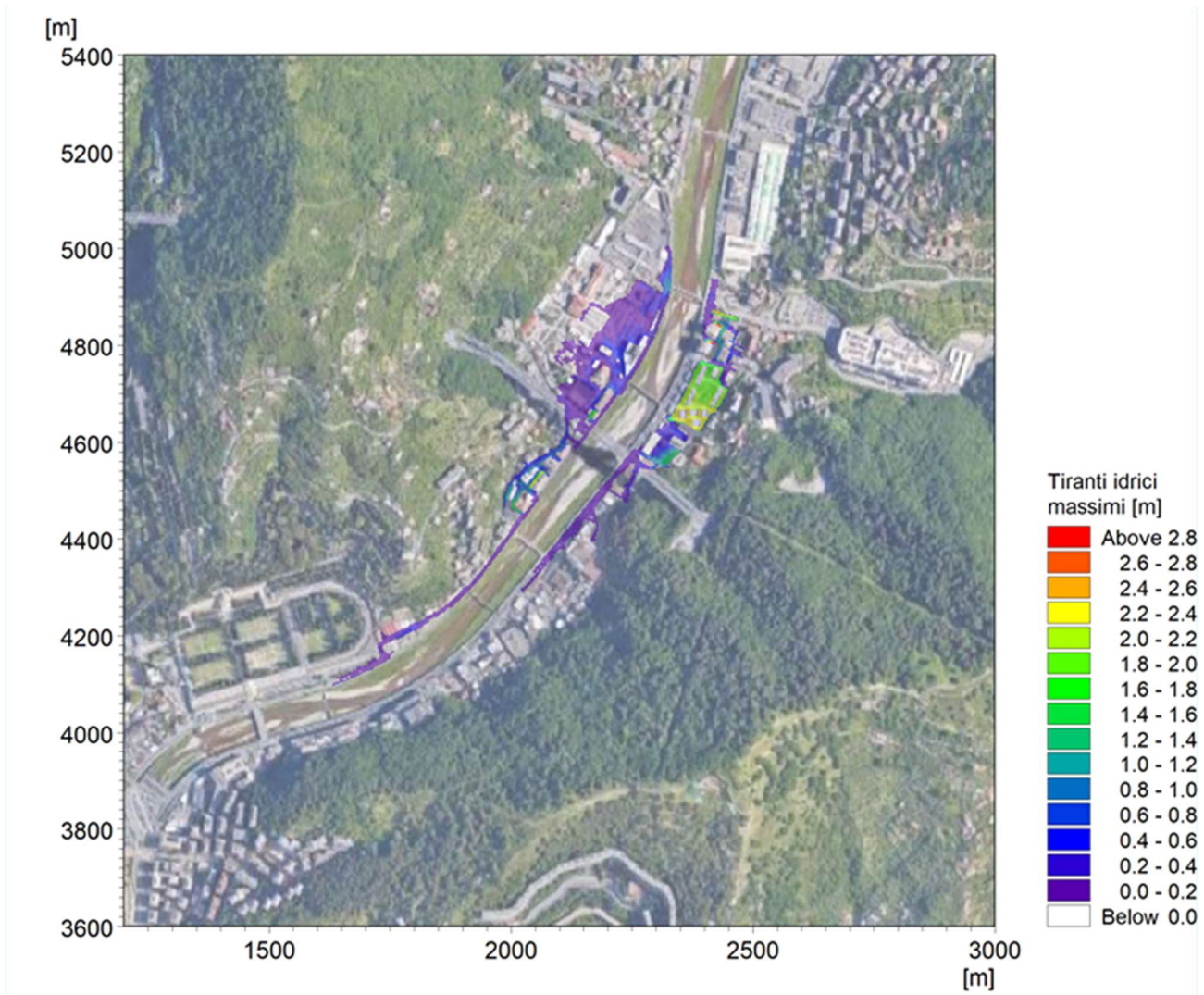


Figura 86 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2D.

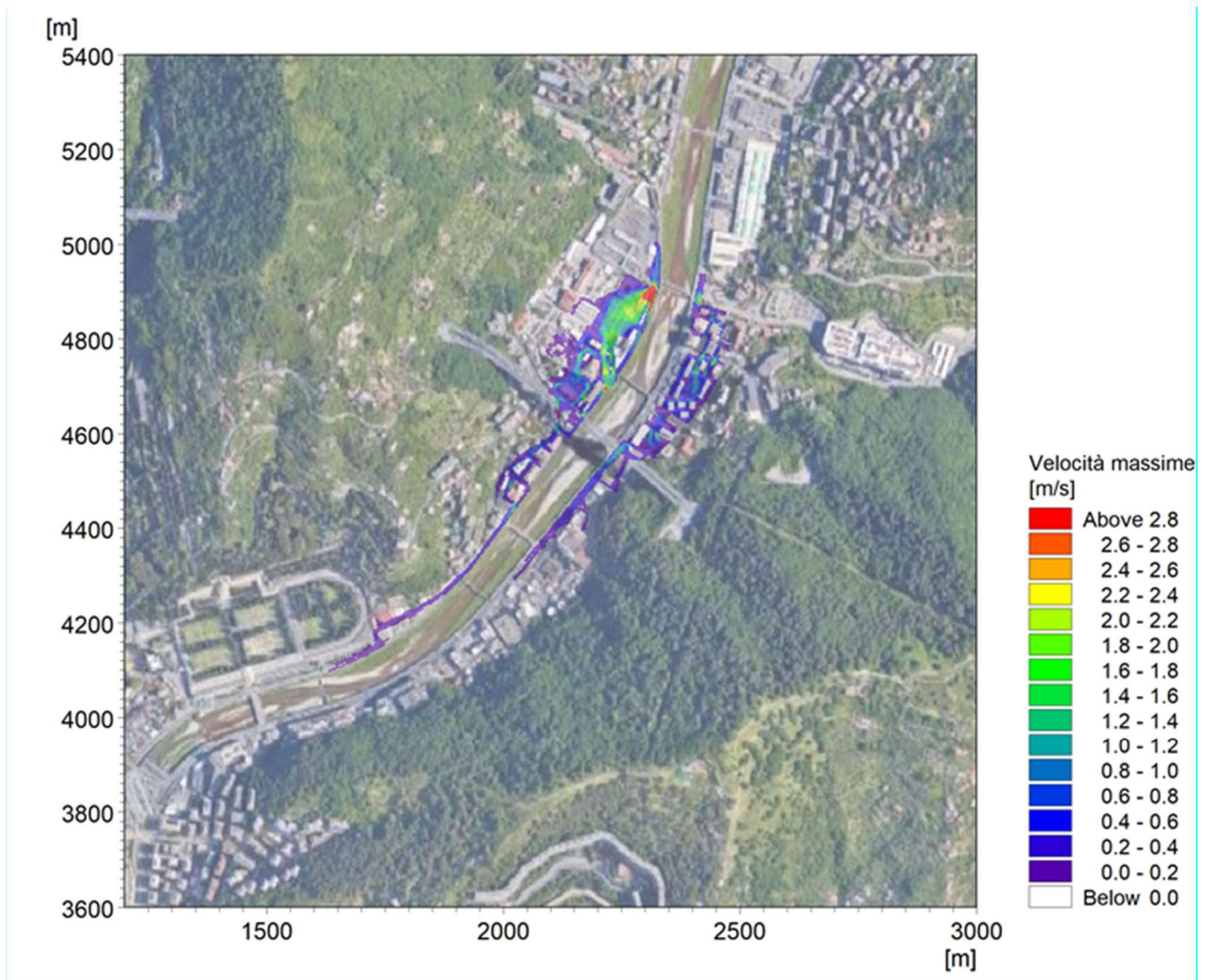


Figura 87 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2D.

6.3.6 SIM3D: evento di piena TR500

Nella Tabella 18 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova il ponte Carrega (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involucro dei valori massimi. In Figura 88 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'involuppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di monte dove è localizzato il ponte Carrega.

In occasione dell'evento cinquecentennale la parziale ostruzione delle luci del ponte Carrega produce un aggravio delle esondazioni che si riscontrano nello scenario SIM3A, con estensione degli allagamenti unicamente nelle aree già identificate per lo scenario 2D, senza ulteriori propagazioni più a valle.

In Figura 89 e Figura 90 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

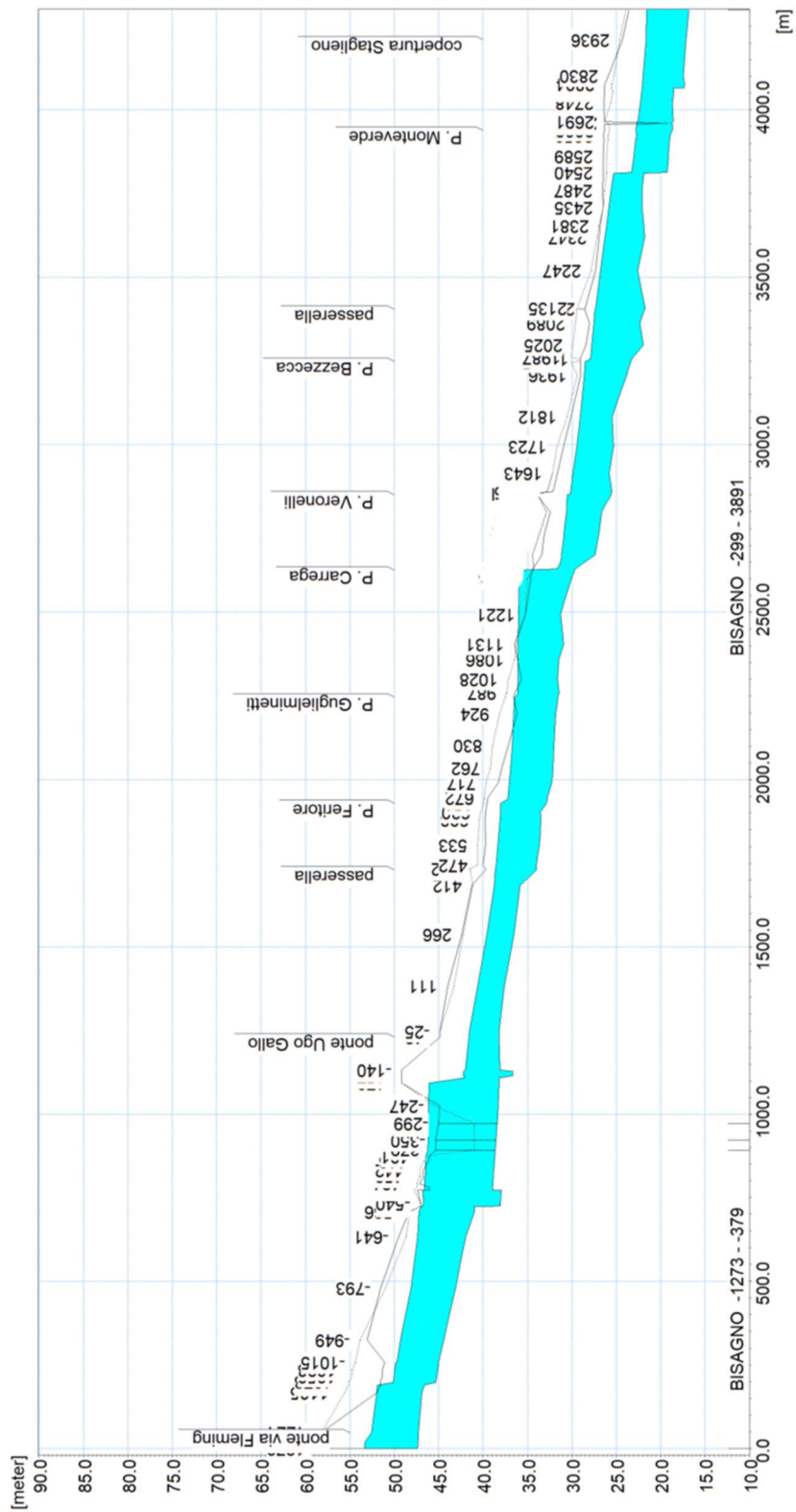


Figura 88 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3D, tratto di monte.

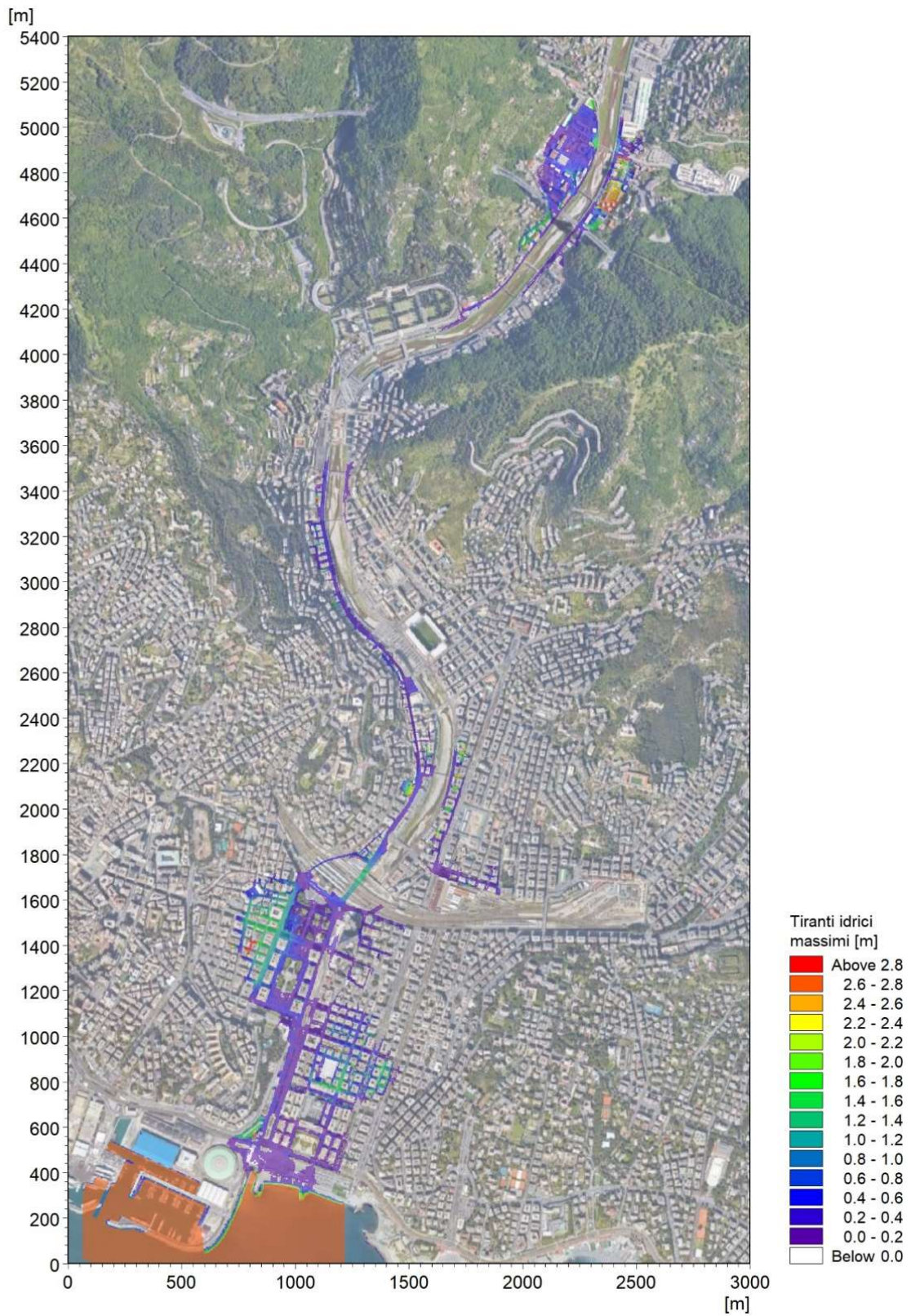


Figura 89 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3D.

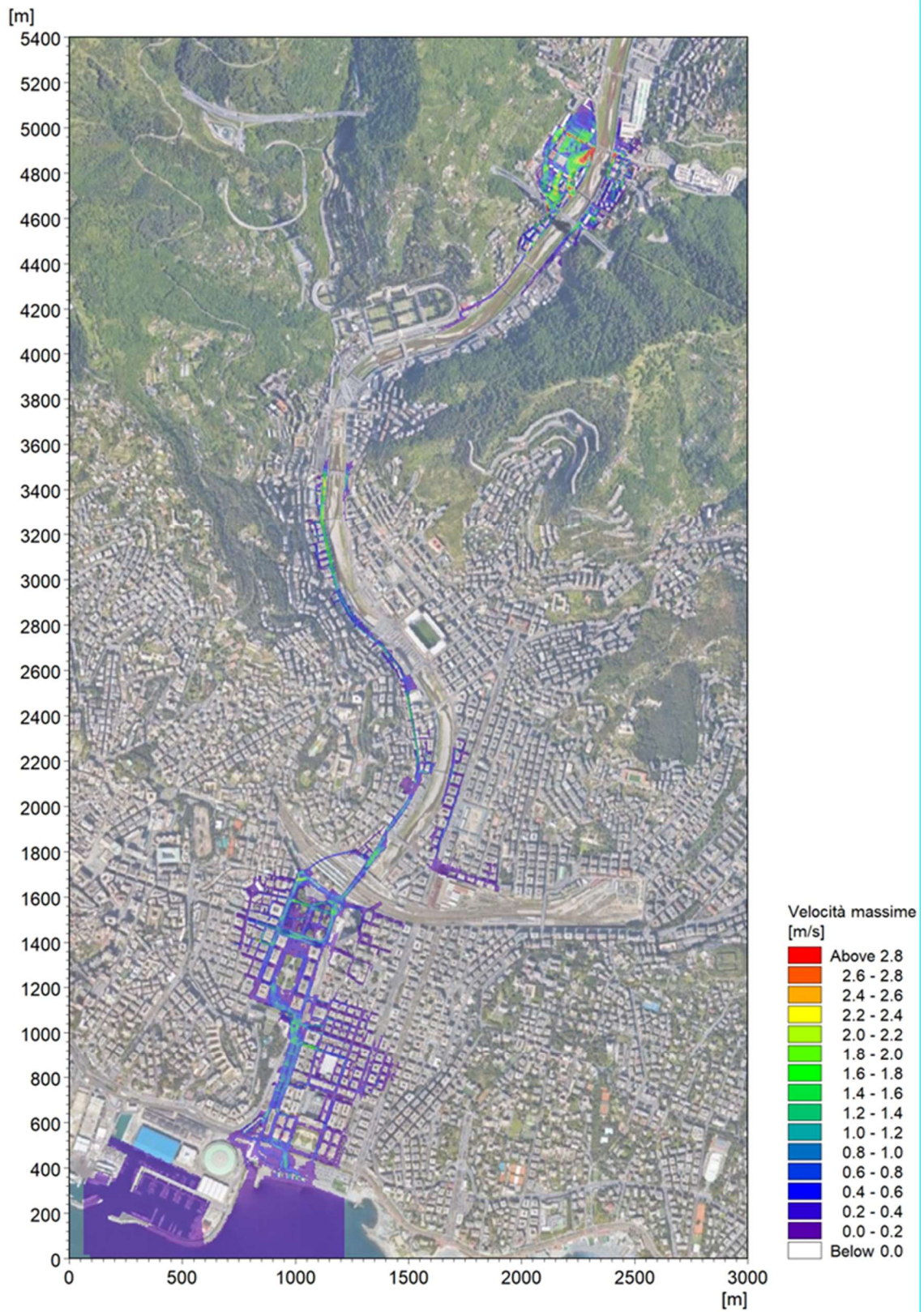


Figura 90 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3D.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	717,49	32,27	890,8	37,04	4,77	3,64	0,68	37,72
Bisagno	762,49	32,09	894,2	36,90	4,81	3,58	0,65	37,55
Bisagno	830,32	31,99	899,0	36,72	4,73	3,39	0,60	37,31
Bisagno	924,32	31,80	903,2	36,56	4,76	3,05	0,51	37,03
Bisagno	973,32	31,56	904,7	36,44	4,88	3,14	0,49	36,94
Bisagno	974,16	31,56	905,0	36,44	4,88	3,14	0,49	36,94
Bisagno	983,31	31,46	905,4	36,13	4,67	3,31	0,53	36,69
Bisagno	986,81	31,43	906,7	36,12	4,69	3,30	0,52	36,67
Bisagno	1027,81	31,60	909,7	36,07	4,47	3,13	0,51	36,57
Bisagno	1086,49	31,48	912,8	36,07	4,59	2,68	0,43	36,44
Bisagno	1131,49	30,91	916,8	36,07	5,16	2,38	0,37	36,36
Bisagno	1220,84	31,28	921,6	36,02	4,74	2,26	0,33	36,28
Bisagno	1327,75	30,04	884,4	35,94	5,90	2,32	0,33	36,22
Bisagno	1350,76	29,69	833,4	36,02	6,33	1,96	0,26	36,22
Bisagno	1352,76	29,69	824,0	36,03	6,34	1,95	0,25	36,22
Bisagno	1356,81	29,69	817,2	31,68	2,09	6,62	1,60	33,91
Bisagno	1398,12	27,39	842,5	31,19	3,80	4,07	0,75	32,03

Tabella 18 – Risultati di sintesi per lo scenario TR500 nel tratto adiacente al ponte Carrega, SIM3D.

6.4 Annullamento del franco idraulico (SIME)

Obiettivo del presente scenario è la valutazione della pericolosità residua nelle aree esterne all'alveo nei pressi della passerella Firpo all'annullamento del margine di sicurezza dell'analisi idraulica, ovvero del franco idraulico minimo richiesto dal Piano di Bacino (0,50 m), avendo riscontrato per l'evento TR200 dei franchi inferiori a tale valore (cfr. SIM2A).

Tale condizione è stata rappresentata nel modello mediante un'ostruzione parziale della passerella Firpo (circa il 30% di una campata), tale da produrre per l'evento di piena duecentennale un innalzamento della quota massima della superficie libera a monte della passerella pari a 0,50 m.

Sono state eseguite tre simulazioni, associate ai diversi tempi di ritorno:

- SIME1: annullamento del franco idraulico per evento con tempo di ritorno pari a 50 anni (TR50);
- SIME2: annullamento del franco idraulico per evento con tempo di ritorno pari a 200 anni (TR200);
- SIME3: annullamento del franco idraulico per evento con tempo di ritorno pari a 500 anni (TR500).

6.4.1 SIM1E: evento di piena TR50

Nella Tabella 19 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova la passerella Firpo (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 50 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 91 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di valle dove è localizzata la passerella Firpo.

L'innalzamento del livello idrico prodotto a monte della passerella non genera esondazioni per l'evento TR50.

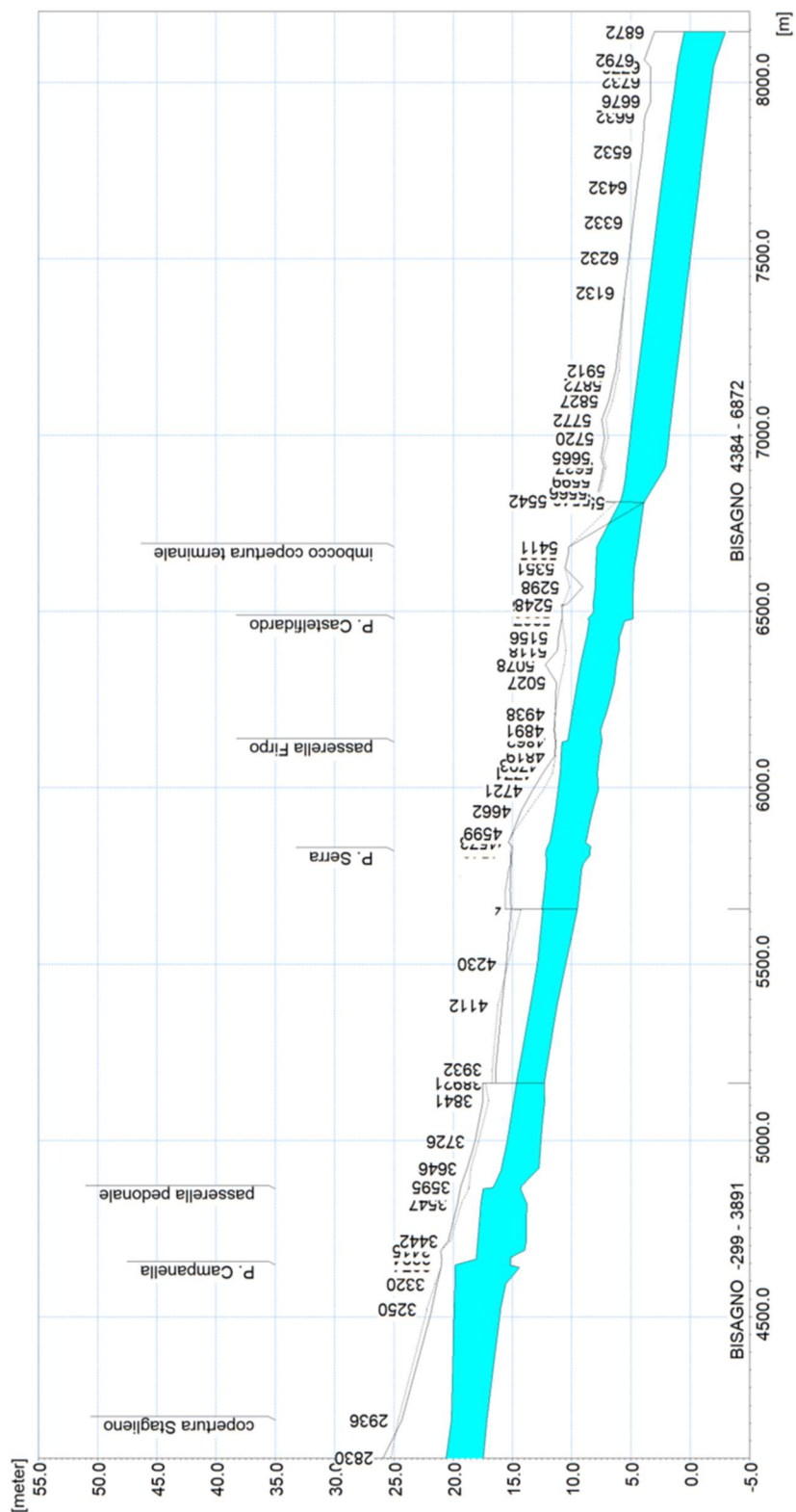


Figura 91 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=50 anni, SIM1E, tratto di valle.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	4438,37	9,32	583,6	12,31	2,99	3,17	0,60	12,82
Bisagno	4497,07	9,15	583,1	12,15	3,00	3,14	0,60	12,65
Bisagno	4514,57	9,09	582,6	12,13	3,14	2,98	0,56	12,58
Bisagno	4529,77	8,72	582,6	12,16	3,54	2,66	0,48	12,52
Bisagno	4537,57	8,53	582,5	12,18	3,75	2,51	0,44	12,50
Bisagno	4547,07	8,53	582,6	12,16	3,73	2,53	0,45	12,49
Bisagno	4548,57	8,53	582,6	12,19	3,76	2,37	0,40	12,48
Bisagno	4562,57	8,53	582,7	12,04	3,63	2,46	0,42	12,35
Bisagno	4573,09	8,80	625,6	11,86	3,06	3,17	0,60	12,37
Bisagno	4599,22	7,63	625,6	11,71	3,08	3,49	0,70	12,33
Bisagno	4662,42	7,23	626,1	11,39	3,16	3,81	0,76	12,13
Bisagno	4721,23	6,74	626,8	11,15	3,41	3,55	0,69	11,79
Bisagno	4770,63	6,83	627,7	10,96	3,13	3,49	0,68	11,58
Bisagno	4791,09	6,76	631,1	10,91	3,15	3,32	0,63	11,47
Bisagno	4793,09	6,75	631,7	10,91	3,16	3,31	0,63	11,47
Bisagno	4819,36	6,66	633,2	10,88	3,22	3,05	0,56	11,35
Bisagno	4857,63	6,43	644,3	10,82	3,39	2,99	0,54	11,28
Bisagno	4862,30	6,43	644,7	10,35	2,92	3,50	0,69	10,98
Bisagno	4890,91	6,57	635,0	10,19	2,62	3,65	0,75	10,87
Bisagno	4937,95	6,08	633,5	9,96	2,88	3,65	0,75	10,64

Tabella 19 – Risultati di sintesi per lo scenario TR50 nel tratto adiacente la passerella Firpo, SIM1E.

6.4.2 SIM2E: evento di piena TR200

Nella Tabella 20 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova la passerella Firpo (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, intesi come inviluppo dei valori massimi. In Figura 92 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'inviluppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di valle dove è localizzata la passerella Firpo.

L'innalzamento di 50 cm in corrispondenza dell'evento duecentennale produce esondazioni a monte della passerella Firpo, su entrambe le sponde, con fuoriuscita di modesti volumi che allagano le aree circostanti.

In Figura 93 e Figura 94 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno duecentennale.

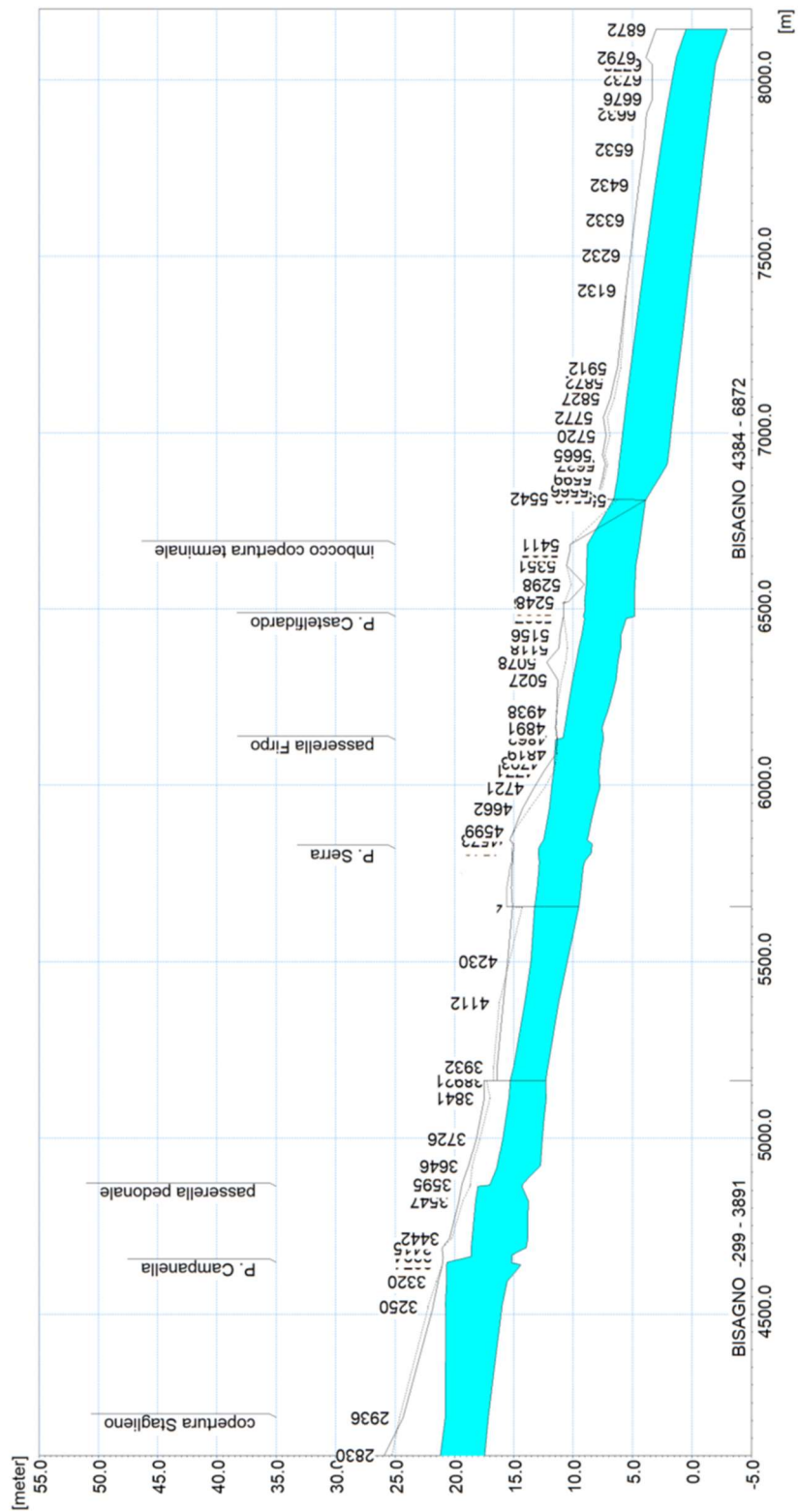


Figura 92 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2E, tratto di valle.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m ³ /s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	4438,37	9,32	809,3	13,02	3,70	3,51	0,60	13,65
Bisagno	4497,07	9,15	805,7	12,88	3,73	3,43	0,59	13,48
Bisagno	4514,57	9,09	805,4	12,86	3,87	3,29	0,55	13,41
Bisagno	4529,77	8,72	804,3	12,90	4,28	2,97	0,48	13,35
Bisagno	4537,57	8,53	804,5	12,92	4,49	2,83	0,45	13,33
Bisagno	4547,07	8,53	805,0	12,90	4,47	2,85	0,45	13,31
Bisagno	4548,57	8,53	804,5	12,93	4,50	2,71	0,42	13,30
Bisagno	4562,57	8,53	801,7	12,69	4,28	2,84	0,45	13,10
Bisagno	4573,09	8,80	866,7	12,48	3,68	3,61	0,62	13,14
Bisagno	4599,22	7,63	865,7	12,34	3,71	3,88	0,70	13,11
Bisagno	4662,42	7,23	865,8	12,01	3,78	4,24	0,76	12,93
Bisagno	4721,23	6,74	866,8	11,80	4,06	3,96	0,69	12,60
Bisagno	4770,63	6,83	867,5	11,62	3,79	3,87	0,67	12,38
Bisagno	4791,09	6,76	867,7	11,59	3,83	3,68	0,63	12,28
Bisagno	4793,09	6,75	868,0	11,58	3,83	3,67	0,63	12,26
Bisagno	4819,36	6,66	868,4	11,56	3,90	3,40	0,57	12,15
Bisagno	4857,63	6,43	868,2	11,50	4,07	3,30	0,54	12,06
Bisagno	4862,30	6,43	868,5	10,85	3,42	3,99	0,72	11,66
Bisagno	4890,91	6,57	869,4	10,70	3,13	4,15	0,77	11,58
Bisagno	4937,95	6,08	870,8	10,46	3,38	4,14	0,78	11,33

Tabella 20 – Risultati di sintesi per lo scenario TR200 nel tratto adiacente alla passerella Firpo, SIM2E.



Figura 93 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2E.

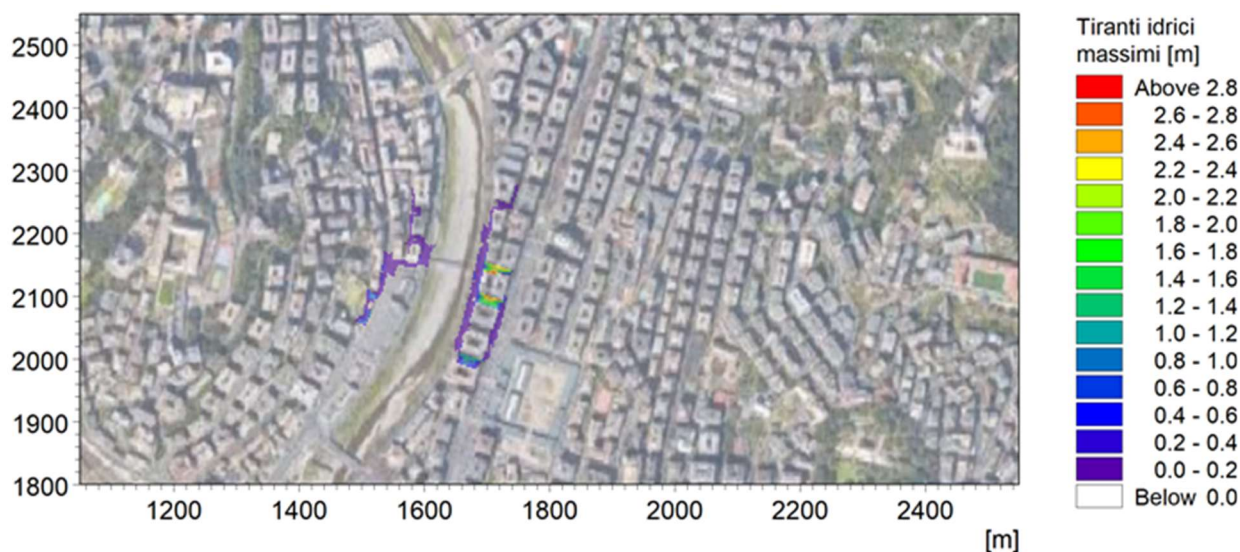


Figura 94 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2E.

6.4.3 SIM3E: evento di piena TR500

Nella Tabella 21 sono elencati i principali parametri idrodinamici relativi all'alveo inciso del torrente Bisagno nel tratto in cui si trova la passerella Firpo (output del modello monodimensionale) per lo scenario con tempo di ritorno di 500 anni, intesi come involucro dei valori massimi. In Figura 95 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo all'involuppo dei massimi livelli idrici per il medesimo scenario, per il tratto di valle dove è localizzata la passerella Firpo.

ID Fiume	Progressiva	Fondo	Q	P.L.	h	v	Fr	H
		[m s.m.]	[m³/s]	[m s.m.]	[m s.m.]	[m/s]	[-]	[m s.m.]
Bisagno	4438,37	9,32	1022,1	13,65	4,33	3,76	0,59	14,37
Bisagno	4497,07	9,15	1017,0	13,53	4,38	3,65	0,57	14,21
Bisagno	4514,57	9,09	1016,7	13,52	4,53	3,52	0,54	14,15
Bisagno	4529,77	8,72	1012,1	13,56	4,94	3,21	0,48	14,08
Bisagno	4537,57	8,53	1010,6	13,58	5,15	3,06	0,45	14,06
Bisagno	4547,07	8,53	1012,5	13,56	5,13	3,08	0,45	14,04
Bisagno	4548,57	8,53	1012,3	13,59	5,16	2,96	0,42	14,04
Bisagno	4562,57	8,53	1015,1	13,27	4,86	3,15	0,47	13,78
Bisagno	4573,09	8,80	1117,4	13,01	4,21	4,04	0,64	13,84
Bisagno	4599,22	7,63	1115,6	12,87	4,24	4,29	0,71	13,81
Bisagno	4662,42	7,23	1116,6	12,54	4,31	4,71	0,78	13,67
Bisagno	4721,23	6,74	1118,3	12,30	4,56	4,43	0,72	13,30
Bisagno	4770,63	6,83	1119,3	12,11	4,28	4,36	0,71	13,08
Bisagno	4791,09	6,76	1119,5	12,08	4,32	4,17	0,67	12,96
Bisagno	4793,09	6,75	1119,9	12,07	4,32	4,15	0,66	12,95
Bisagno	4819,36	6,66	1113,5	12,06	4,40	3,84	0,60	12,81
Bisagno	4857,63	6,43	1076,9	12,07	4,64	3,56	0,54	12,72
Bisagno	4862,30	6,43	1074,9	11,36	3,93	4,24	0,71	12,28
Bisagno	4890,91	6,57	1083,6	11,21	3,64	4,41	0,76	12,20
Bisagno	4937,95	6,08	1089,9	10,99	3,91	4,38	0,76	11,97

Tabella 21 – Risultati di sintesi per lo scenario TR500 nel tratto adiacente alla passerella Firpo, SIM3E.

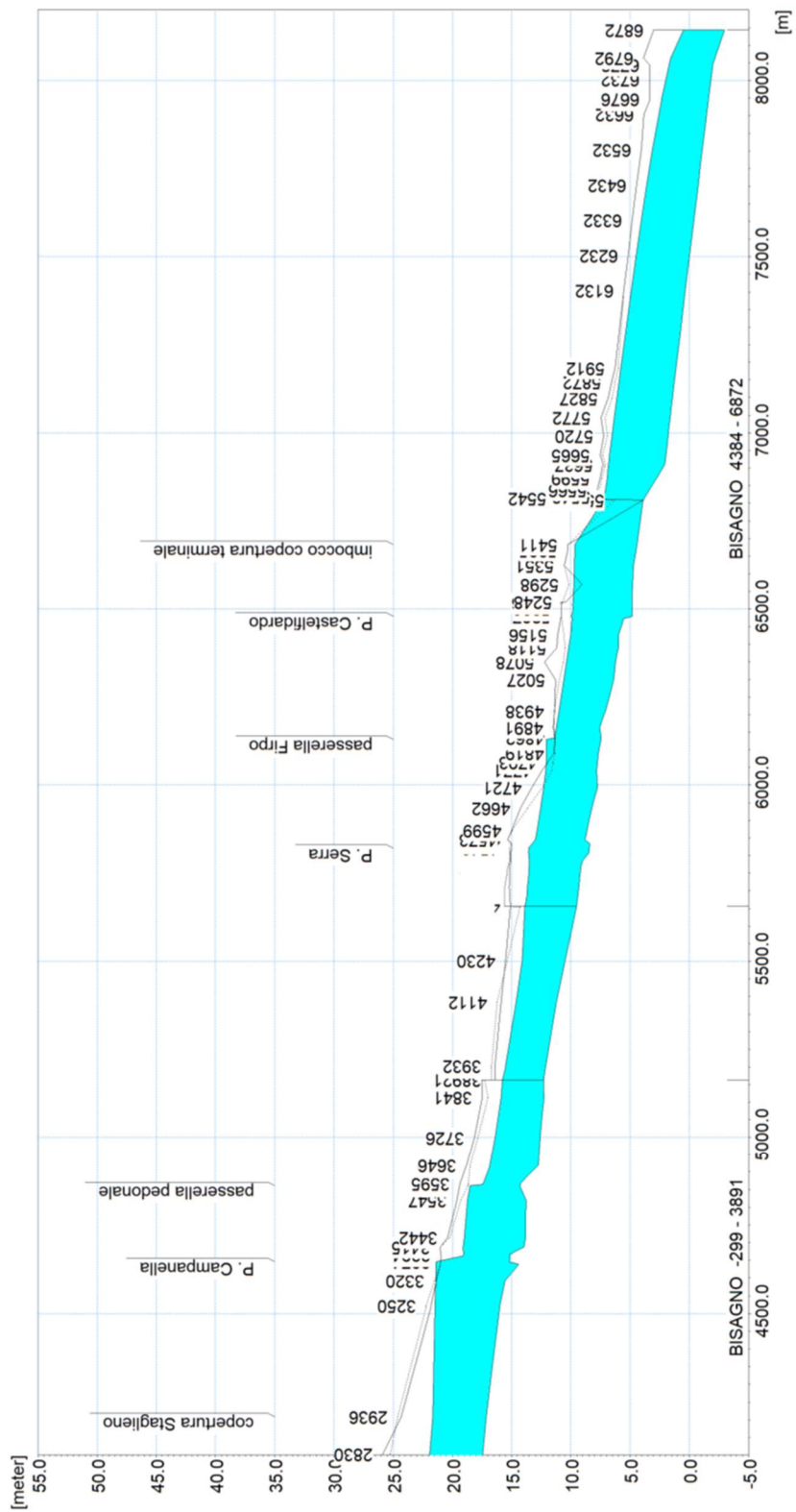


Figura 95 - Profilo di inviluppo dei massimi livelli idrici nell'alveo del torrente Bisagno per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3E, tratto di valle.

La parziale ostruzione della passerella provoca un modesto incremento delle aree di esondazione riscontrate nello scenario SIM3A. In Figura 96 e Figura 97 sono riportate le distribuzioni (output del modello MIKE21) rispettivamente delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna e delle massime velocità verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

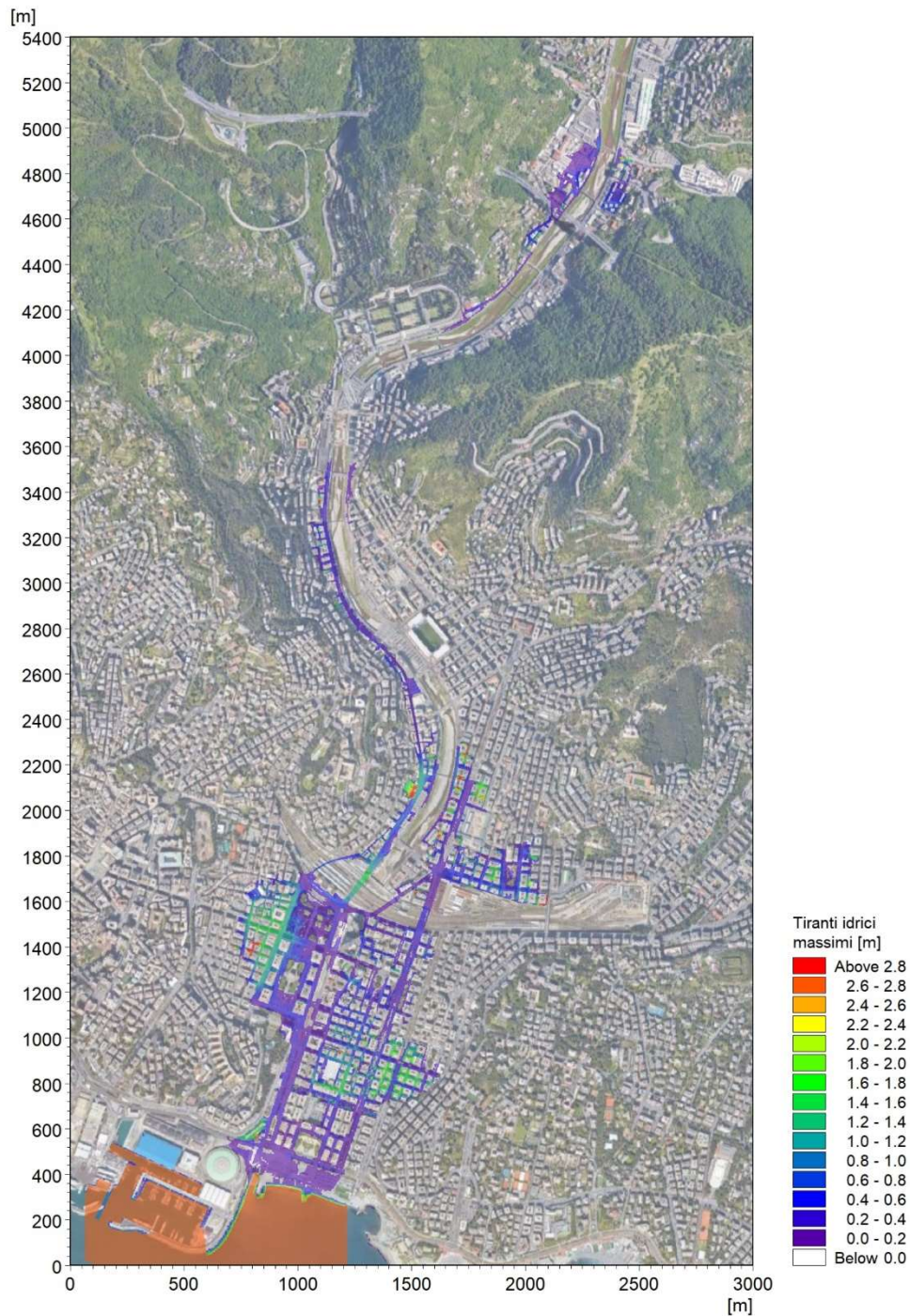


Figura 96 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3E.

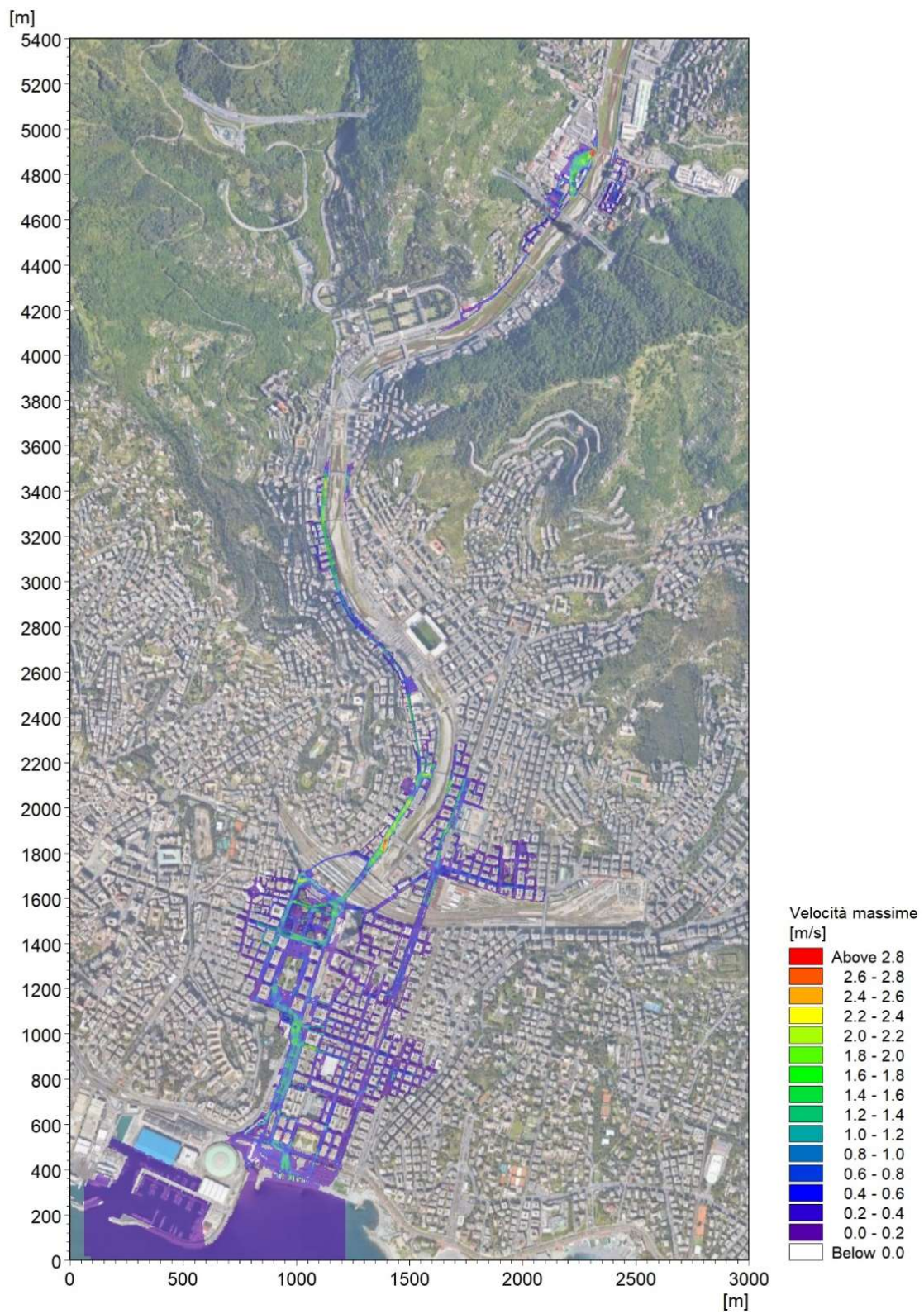


Figura 97 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3E.

6.5 Commenti di sintesi ai risultati degli scenari di simulazione integrativi

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalle simulazioni degli scenari integrativi, descritti nei capitoli precedenti, si riscontra innanzitutto come le variazioni introdotte dei parametri idraulici o della geometria delle opere di attraversamento vada in sostanza a generare nuove o maggiori esondazioni solo per gli scenari di esondazione associati al tempo di ritorno di duecento anni (TR200) e cinquecento anni (TR500).

Per lo scenario cinquantennale (**TR50**), la portata continua ad essere contenuta in alveo (a meno di modestissime fuoriuscite per lo scenario SIMD). Questo risultato garantisce pertanto in sostanza la capienza certa della portata di piena cinquantennale, nell'assetto fluviale indagato con scolmatore attivo, e la conseguente assenza di aree a pericolosità elevata conseguenti a esondazioni del Bisagno.

La variazione di scabrezza (SIMB) per TR50 induce un innalzamento dei livelli lungo il corso d'acqua che risulta dell'ordine dei 25 cm nell'alveo e di circa 40 cm nella copertura terminale, ma che continua ad essere contenuto dalle sponde del corso d'acqua.

L'occlusione parziale del ponte Campanella (SIMC) e del ponte Carrega (SIMD) inducono rispettivamente un innalzamento massimo della superficie libera rispetto allo scenario base di circa 0,80 m e di circa 1,2 m. Nella simulazione relativa all'annullamento del franco idraulico in corrispondenza della passerella Firpo l'innalzamento risulta pari a circa 0,42 m.

Nella simulazione relativa al Ponte Carrega si ha una modestissima fuoriuscita di portata che va ad interessare un'area inferiore ai 2.000 m² in via Piacenza e nel piazzale Iren adiacente. L'entità dell'allagamento è minima, con profondità dell'ordine dei 10 cm e velocità di 0,1 m/s. L'entità di tali valori di tiranti idrici e velocità risulta comparabile con l'ordine di incertezza associato alla modellazione numerica, oltre che con le caratteristiche del ruscellamento superficiale per eventi di pioggia intensi diretti; si è quindi assunto che tale area di allagamento non sia significativa ai fini della definizione della pericolosità idraulica.

Per lo scenario duecentennale (**TR200**), gli scenari che generano nuove esondazioni sono relativi alle variazioni della geometria per i 3 attraversamenti (SIMC, SIMD e SIME) mentre l'innalzamento dei livelli prodotto dalla variazione di scabrezza definisce un profilo di massima piena che rimane contenuto in alveo.

Nella simulazione relativa alla parziale ostruzione del ponte Carrega (SIMD), l'esondazione in sponda sinistra si propaga interessando Piazza Adriatico e più a valle l'area delimitata a Sud da Via Laiasso. Le profondità raggiungono i 2 m nella piazza, depressa rispetto alle aree circostanti, mentre le velocità risultano inferiori a 1 m/s. L'esondazione si propaga a sud dell'autostrada A12 per circa 350 m in via Lungo Bisagno Dalmazia ma è caratterizzata da valori di profondità e velocità limitati (rispettivamente dell'ordine di 10 cm e 0,5 m/s).

In destra l'area maggiormente interessata dall'esondazione è quella dell'adiacente piazzale IREN fino all'altezza dell'autostrada con valori di profondità prevalentemente contenuti al di sotto dei 10 cm mentre le velocità raggiungono valori massimi di 2 m/s nell'area più prossima al ponte. L'esondazione si propaga a Sud dell'autostrada A12 fino all'altezza di Staglieno lungo via Piacenza con profondità e velocità che diminuiscono procedendo verso valle (la profondità della corrente passa da valori dell'ordine dei 50 cm a 5 cm; la velocità risulta inferiore ai 0,5 m/s).

Nella simulazione relativa alla parziale ostruzione del ponte Campanella (SIMC), l'esondazione in corrispondenza del ponte si propaga in sponda sinistra sul Lungo Bisagno Istria fino a Piazzale Parenzo per poi esaurirsi in corrispondenza della passerella pedonale di valle lungo via Rino Mandoli. Le profondità della

corrente risultano dell'ordine dei 30 cm a nord di Piazzale Parenzo, inferiori ai 10 cm a valle. Le velocità massime raggiungono i 2 m/s.

In sponda destra la portata che fuoriesce dall'alveo prosegue verso valle propagandosi lungo Via Bobbio, ma rimanendo contenuta a levante nell'area delimitata da via Leonardo Montaldo, con profondità d'acqua inferiori ai 50 cm e velocità che raggiungono i 2 m/s. Più a Sud la portata si incanala lungo Via Canevari oltrepassando la ferrovia attraverso il sottopasso carrabile e terminando la propria espansione nelle aree depresse delimitate da Via Galata, Piazza della Vittoria e Via Fiume.

La simulazione relativa all'annullamento del franco in corrispondenza della passerella Firpo (SIME) evidenzia come potenziali esondazioni durante l'evento duecentennale non si estendano oltre le immediate adiacenze della passerella.

Per l'evento **TR500** le configurazioni B, C, D, E comportano un aggravio dello scenario base, in termini di livelli idrici massimi nelle aree di esondazione, portando a scenari più gravosi in termini di estensione delle aree allagate complessive.

Negli scenari C e D si ha una maggiore estensione delle aree allagate in prossimità dei ponti Campanella e Carrega oggetto delle ostruzioni.

Gli scenari B ed E hanno un comportamento simile in termini di aggravio delle aree esondate nel tratto di valle. Le maggiori esondazioni in corrispondenza della passerella Firpo e l'incremento dei livelli per le variazioni di scabrezza determinano soprattutto in sinistra idrografica un incremento delle aree allagate sia a monte che a valle della ferrovia.

A monte della ferrovia l'esondazione interessa maggiormente via Paolo Giacometti fino a raggiungere Piazza Martinez. Si ha un incremento delle aree allagate subito a valle della ferrovia delimitata a Sud da Via Pisacane e a Est da Corso Torino, interessando anche Piazza Paolo da Novi. Più a Sud, all'altezza di Via Carlo Barabino, l'esondazione si estende fino a Piazza Palermo.

7. PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ

7.1 Perimetrazione delle fasce di inondabilità

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 tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni del corso d'acqua esaminato, considerando una pluralità di scenari per la verifica delle condizioni di pericolosità residua associate alla carenza di franco idraulico.

In relazione ai risultati ottenuti è stata effettuata una proposta di ripermetrazione delle fasce di pericolosità idraulica vigenti (cfr. capitolo 2.1).

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

Occorre a questo proposito considerare come la normativa vigente dei piani di bacino regionali indichi che le aree inondabili sono determinate “nei tratti in cui le portate di massima piena, corrispondenti ai vari tempi di ritorno, non trovano più capienza certa nell’alveo, tenendo conto quindi della tolleranza con cui sono determinati i livelli idrici attraverso un adeguato franco”. Inoltre, negli indirizzi ex DGR 16/2007 è segnalata la necessità, in casi di carenza di franco, di analizzare le condizioni di pericolosità residua.

Si ritiene pertanto opportuno fare riferimento per il tracciamento delle fasce di inondabilità alle quantificazioni delle condizioni di pericolosità residua derivanti dall’involuppo degli scenari di simulazione “integrativi” eseguiti (capitolo 6). Tali analisi – introducendo variazioni dei parametri idraulici o della geometria delle opere di attraversamento – hanno restituito nuove o maggiori esondazioni per gli scenari di piena associati al tempo di ritorno di duecento anni (TR200) e cinquecento anni (TR500), mentre per cinquant’anni (TR50) continuano a non verificarsi esondazioni, se non minimali per lo scenario SIM1E.

La proposta di aggiornamento della perimetrazione di pericolosità idraulica per il torrente Bisagno che deriva dalle considerazioni di cui sopra è rappresentata nei due stralci planimetrici di Figura 98 e Figura 99, rispettivamente per il tratto di monte e il tratto di valle.

Per il tempo di ritorno cinquantennale (**TR50**) l’insieme delle simulazioni condotte mostra la sostanziale assenza di esondazioni, e quindi la capienza certa in alveo della relativa portata di piena. Nell’assetto indagato con scolmatore in esercizio pertanto sono assenti aree a pericolosità elevata (fascia A) riferibili agli eventi di piena del Bisagno (potranno permanere le aree ad oggi incluse nella perimetrazione del PdB, non oggetto del presente studio, riferite a esondazioni degli affluenti).

Per il tempo di ritorno duecentennale (**TR200**) con lo scolmatore attivo si riscontra una notevole riduzione dell’estensione della Fascia B rispetto alla perimetrazione vigente.

È opportuno notare come nello scenario “base” anche la piena duecentennale sia completamente contenuta in alveo; gli allagamenti che portano alla perimetrazione proposta sono dunque riferibili a specifiche criticità localizzate, ed in particolare a quanto rappresentato dagli scenari SIMC, SIMD e SIME che simulano la parziale ostruzione dei ponti maggiormente interferenti con il deflusso di piena (Campanella e Carrega) e l’effetto dovuto alla carenza di franco idraulico a monte della passerella Firpo.

Le portate fuoriuscite dall’alveo tendono poi a propagarsi lungo il tessuto urbano circostante, con assi di deflusso principali costituiti dalle viabilità asfaltate principali, fino all’esaurimento per graduale dispersione di volume nelle locali aree depresse o per rientro in alveo. Nella realtà l’effetto di dispersione del volume potrà essere più accentuato rispetto a quanto rappresentato dal modello, in presenza di maggiori irregolarità del terreno (di entità dell’ordine della decina di centimetri, non rappresentabili nel DTM alla base del modello) e dell’effetto di drenaggio della rete urbana, che potrebbe però -in concomitanza con l’evento- non essere in grado di ricevere portata. Per tale motivo il tracciamento delle fasce ha escluso alcuni ambiti che pure risulterebbero allagati ma con altezze d’acqua minime (5-10 cm, confrontabili con fenomeni di ruscellamento di afflussi meteorici diretti di tipo temporalesco), oppure per effetto di flussi residuali provenienti da monte.

Ne è un esempio l’esondazione più significativa tra quelle emerse dagli scenari di analisi, che avviene in corrispondenza del ponte Campanella in sponda destra e che si incanala lungo via Bobbio e via Canevari fino ad arrivare a valle della ferrovia. Il volume di esondazione in corrispondenza del ponte, in sponda destra, è pari a circa 36.000 m³ (portata massima pari a circa 4,5 m³/s) e rimane rilevante anche 1,2 km a valle, all’altezza del ponte Serra (circa 22.000 m³, portata massima pari a circa 2,1 m³/s) giustificando l’inclusione di tali aree in una perimetrazione di pericolosità moderata (fascia B).

Al contrario, le esondazioni che si verificano a monte del ponte Carrega, in sponda sinistra, tendono a disperdere più rapidamente il volume defluente (già in partenza di entità più ridotta) nella propagazione sull'asse del Lungo Bisagno d'Istria: all'altezza di ponte Bezzecca il volume è pari a circa il 7% di quello complessivo esondato, per cui si è valutato ragionevole escludere dalla perimetrazione di pericolosità le ulteriori aree di propagazione verso valle.

È importante evidenziare come le perimetrazioni di fascia B proposte, trattandosi come sopra esposto di effetti dovuti a esondazioni localizzate a monte di tre specifici attraversamenti, possano essere eliminate prevedendo interventi mirati e relativamente contenuti di adeguamento delle strutture o di ritenuta dei livelli di piena.

Per il tempo di ritorno cinquecentennale (**TR500**) le analisi di scenario effettuate mostrano nella configurazione con lo scolmatore attivo una riduzione dell'estensione della fascia C lungo il tratto a monte della ferrovia. Le aree a valle continuano ad essere il ricettore delle portate esondate a monte nelle zone più depresse e rimangono quindi confrontabili con le perimetrazioni definite dalla normativa vigente.

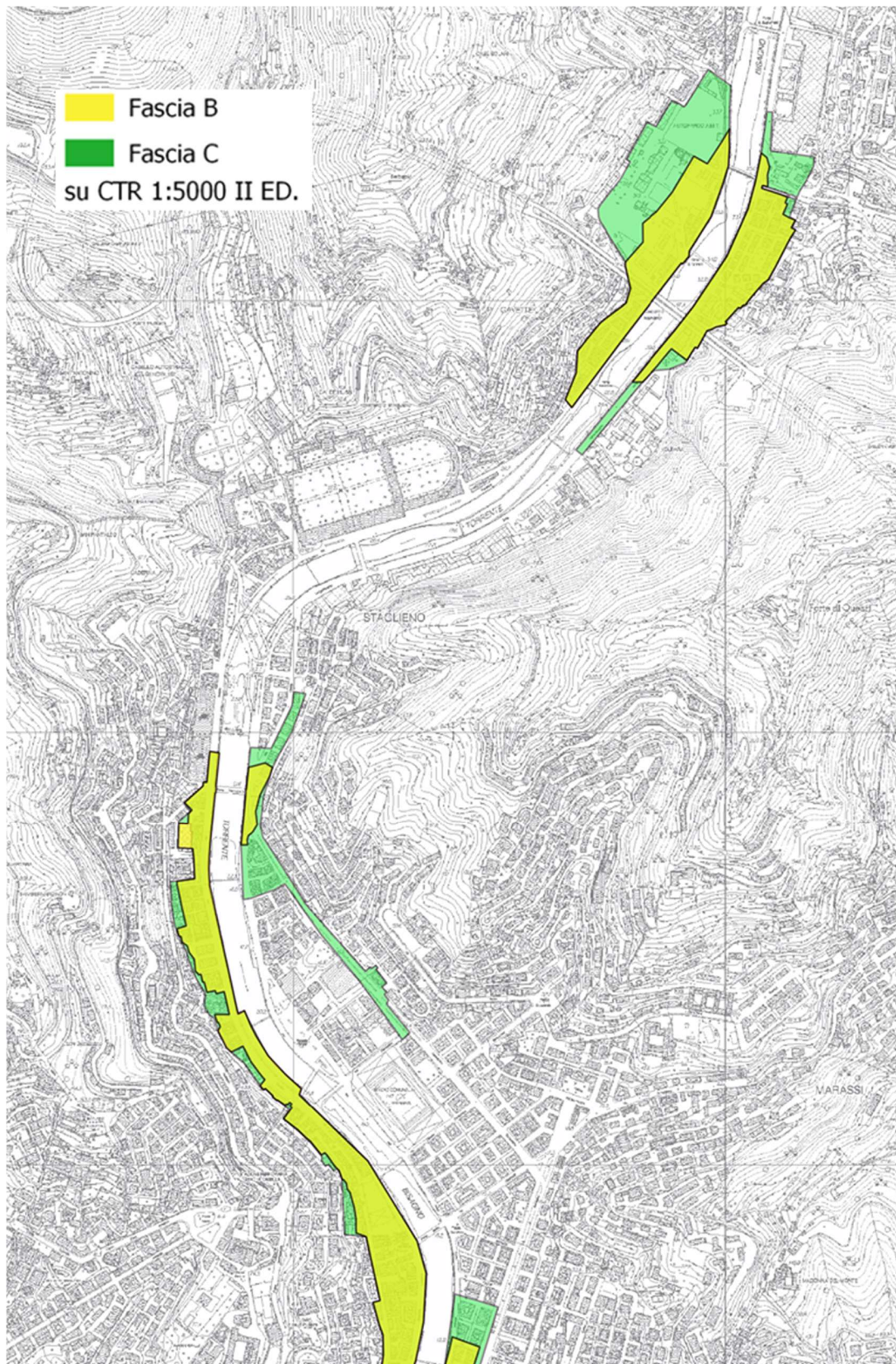


Figura 98 – Estensione delle nuove fasce B e C proposte per il torrente Bisagno, tratto di monte.

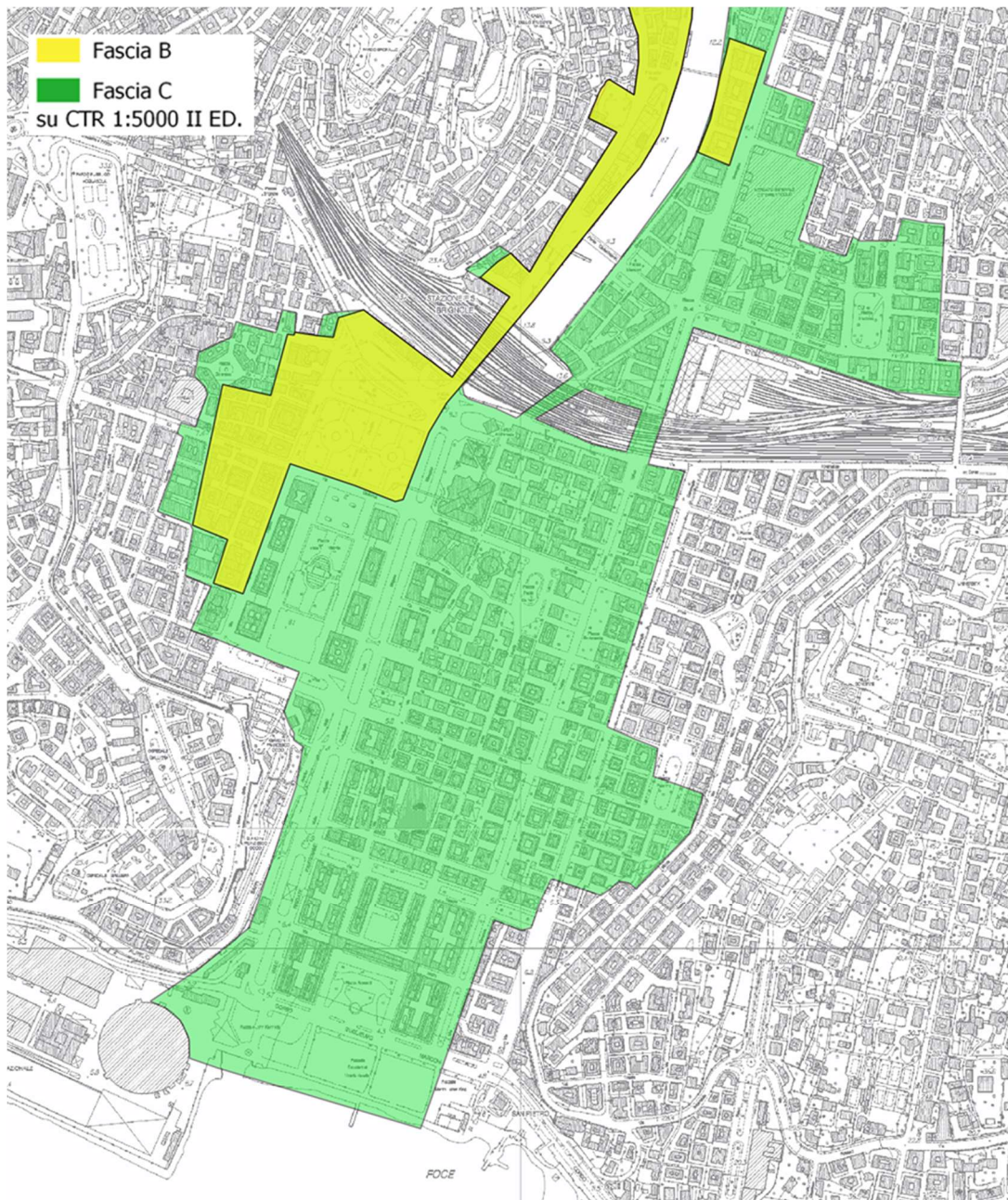


Figura 99 – Estensione delle nuove fasce B e C proposte per il torrente Bisagno, tratto di valle.

Per immediato riscontro delle variazioni introdotte rispetto alle perimetrazioni del vigente PdB, si riporta in Figura 100 e in Figura 101 una sovrapposizione di queste ultime con gli ambiti di pericolosità definiti dal presente studio.

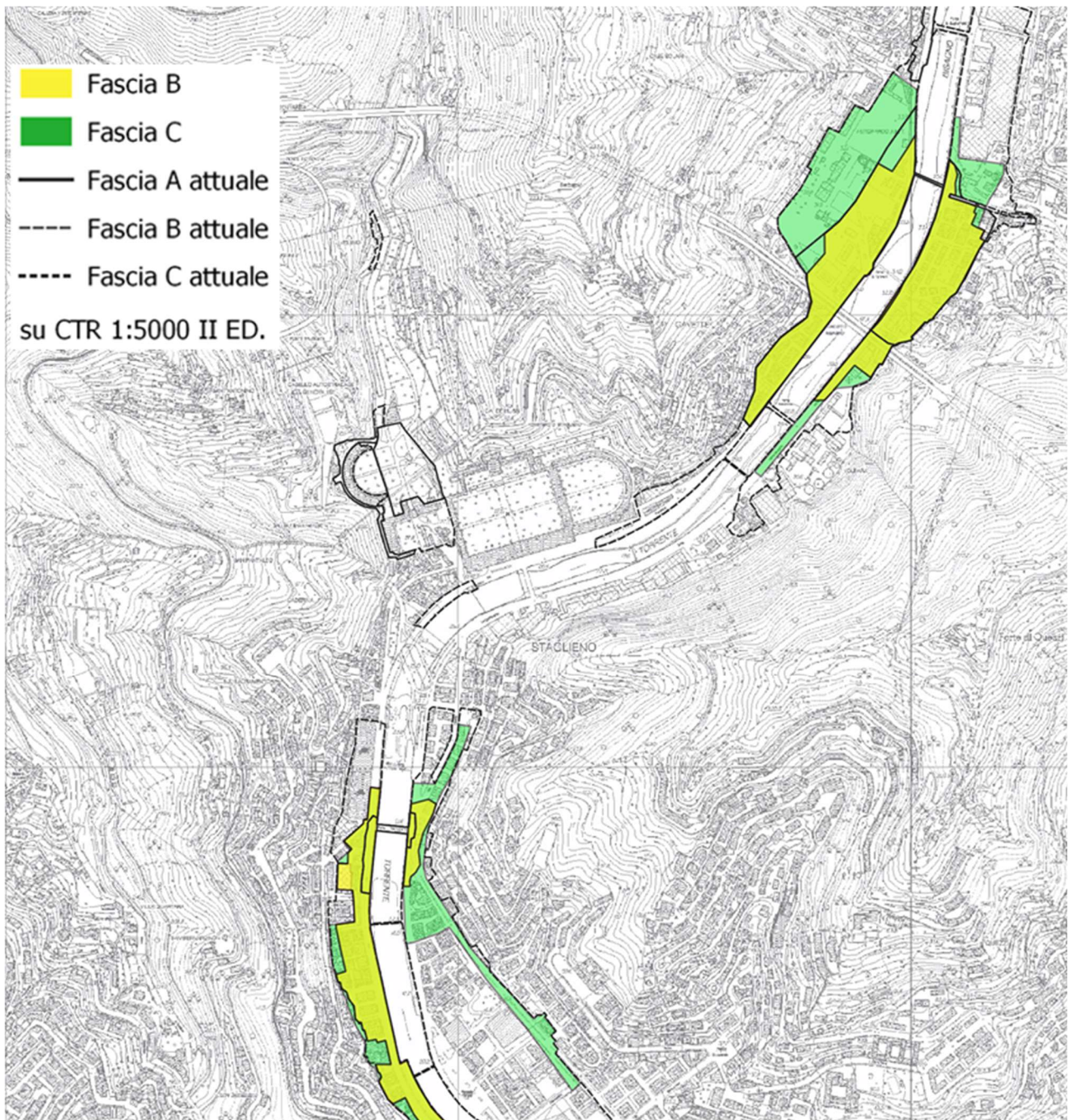


Figura 100 – Estensione delle nuove fasce B e C proposte per il torrente Bisagno a confronto con le attuali fasce del PAI: fascia A con linea nera continua, fascia B con linea nera tratteggiata e fascia C con linea nera puntinata, tratto monte.

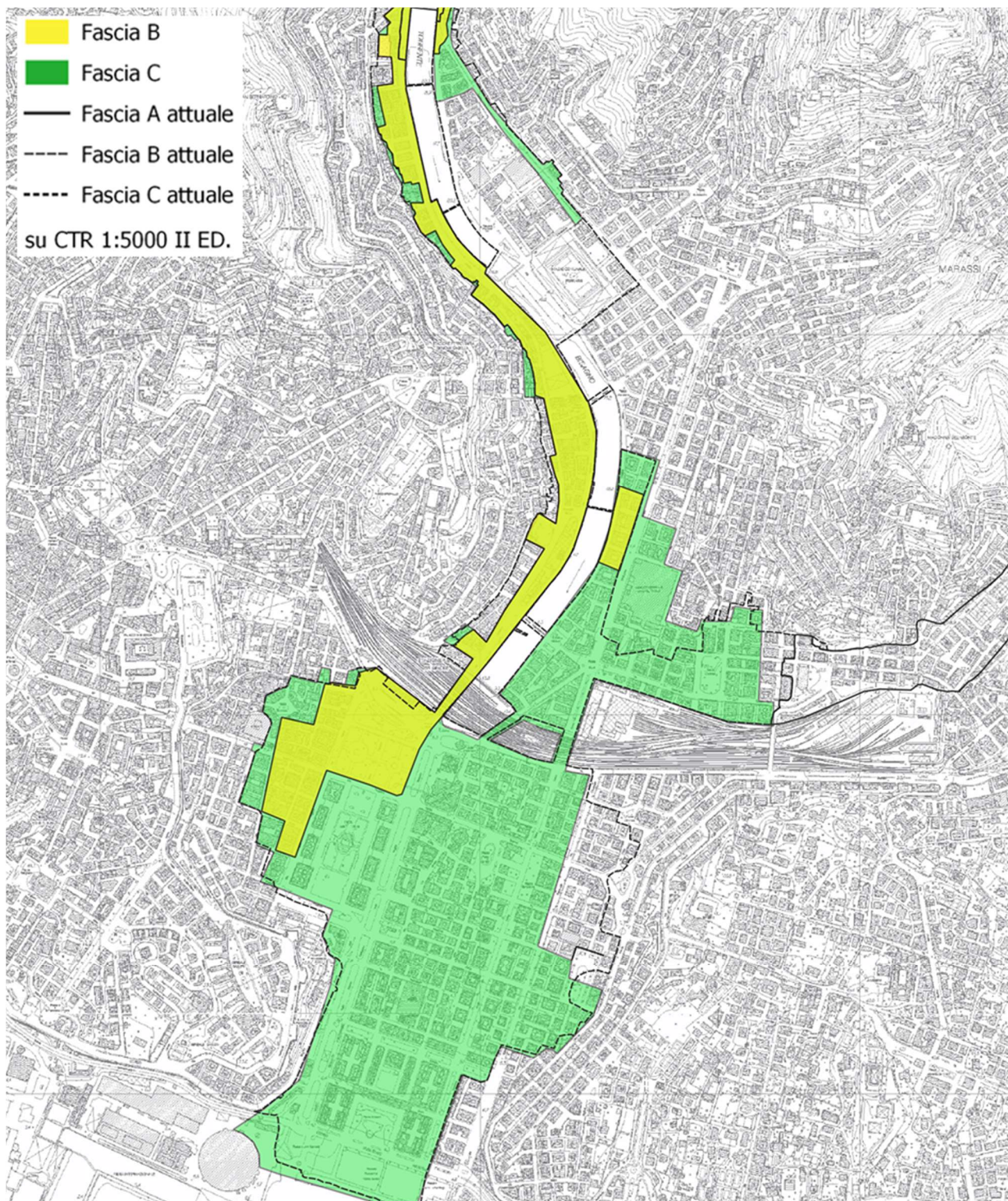


Figura 101 – Estensione delle nuove fasce B e C proposte per il torrente Bisagno a confronto con le attuali fasce del PAI: fascia A con linea nera continua, fascia B con linea nera tratteggiata e fascia C con linea nera puntinata, tratto valle.

7.2 Ambiti normativi di fascia B (ex DGR 91/2013)

Sono state 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 102.

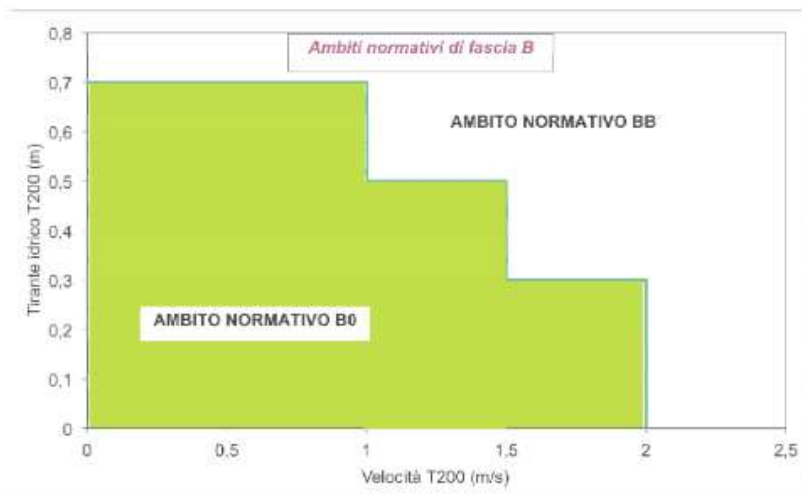


Figura 102 – Definizione degli ambiti BB e B0 di fascia B ai sensi della DGR 91/2013.

Gli ambiti “B0” e “BB” per il tratto di studio del torrente Bisagno sono rappresentati in Figura 103 (derivati dall’involuppo dei risultati degli scenari simulati).

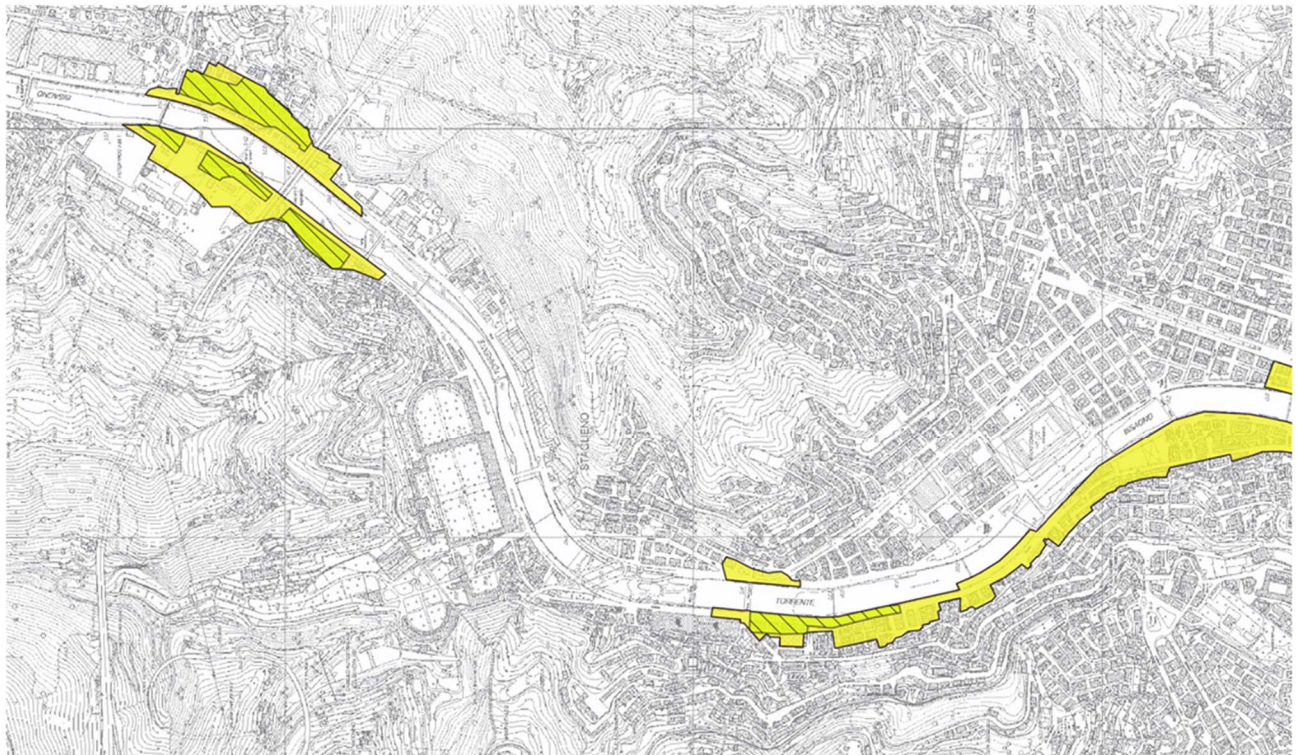
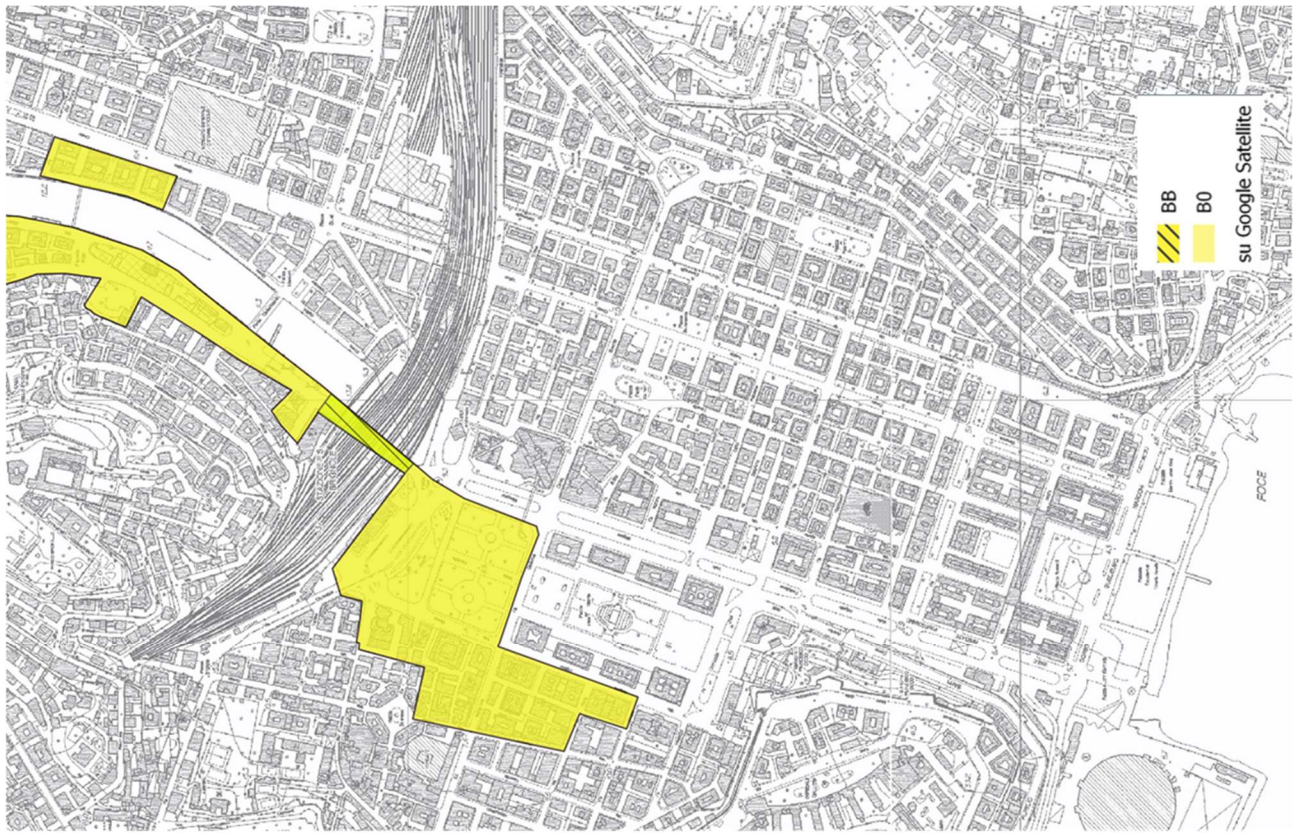


Figura 103 – Definizione degli ambiti BB e B0 di fascia B ai sensi della DGR 91/2013, tratto monte (sopra) e valle (sotto).

Le aree perimetrate in fascia B e ricadenti nell'ambito BB sono localizzate in prossimità dei punti di esondazione, in corrispondenza del ponte Carrega e del ponte Campanella, nelle aree caratterizzate da maggiori altezze idriche e velocità di flusso. È stato incluso nell'ambito BB anche il sottopasso carrabile di Via Canevari al di sotto della ferrovia, nel quale si incanala la portata esondata da monte con potenziale presenza di significative altezze d'acqua.

Nella mappatura si sono esclusi dall'ambito BB locali situazioni di combinazione di profondità e velocità che rientrerebbero nei criteri di Figura 102, ma la cui estensione risulta limitata, discontinua e spesso legata a locali aree depresse.

8. EFFETTI DELLO SCOLMATORE SULL'ASSETTO IDRAULICO DEL RIO SCIORBA

Il Piano di Bacino indica che le aree limitrofe al rio Sciorba, affluente di sinistra del Bisagno, sono spesso oggetto di allagamenti ed esondazioni dovute al frequente comportamento in pressione della tombinatura terminale. Tali fenomeni sono associati ad una frequente ostruzione della stessa, che non consente un corretto deflusso idraulico delle portate che da monte dovrebbero essere convogliate verso il torrente Bisagno.

Per far fronte a tali problematiche nel progetto esecutivo dello scolmatore del Bisagno è stata prevista la realizzazione di un manufatto di captazione anche delle ben più modeste portate di piena del rio Sciorba, vista la prossimità della galleria di accesso al camerone che congiunge la galleria di adduzione a quella principale verso mare. Tali portate, eventualmente unite a quelle derivate dall'alveo del Bisagno, saranno dunque veicolate direttamente a mare entro la galleria scolmatrice.

Come richiesto dal capitolato del presente incarico, è stata condotta una valutazione del beneficio in termini di riduzione delle aree inondabili sul rio Sciorba, di seguito descritta.

8.1 Consistenza dello stato attuale e di progetto

Il corso d'acqua oggetto di analisi è il rio Sciorba, affluente in sinistra del Bisagno nel tratto compreso tra la passerella di via Spalato e il ponte Feritore.

Secondo quanto riportato nel Piano di Bacino, il rio ha uno sviluppo totale di circa 560 m ed è tombato nel tratto terminale, sviluppandosi al di sotto di fabbricati a uso commerciale fino allo sbocco nel torrente Bisagno.

La tombinatura, per gran parte non ispezionabile, ha uno sviluppo totale di circa 290 m e una geometria rettangolare di dimensione variabile: 2,0 m x 2,0 m per i primi 120 m e 1,3 m x 1,4 m fino allo sbocco nel Bisagno.

Poco a monte della tombinatura l'alveo è piuttosto inciso (Figura 105), come osservabile dallo stralcio di rilievo rappresentato in Figura 104, eseguito nel 2017 nell'ambito del già citato progetto esecutivo dello scolmatore. La sommità delle scarpate laterali è superiore di 5-6 m rispetto al fondo alveo, per cui anche in caso di notevoli fenomeni di rigurgito non ci si attendono esondazioni laterali, fatta salva l'officiosità della sezione di deflusso della tombinatura.

Per prevenire ostruzioni di quest'ultima, in corrispondenza di una passerella pedonale posta poco più a monte è stata realizzata una piccola briglia selettiva (Figura 106).

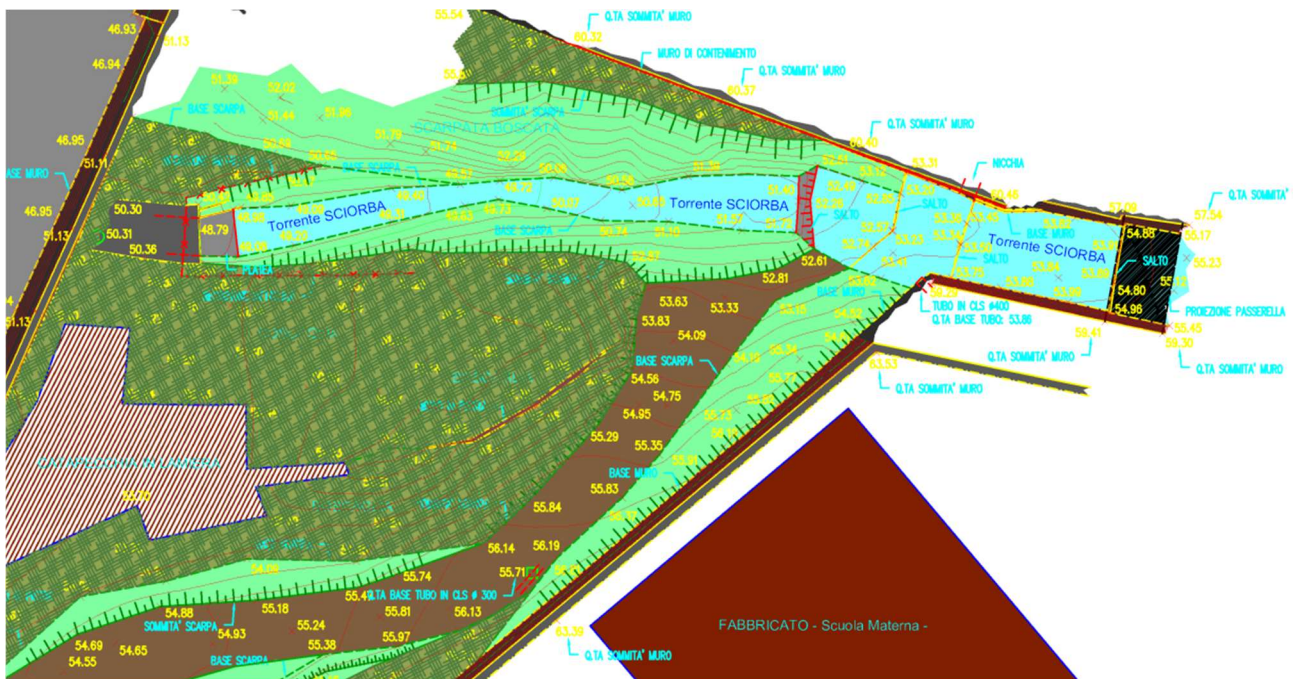


Figura 104 – Stralcio planimetrico del rilievo celerimetrico del rio Sciorba a monte dell'imbocco della tominatura (2017).



Figura 105 – Sezione del rio Sciorba poco a monte dell'imbocco della tominatura, a valle della passerella pedonale.



Figura 106 – Briglia selettiva sul rio Sciorba a monte della tombinatura (sx); imbocco della tombinatura (dx).

Il bacino contribuyente alla sezione di imbocco della tombinatura ha un'estensione di circa 0,11 km² e la sua rappresentazione planimetrica è riportata in Figura 107.

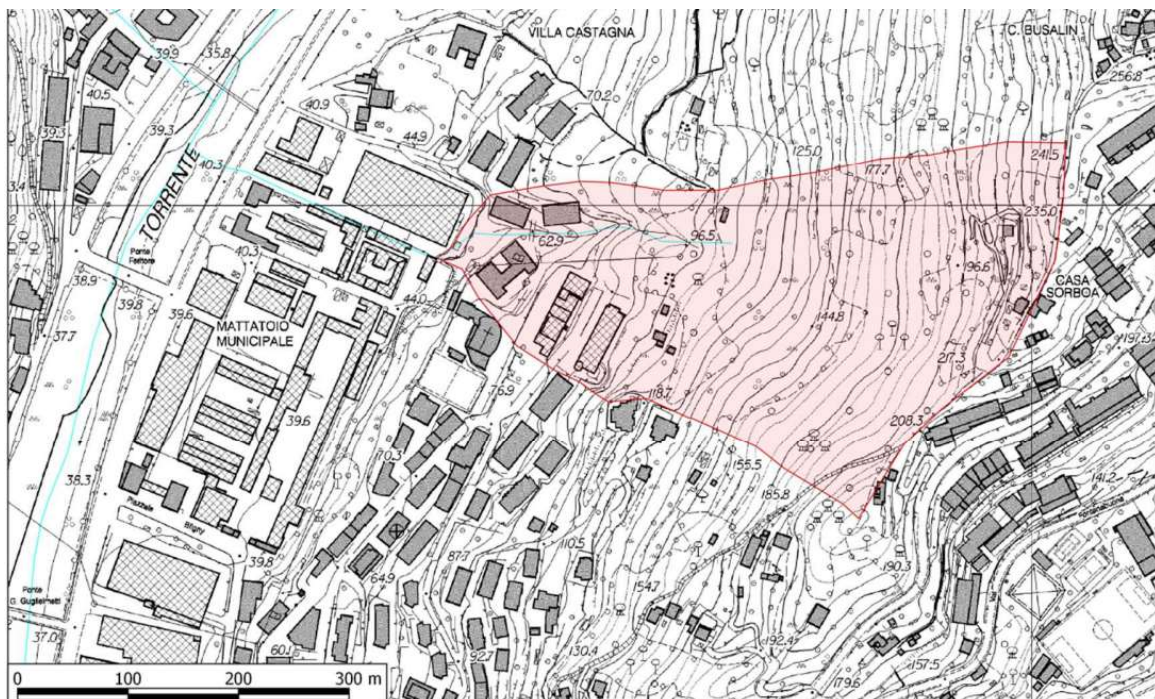


Figura 107 - Identificazione planimetrica del rio Sciorba e del suo bacino contribuyente all'imbocco della tombinatura.

Nell'ambito del progetto esecutivo dello scolmatore, come già anticipato (capitolo 2.3) è stata realizzata anche un'opera di derivazione delle portate di piena dello Sciorba, in modo da mitigare le condizioni di rischio idraulico attuali dovuti all'inadeguatezza idraulica della tombinatura.

In particolare la portata di piena del rio Sciorba sarà captata, per convogliarla entro lo scolmatore tramite la galleria di servizio, mediante una vasca di presa imboccata a quota 52,25 m s.m. con un salto di fondo di circa 1 m (fondo vasca a quota 51,20 m s.m.).

All'estremità opposta, sul fondo, una tubazione $\Phi 400$ consentirà il deflusso verso valle delle portate più modeste (entro la tombinatura attuale). Al crescere della portata in ingresso (evento di piena), la portata non sarà più smaltita da tale tubazione e si genererà un effetto di rigurgito verso monte, con innalzamento dei livelli e attivazione di uno sfioro laterale di lunghezza pari a 5 m e soglia posta a +0,4 m rispetto al fondo vasca (quota di sfioro 51,60 m s.m.). Tale sfioro alimenterà un pozzettone con salto di fondo pari a circa 1 m, dal quale, dopo un breve tratto di raccordo a pendenza pari a 1%, avrà origine un canale tombato di adduzione con dimensioni 2,0 m x 2,5 m e pendenza pari a 0,5%. La quota di imbocco del canale è posta a 50,50 m s.m.

Il canale si svilupperà, con alcune modifiche di direzione e sezione rese necessarie dai vincoli dati da strutture esistenti e cantiere, fino a raggiungere l'impronta della galleria di accesso al camerone sotterraneo di congiunzione tra la galleria di adduzione proveniente dall'opera di presa dello scolmatore e la galleria principale che veicola a mare le portate derivate. Tramite un pozzetto verticale il canale di derivazione del rio Sciorba recapiterà la portata in galleria.

Si riporta di seguito (Figura 108, Figura 109) uno schema planimetrico degli interventi descritti.

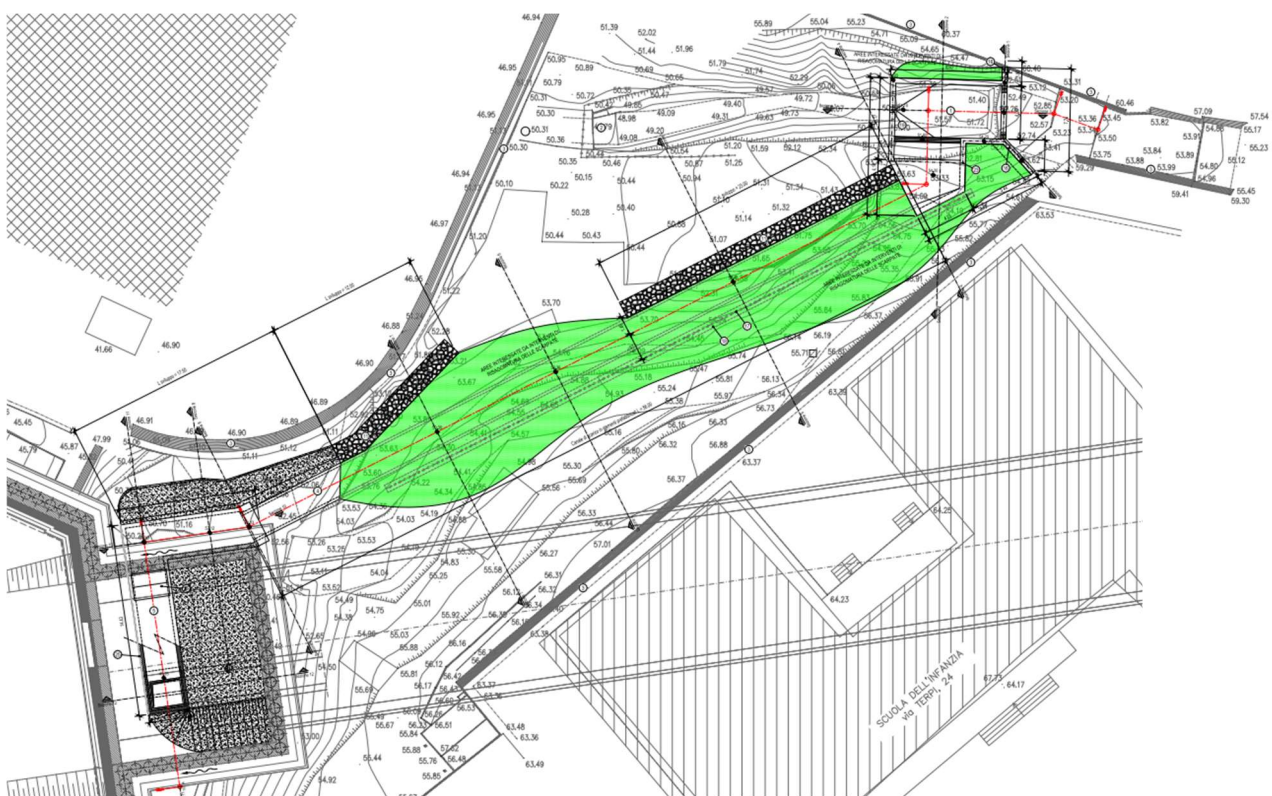


Figura 108 - Schema planimetrico degli interventi in progetto sul rio Sciorba.

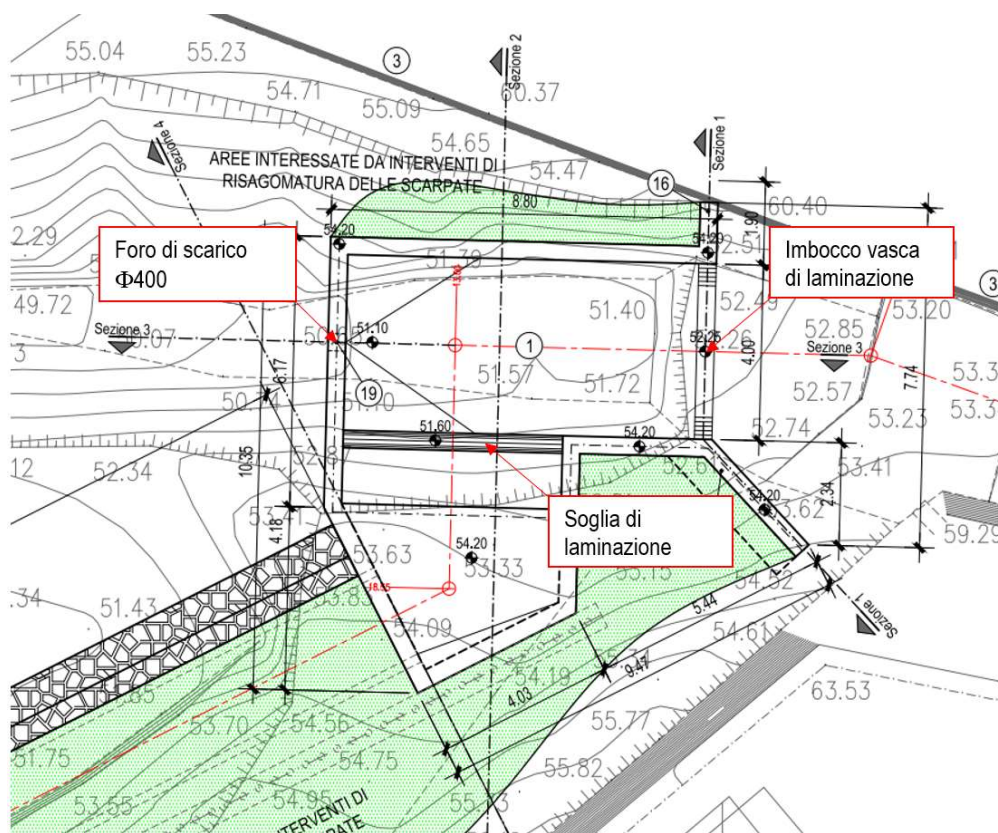


Figura 109 - Schema planimetrico degli interventi in progetto sul rio Sciorba – dettaglio dell'opera di presa.

8.2 Assetto idraulico attuale

La portata defluente nel rio con tempo di ritorno 200 anni è stata definita nel Piano di Bacino stralcio del torrente Bisagno, facendo riferimento ad un'area contribuyente quasi doppia (0,20 km²) rispetto a quella effettiva poiché si è assunto il contributo dell'intera area interclusa tra i bacini dei corpi idrici limitrofi al rio Sciorba. Tale valore è risultato pari a **8,50 m³/s**.

Secondo quanto riportato nella documentazione allegata al Piano di Bacino, il deflusso della portata duecentennale (8,50 m³/s) è causa di moto in pressione nell'intero tratto tombato del rio Sciorba, ma non si verificano allagamenti del piano campagna o delle aree limitrofe, come già osservato in relazione alla morfologia locale (tali risultati derivano da analisi modellistica condotta in assenza di ostruzioni in condotta).

Negli allegati tecnici del Piano di Bacino sono forniti i risultati di una simulazione (eseguita con il codice di calcolo HEC-RAS) rappresentativa dell'assetto idraulico di stato attuale. In Figura 110 si riporta il relativo profilo idrico di piena in moto permanente, riferito a eventi con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Si osserva come per gli eventi TR50 e TR200 la tombatura risulti in pressione per porzioni significative, ma senza che questa modalità di deflusso venga a interessare l'imbocco: il moto avviene in condizioni di corrente veloce e si verifica un risalto all'interno del tratto tombato, condizione che potrebbe risultare deleteria per lo stato

di conservazione dei manufatti (che si sviluppano al di sotto di fabbricati che ospitano attività commerciali). Per l'evento TR500 l'intera tombinatura risulta in pressione, con effetto di risalto nell'alveo a monte.

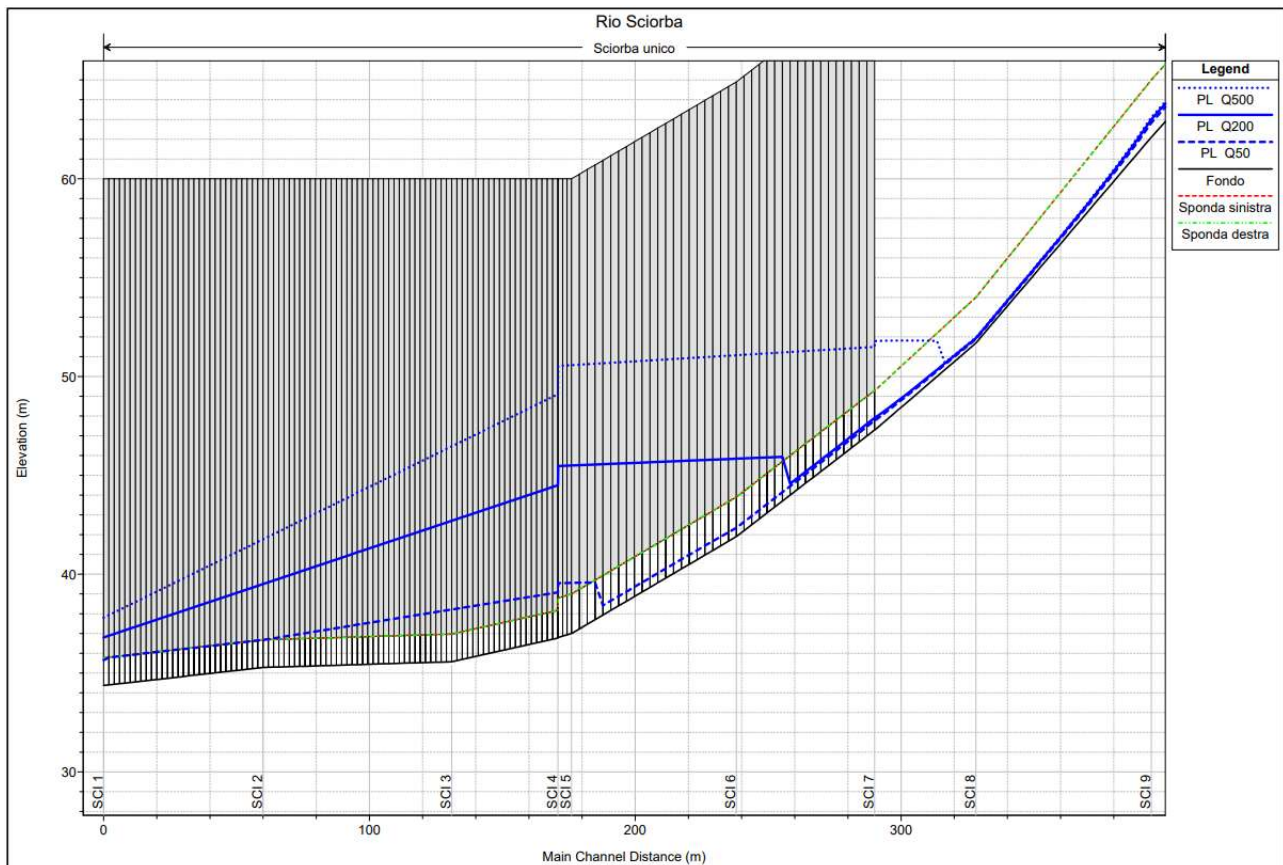


Figura 110 - Profilo di modello monodimensionale del rio Sciorba da Piano di Bacino.

8.3 Assetto idraulico di progetto

8.3.1 Allestimento del modello

Le analisi idrauliche per la caratterizzazione dell'idrodinamica di piena nel rio in esame, nell'assetto di progetto, sono state condotte mediante la messa a punto e applicazione di un modello numerico monodimensionale di moto permanente.

Per la definizione delle geometrie nel tratto a cielo aperto si è fatto riferimento al rilievo eseguito in sito nell'anno 2017 (Figura 104) e alla documentazione di progetto dei manufatti di scolo (Figura 108), confrontando le quote altimetriche con quanto riportato nei profili idraulici di piena presentati nei documenti allegati al Piano di Bacino.

Per il tratto interno alla tombinatura si è fatto riferimento alle sezioni fornite dal Piano di Bacino. Si precisa che dal confronto delle due geometrie, rilievo e modello pregresso, si è riscontrata una differenza altimetrica

abbastanza omogenea sulle quote, indice di un diverso riferimento assoluto; pertanto, le sezioni trasversali di calcolo del modello monodimensionale riportate nel PdB sono state rigidamente traslate di +2,0 m.

Il modello monodimensionale complessivo schematizzato con il codice MIKE11 HD (modulo idrodinamico) è costituito da 14 sezioni trasversali, che rappresentano la geometria del rio a partire dallo sbocco del $\phi 400$ proveniente dalla vasca di laminazione fino allo sbocco in Bisagno. Non è in questa sede di interesse rappresentare l'alveo a monte (non influenzato dalle nuove opere in virtù delle caratteristiche di corrente veloce che interessano il tratto) né il deflusso all'interno del canale scolmatore (per il quale si rimanda al relativo progetto esecutivo), bensì solo gli effetti prodotti a valle dell'opera di derivazione delle portate di piena.

Il modello di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, necessita della definizione delle condizioni al contorno idrodinamiche e del parametro di scabrezza.

In accordo con quanto riportato nel Piano di Bacino, si è assunto un coefficiente di scabrezza per la tombinatura pari $k_s = 45 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (secondo la formulazione di Strickler) e $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ in alveo.

Lo scenario indagato è quello associabile a un tempo di ritorno di 200 anni, rappresentativo dell'effetto ottenibile per tutte le portate di piena: la portata defluibile all'interno della tubazione $\Phi 400$, pur in condizioni di deflusso in pressione, sarà certamente idonea a defluire con adeguato franco entro la tombinatura di maggiori dimensioni (minime 1,3 m x 1,4 m).

Per la valutazione delle condizioni di esercizio del nodo di presa si è fatto riferimento ai dimensionamenti idraulici prodotti nel Progetto Esecutivo, dove si è ottenuto che per la portata duecentennale (8,50 m^3/s) si genera un livello a monte della soglia di sfioro pari a 0,99 m che consente la derivazione della porzione predominante della portata di piena in ingresso.

Tale livello in vasca costituisce carico idraulico di monte per il collettore in uscita $\phi 400$; mediante semplice valutazione con la formula del deflusso da luce sotto battente si è ottenuto quanto segue:

$$Q = \mu S \sqrt{2gh}$$

in cui:

μ (-): coefficiente di contrazione, assunto pari a 0,61;

S (m^2): area della luce sottobattente, pari a 0,126 m^2 ;

g (m/s^2): accelerazione di gravità, pari a 9,81 m/s^2 ;

h (m): distanza tra il baricentro della luce e il pelo libero, pari a 0,79 m.

La portata in uscita verso la tombinatura risulta pari a circa **0,30 m^3/s** .

8.3.2 Analisi idraulica e scenari di verifica dello stato di progetto

Per una più completa analisi del comportamento idraulico del rio Sciorba, si è scelto di simulare due scenari alternativi che differiscono per quanto segue:

- Scenario 1: input di portata a monte costante ($Q = 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$) e condizione al contorno di valle definita da una scala di deflusso di moto uniforme (recapito libero nel Bisagno);
- Scenario 2: input di portata a monte costante ($Q = 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$) e condizione al contorno di valle definita dal livello di piena duecentennale nel torrente Bisagno ($H = 37,4 \text{ m s.m.}$).

I risultati delle simulazioni effettuate con il modello monodimensionale sono illustrati nel seguito mediante l'ausilio di tabelle riepilogative e profili longitudinali di involucro dei massimi tiranti idrici.

I valori numerici riportati nelle tabelle riepilogative sono i seguenti:

- ID Sez. = identificativo della sezione di calcolo;
- Progr. = progressiva metrica lungo l'asta (m);
- Q = portata massima (m³/s);
- 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).

8.3.2.1 Risultati Scenario 1

Nella Tabella 22 sono elencati i principali parametri idrodinamici del rio Sciorba per il primo scenario di simulazione.

ID Sezione	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	Q (m ³ /s)	P.L. (m s.m.)	h (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)
Sez.1	204,00	49,29	0,3	49,45	0,16	0,95	0,76	49,50
Sez.2	204,10	49,29	0,3	49,31	0,02	1,50	1,46	49,43
Sez.3	230,10	46,60	0,3	46,62	0,02	1,50	1,46	46,74
Sez.4	256,10	43,90	0,3	43,92	0,02	1,50	1,46	44,04
Sez.5	285,62	41,57	0,3	41,59	0,02	1,50	1,46	41,70
Sez.6	318,09	39,00	0,3	39,13	0,13	1,20	1,09	39,20
Sez.7	323,10	38,80	0,3	39,07	0,27	0,55	0,34	39,09
Sez.8	323,20	38,77	0,3	38,90	0,13	1,82	1,63	39,07
Sez.9	339,20	38,29	0,3	38,42	0,13	1,74	1,53	38,58
Sez.10	363,20	37,57	0,3	37,81	0,24	0,95	0,61	37,86
Sez.11	398,66	37,42	0,3	37,65	0,23	1,02	0,69	37,70
Sez.12	434,12	37,28	0,3	37,44	0,16	1,43	1,13	37,55
Sez.13	464,12	36,82	0,3	36,98	0,16	1,46	1,17	37,09
Sez.14	494,12	36,37	0,3	36,46	0,09	2,31	2,32	36,73

Tabella 22 - Riepilogo dei risultati per lo scenario 1 (sbocco libero nel Bisagno).

Dall'analisi dei risultati si evince che la portata simulata, associata ad un tempo di ritorno duecentennale, transita nella tombinatura in condizioni di moto a pelo libero per l'intero tratto in esame e fino allo sbocco nel torrente Bisagno con un grado di riempimento medio dell'ordine dell'8% (massimo riempimento 17%). I numeri di Froude sono generalmente superiori all'unità per cui il deflusso è mediamente in corrente veloce, a meno di modesti effetti presso i cambi di livelletta.

In Figura 111 si riporta il profilo di moto permanente estratto dal modello di calcolo.

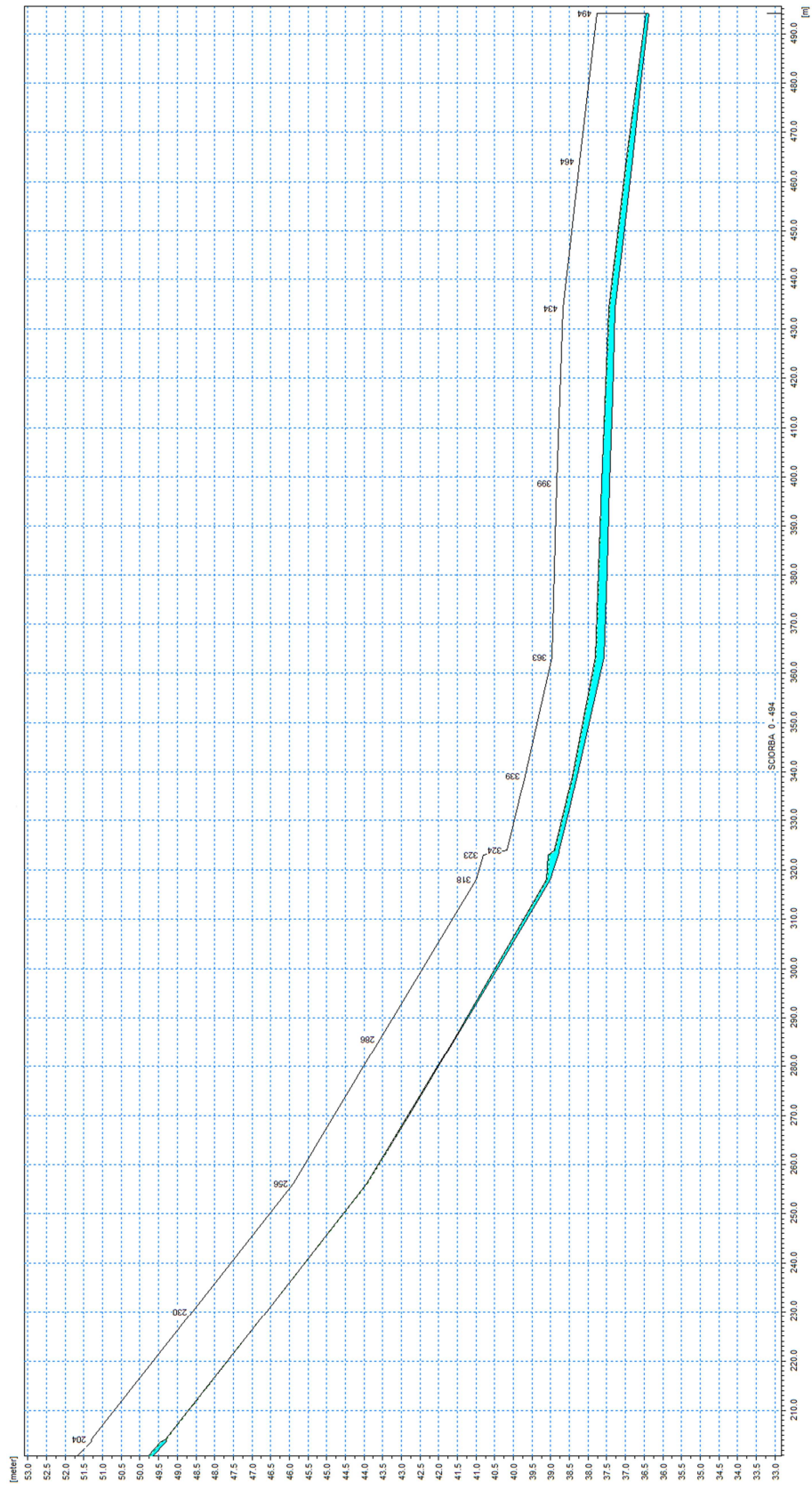


Figura 111 - Profilo di moto permanente per lo scenario 1 (sbocco libero nel Bisagno).

8.3.2.2 Risultati Scenario 2

Nella Tabella 23 sono elencati i risultati ottenuti dalla modellazione del secondo scenario di riferimento (sbocco nel Bisagno rigurgitato dai livelli di piena di quest'ultimo, considerando ovvero un'improbabile concomitanza tra i due eventi di piena).

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.)
Sez.1	204,00	49,29	0,3	49,45	0,16	0,95	0,76	49,50
Sez.2	204,10	49,29	0,3	49,31	0,02	1,50	1,46	49,43
Sez.3	230,10	46,60	0,3	46,62	0,02	1,50	1,46	46,74
Sez.4	256,10	43,90	0,3	43,92	0,02	1,50	1,46	44,04
Sez.5	285,62	41,57	0,3	41,59	0,02	1,50	1,46	41,70
Sez.6	318,09	39,00	0,3	39,13	0,13	1,20	1,09	39,20
Sez.7	323,10	38,80	0,3	39,07	0,27	0,55	0,34	39,09
Sez.8	323,20	38,77	0,3	38,90	0,13	1,82	1,63	39,08
Sez.9	339,20	38,29	0,3	38,42	0,13	1,79	1,59	38,60
Sez.10	363,20	37,57	0,3	37,82	0,24	0,94	0,61	37,86
Sez.11	398,66	37,42	0,3	37,66	0,24	0,95	0,61	37,71
Sez.12	434,12	37,28	0,3	37,50	0,22	1,07	0,73	37,55
Sez.13	464,12	36,82	0,3	37,40	0,58	0,40	0,17	37,41
Sez.14	494,12	36,37	0,3	37,40	1,03	0,22	0,07	37,40

Tabella 23 - Riepilogo dei risultati per lo scenario 2 (sbocco rigurgitato dalla piena del Bisagno).

Dai risultati del secondo scenario di simulazione, analogamente al primo, si evince una condizione di moto a pelo libero per l'intero tratto simulato.

La condizione al contorno di valle imposta – livello nel torrente Bisagno pari a 37,4 m s.m. – influisce sui livelli in condotta causandone l'incremento; in particolare il riempimento medio è pari a circa il 15% e lo riempimento massimo (sezione di valle, rigurgitata) è pari al 74%.

Inoltre, per effetto del rigurgito del livello imposto nel Bisagno, si riscontra una riduzione delle velocità calcolate nelle sezioni prossime allo sbocco ed una conseguente riduzione dei numeri di Froude.

In Figura 112 si riporta il profilo longitudinale del rio Sciorba estratto dalla simulazione del secondo scenario.

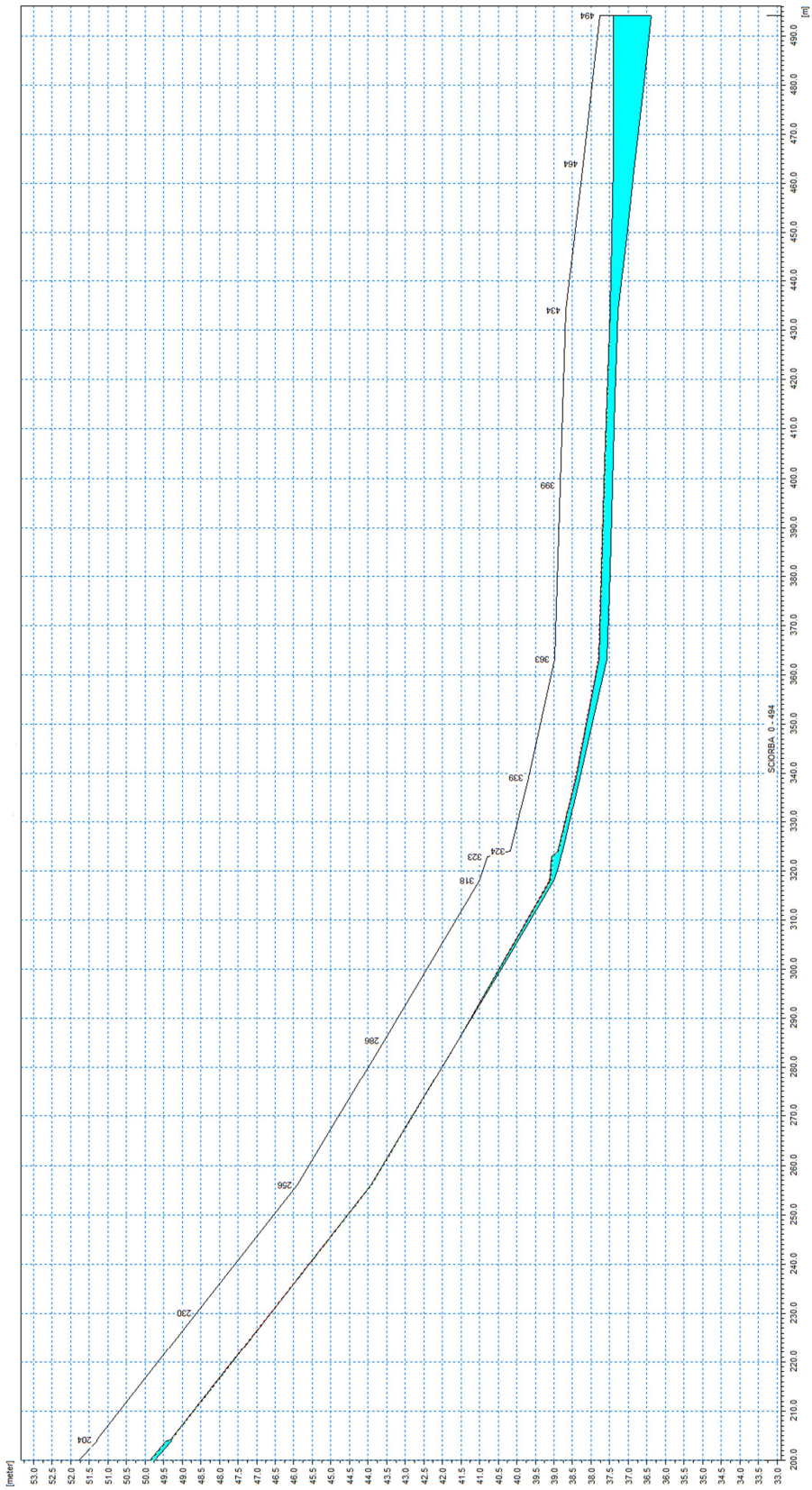


Figura 112 - Profilo di moto permanente per lo scenario 2 (sbocco rigurgitato dalla piena del Bisagno).

8.4 Considerazioni conclusive

La realizzazione del manufatto scolmatore produce come atteso una rilevante mitigazione del rischio idraulico per il rio Sciorba, permettendo il deflusso a valle (verso la tombinatura) solo di una portata modesta, di alcune centinaia di l/s (circa il 3,5% della portata di piena duecentennale), che certamente potrà defluire senza particolari difficoltà nella tombinatura, di maggiori dimensioni rispetto alla luce di deflusso in uscita dalla vasca.

Rispetto alle condizioni attuali di deflusso in pressione, con fenomeni di risalto nel tratto tombato, il grado di riempimento massimo futuro risulterà dell'ordine del 20%, con significativo margine di sicurezza.

Nel caso estremo di contemporaneità degli eventi di piena duecentennali di Sciorba e Bisagno, il rigurgito dato dai livelli di piena di quest'ultimo si propaga a monte per circa 131 m, ma con effetto significativo solo per i primi 50 m circa; esso non è comunque tale da produrre un deflusso in pressione (grado di riempimento massimo allo sbocco di circa il 75%).

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 vaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'vaso (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 sovraccitati 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:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

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

nelle quali:

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

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 – Dettaglio dei risultati per gli scenari di simulazione integrativi

ALLEGATO 4 – Sezioni trasversali inserite nel modello idraulico, con indicato il livello massimo di piena dell'evento con tempo di ritorno di 200 anni per lo scenario SIM_2.

