



Presidenza del Consiglio dei Ministri
COMMISSARIO DI GOVERNO
PER IL CONTRASTO DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO NELLA REGIONE LIGURIA
 (ex art. 10 d.l. 91/2014 e art. 36-ter d.l. 77/2021)

TORRENTE BISAGNO IN COMUNE DI GENOVA



Studio idraulico relativo all'aggiornamento delle fasce di inondabilità a seguito della realizzazione del canale scolmatore delle piene

Relazione illustrativa

3746 - 0 1 - 0 0 1 0 0 . DOC LD 1



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

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

| | | | | | | | | | |
|------|---------|-----------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | | | | | |
| 00 | MAR. 22 | R. LUCHI | L. DUTTO | L. DUTTO | L. DUTTO | L. DUTTO | L. DUTTO | L. DUTTO | L. DUTTO |
| REV. | DATA | REDAZIONE | VERIFICA | AUTORIZZAZIONE | MODIFICHE | MODIFICHE | MODIFICHE | MODIFICHE | MODIFICHE |

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | PREMESSA | 3 |
| 2. | ANALISI CRITICA DELLO STATO ATTUALE DEI LUOGHI | 4 |
| 2.1 | Stato di rischio da pianificazione idraulica vigente | 4 |
| 2.2 | Assetto attuale del corso d'acqua | 7 |
| 2.3 | Lo scolmatore delle piene in fase di realizzazione | 22 |
| 3. | CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA | 24 |
| 4. | APPROCCIO METODOLOGICO | 25 |
| 5. | ANALISI DELL'EFFETTO DELLO SCOLMATORE SULL'ASSETTO IDRAULICO DEL BISAGNO | 28 |
| 6. | ANALISI DI SENSITIVITÀ DEI RISULTATI – SCENARI INTEGRATIVI | 33 |
| 6.1 | Variazione del parametro di scabrezza (SIMB) | 35 |
| 6.2 | Ostruzione parziale degli attraversamenti (SIMC e SIMD) | 37 |
| 6.2.1 | SIMC: ponte Campanella | 38 |
| 6.2.2 | SIMD: ponte Carrega | 41 |
| 6.3 | Annullamento del franco idraulico (SIME) | 44 |
| 6.4 | Commenti di sintesi ai risultati degli scenari di simulazione integrativi | 46 |
| 7. | PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE DELLE AREE DI PERICOLOSITÀ | 47 |
| 8. | EFFETTI DELLO SCOLMATORE SULL'ASSETTO IDRAULICO DEL RIO SCIORBA | 53 |
| 8.1 | Consistenza dello stato attuale e di progetto | 53 |
| 8.2 | Analisi dell'assetto idraulico | 56 |

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.

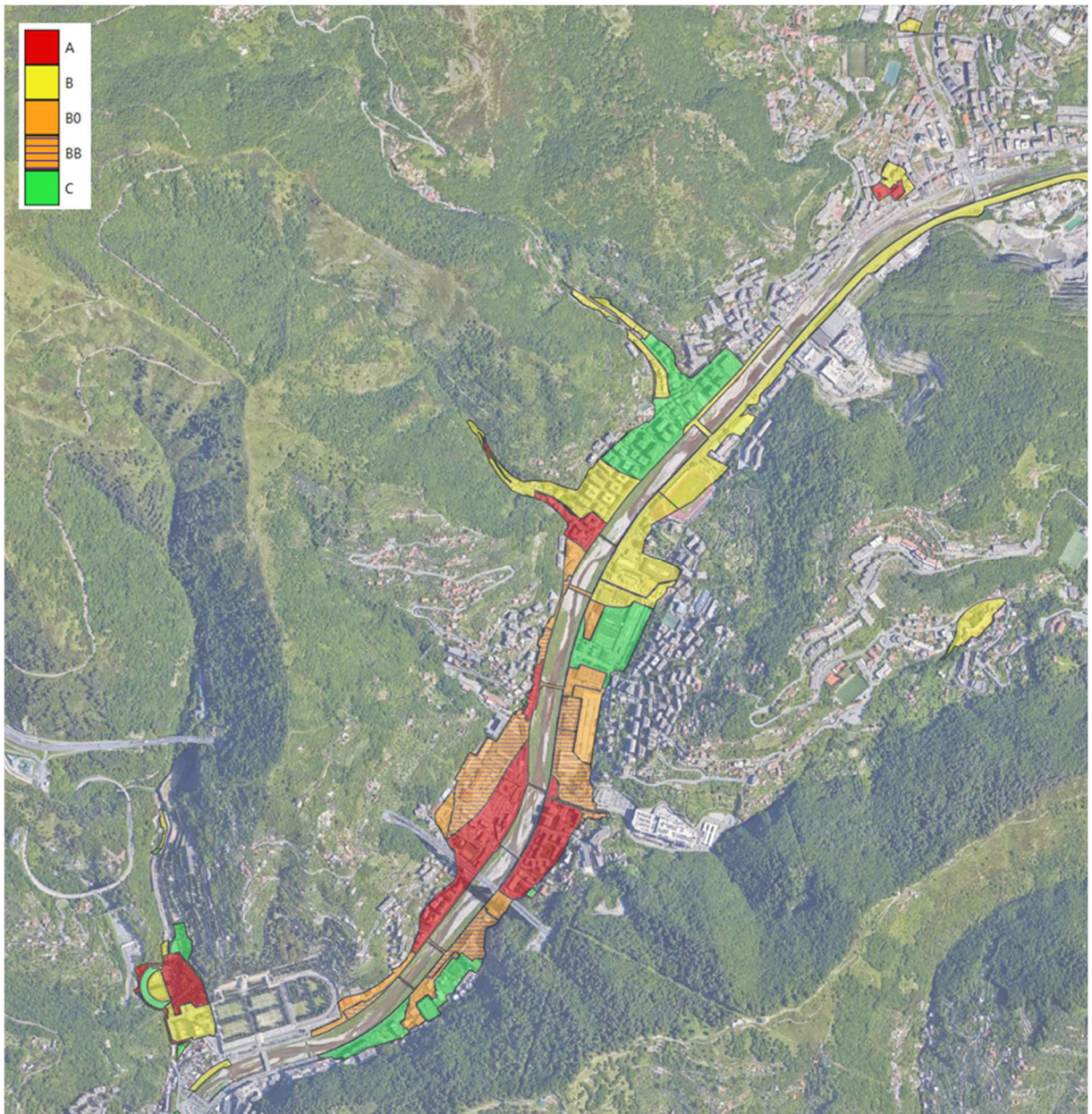


Figura 1 – Fasce fluviali per il torrente Bisagno definite dal vigente Piano di Bacino, settore di monte.

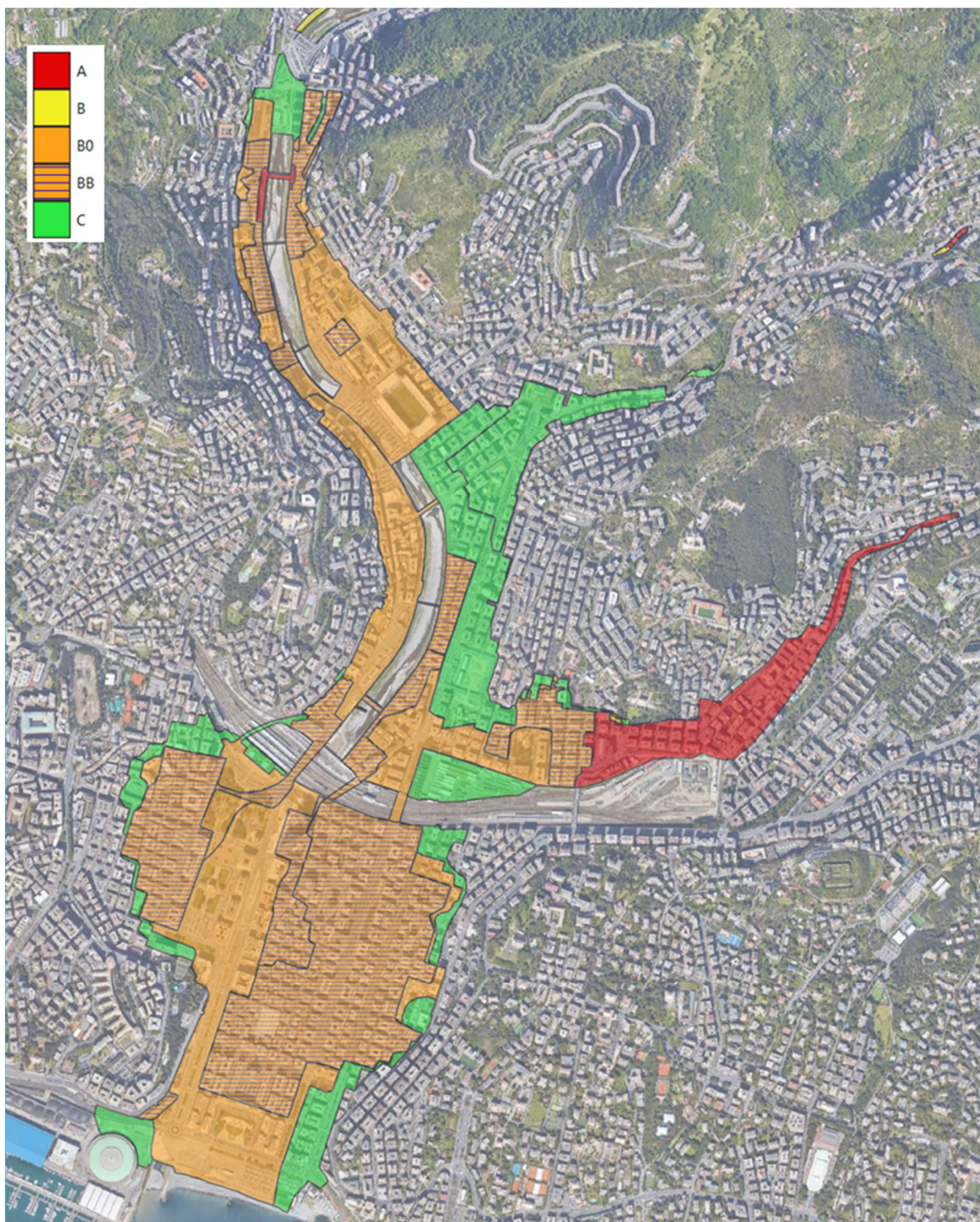


Figura 2 – Fasce fluviali per il torrente Bisagno definite dal vigente Piano di Bacino, tratto di valle.

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.

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).

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).



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.

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.

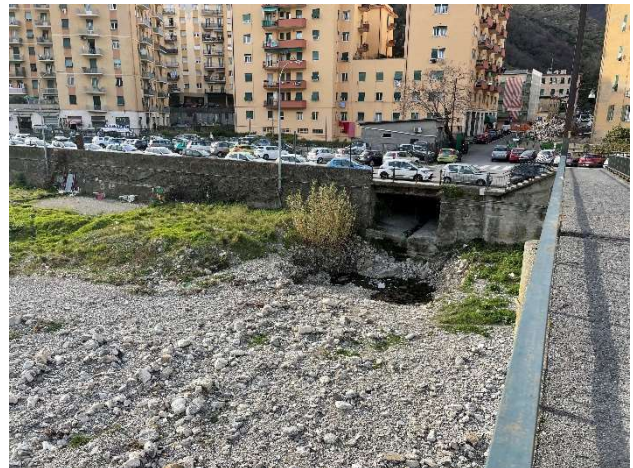


Figura 7 – Sx: sponda sinistra a valle della passerella di via Spalato (ponte Feritore sullo sfondo). Dx: vista della sponda destra dalla passerella di via Spalato; confluenza del rio Cicala.

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.

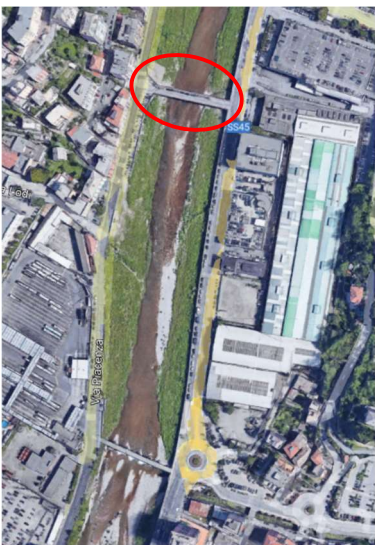


Figura 9 – Ponte Guglielmetti visto da monte.

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.

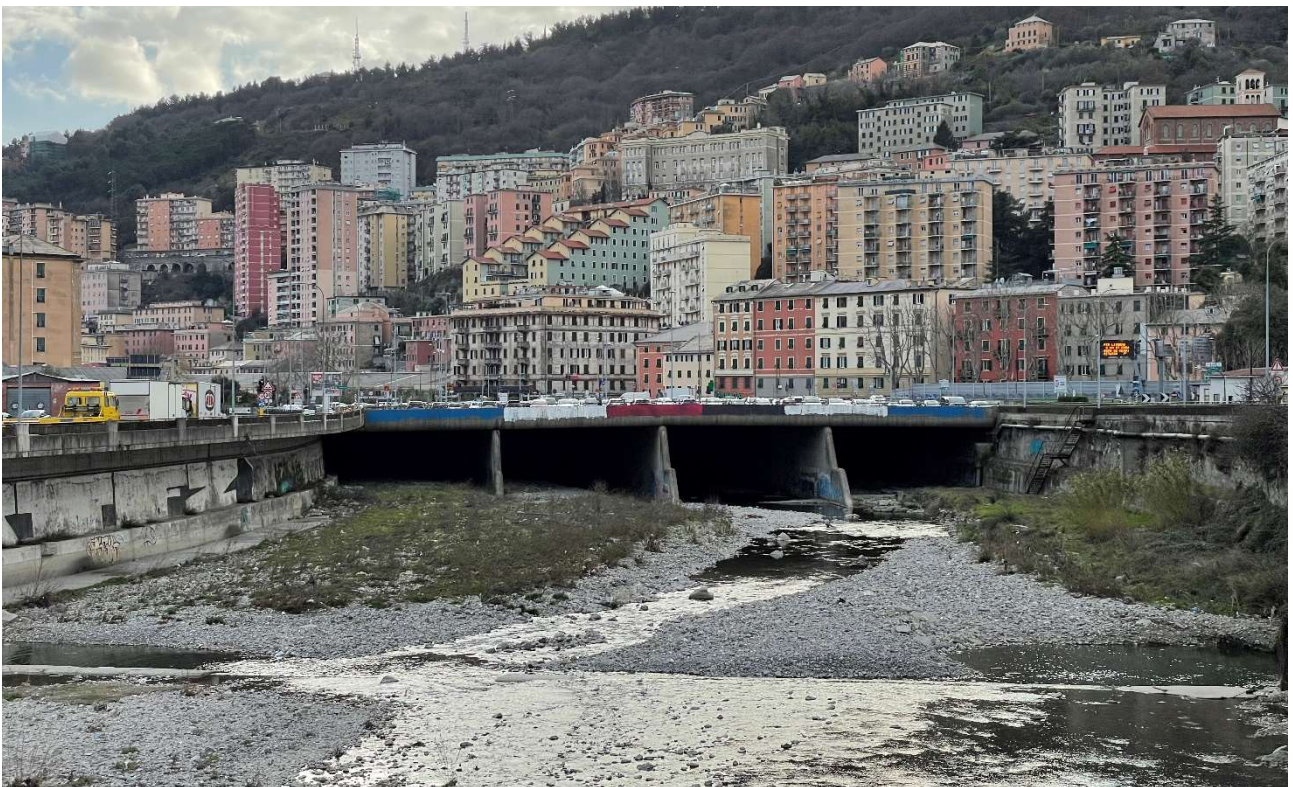
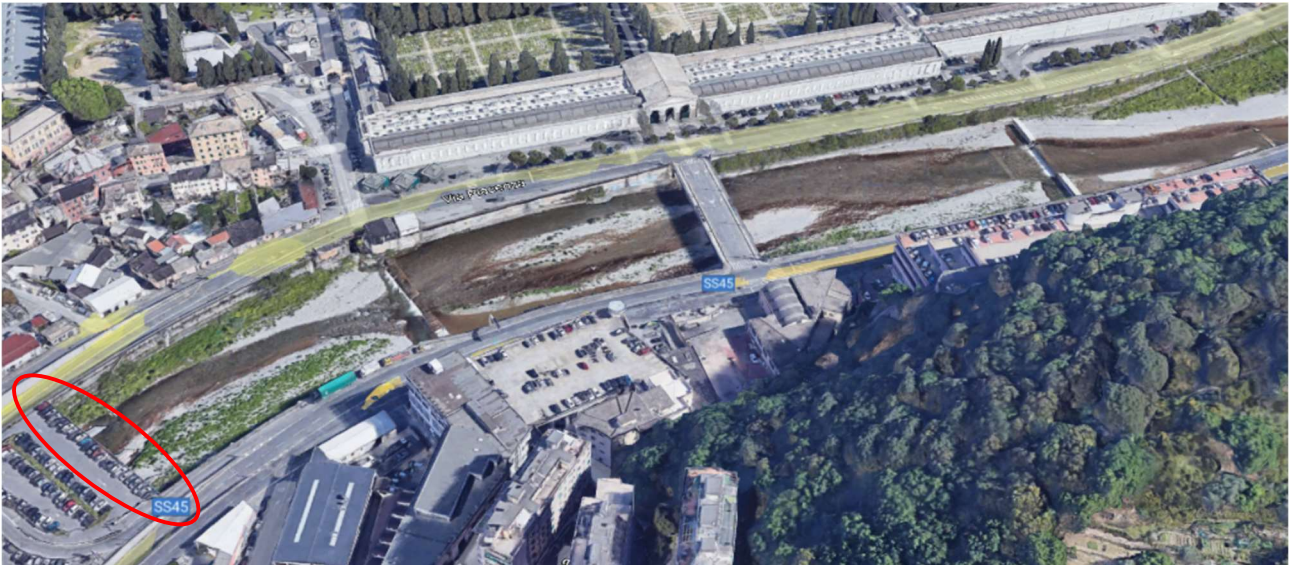


Figura 17 – Imbocco della copertura Staglieno. In primo piano la soglia di fondo a monte della confluenza del rio Veilino.



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).

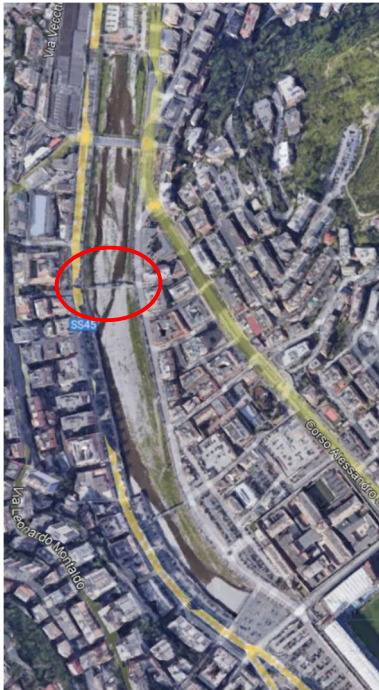


Figura 20 – Passerella pedonale all'altezza di via Bobbio (vista da valle, sponda dx).

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; 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).

Tutte le canne sono interessate da fenomeni di interrimento, ad opera di materiale ghiaioso-ciottoloso; complessivamente è stimabile un grado di interrimento attuale dell'ordine del 20%.

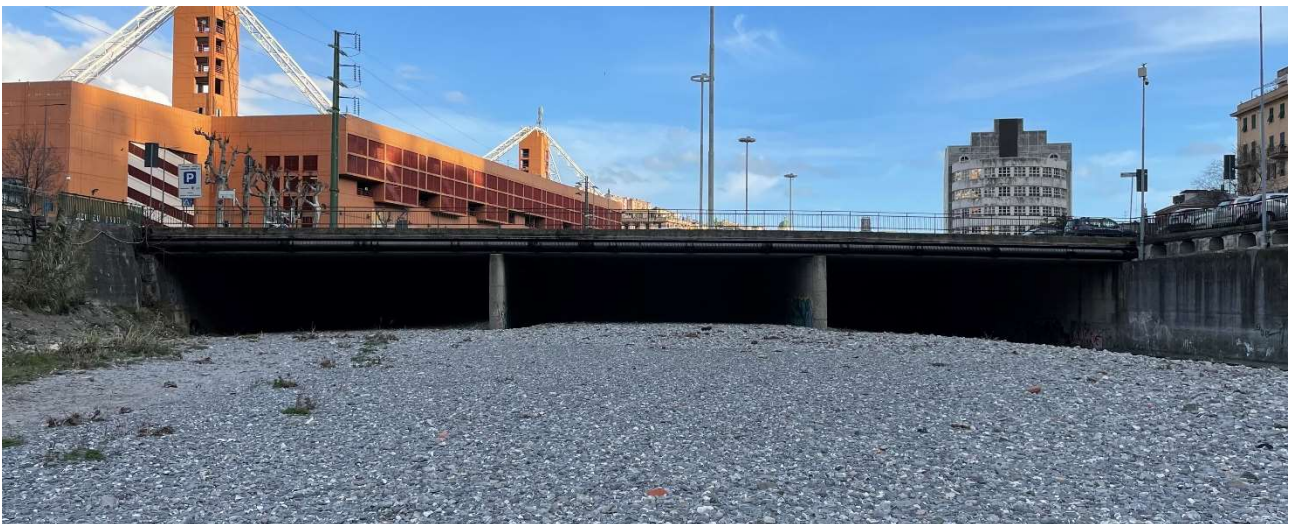
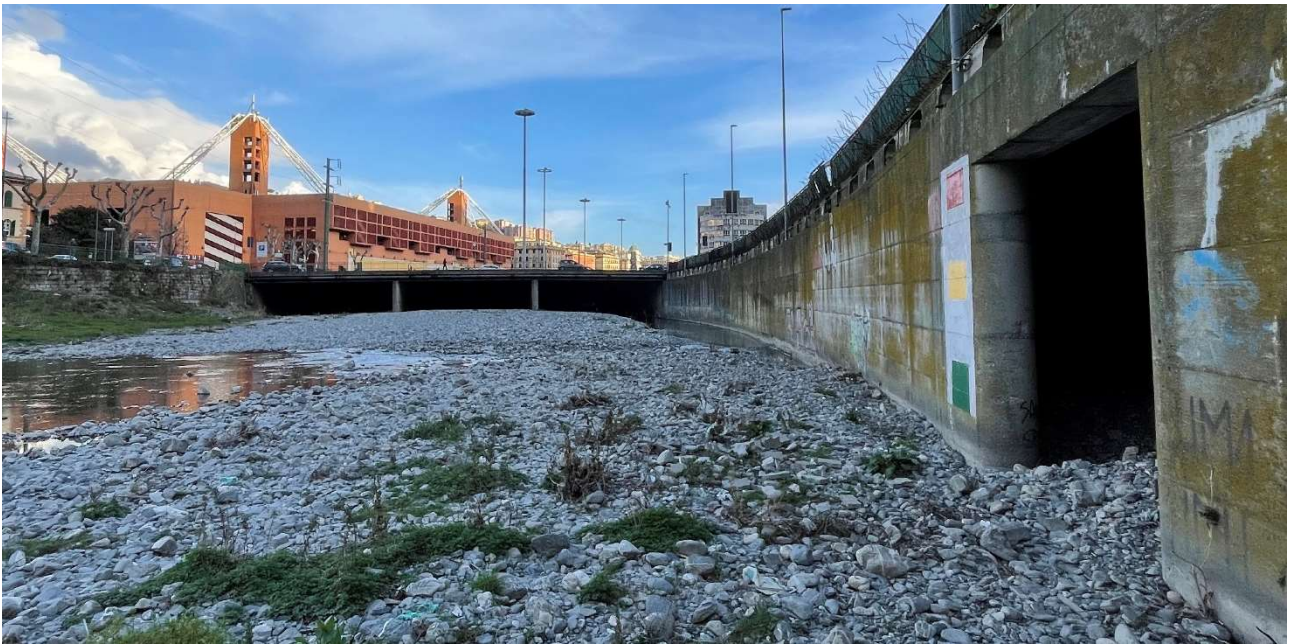


Figura 22 – Imbocco della copertura di Marassi. In alto, la luce (di dimensione circa 4,0x4,0 m) di comunicazione tra la canna di destra e l'alveo del torrente.

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.

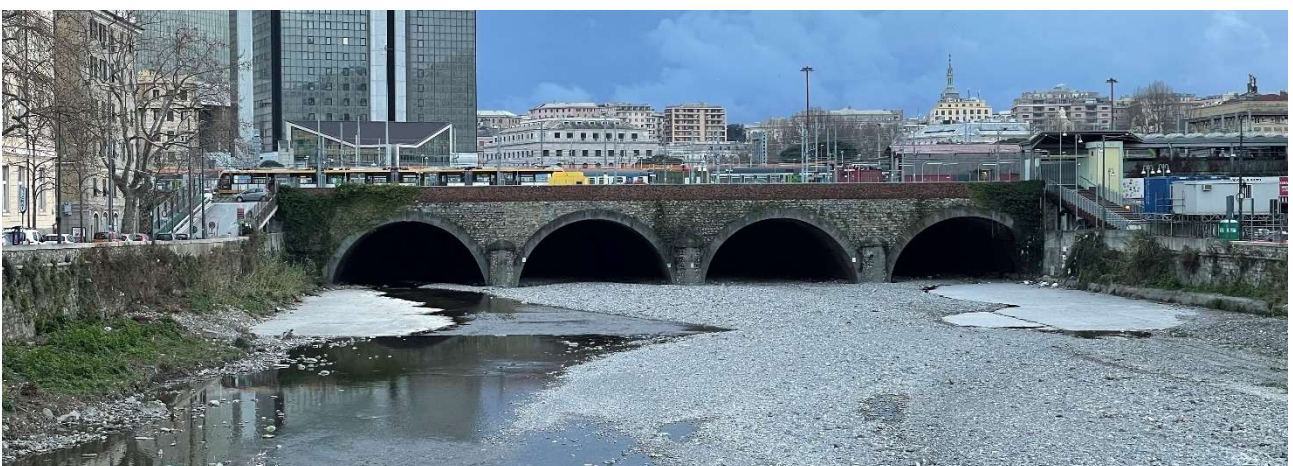


Figura 26 – Imbocco del ponte ferroviario di Brignole (inizio della copertura terminale).



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.

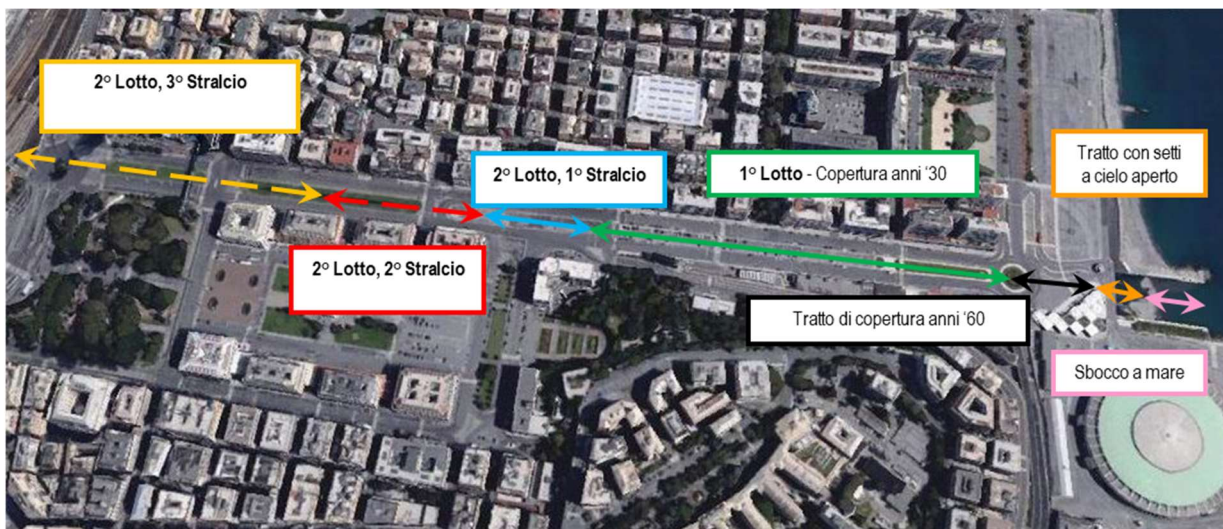


Figura 28 – Schema riassuntivo della suddivisione in Lotti/Stralci lungo il tratto di copertura del T. Bisagno (fonte: Google Earth).

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; la luce massima rispetto alla sommità dell'arco nella sezione a monte è pari a circa 6,7 m.

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.

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. 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 29. In Figura 30 è invece fornito un dettaglio delle opere in alveo.

La quota parte di portata di piena derivata dallo scolmatore è captata mediante uno sfioratore laterale (in sponda sinistra) di lunghezza pari a 120 m; il corretto funzionamento di tale soglia è regolato dalla presenza di una traversa poco a valle che definisce l'andamento dei livelli idrici in alveo. La portata derivata raggiunge mediante una prima galleria di adduzione un camerone di raccordo, nel quale confluisce anche la derivazione dal rio Sciorba, e quindi mediante la galleria principale viene veicolata direttamente a mare.

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.

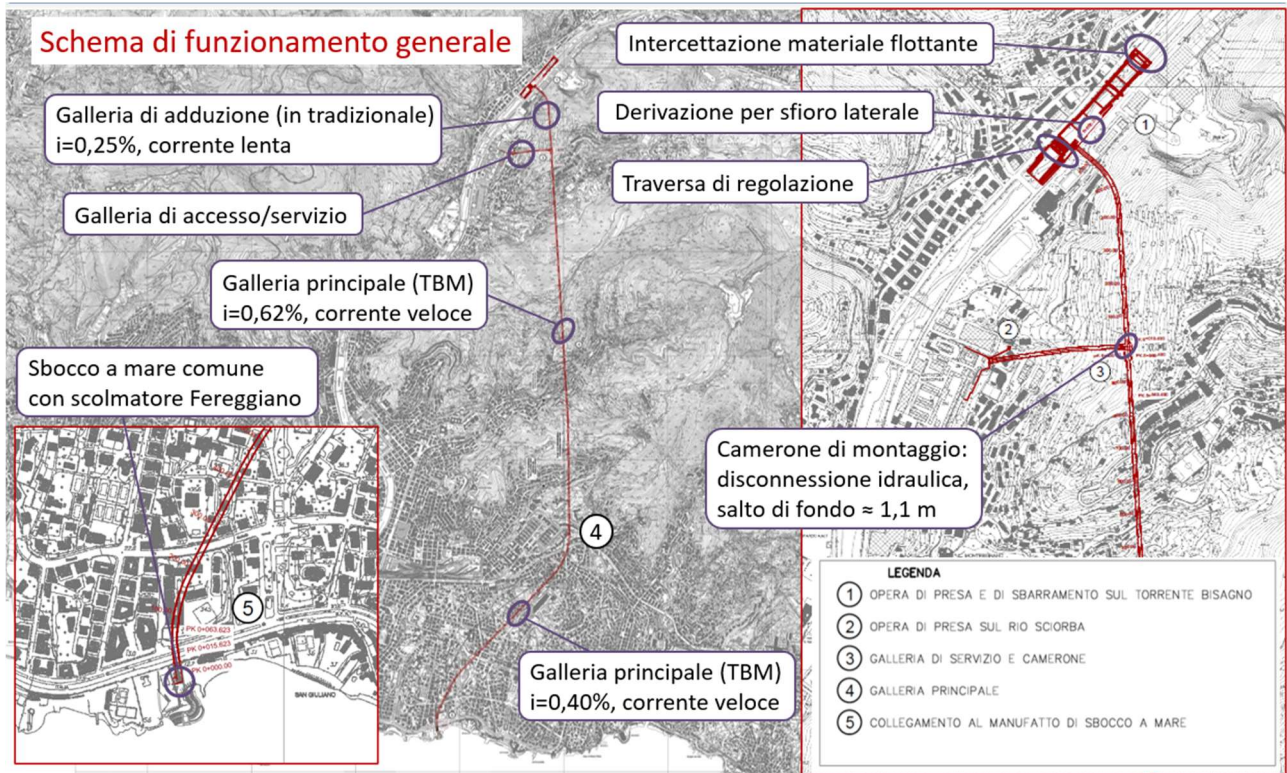


Figura 29 – Scolmatore delle piene del torrente Bisagno: schema di funzionamento generale.

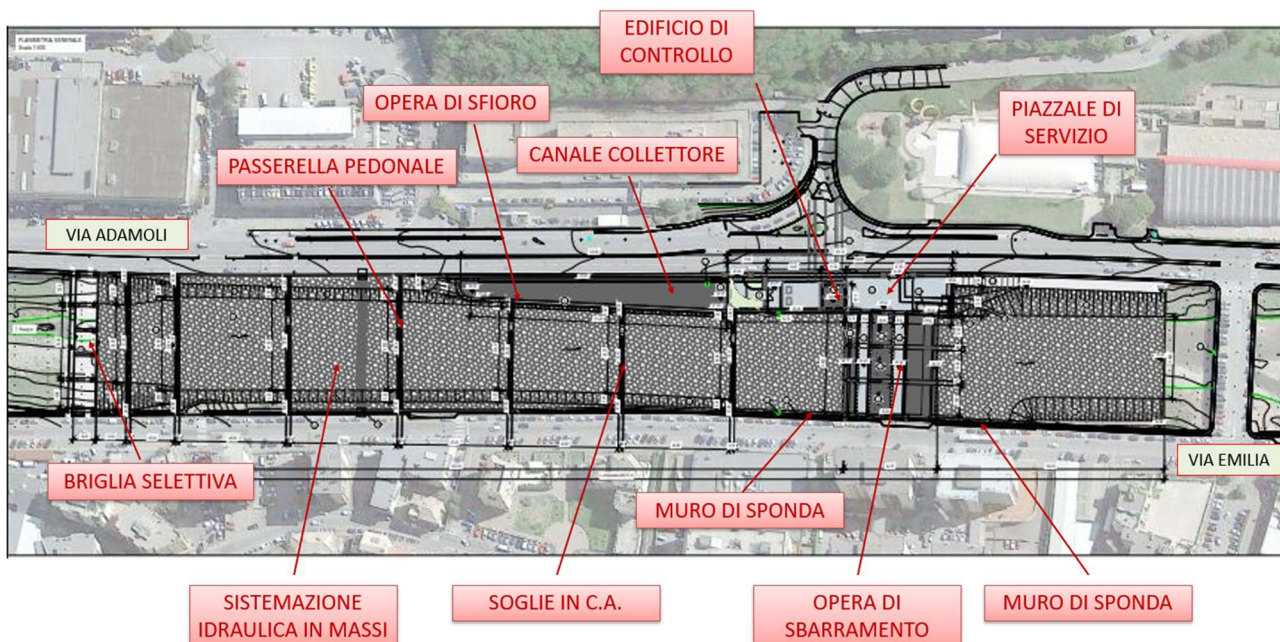


Figura 30 – Scolmatore delle piene del torrente Bisagno: dettaglio delle opere in alveo.

3. CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA

Le portate idrologiche al colmo di piena per diversi tempi di ritorno del torrente Bisagno sono definite nel vigente Piano di Bacino stralcio (PdB). Il reticolo idrografico principale oggetto dell'analisi, dalla confluenza del torrente Geirato fino allo sbocco a mare, è schematizzato in Figura 31. In tale figura sono rappresentati i nodi idrologici di riferimento considerati nel Piano stesso e i corrispondenti valori di portata di piena di riferimento.

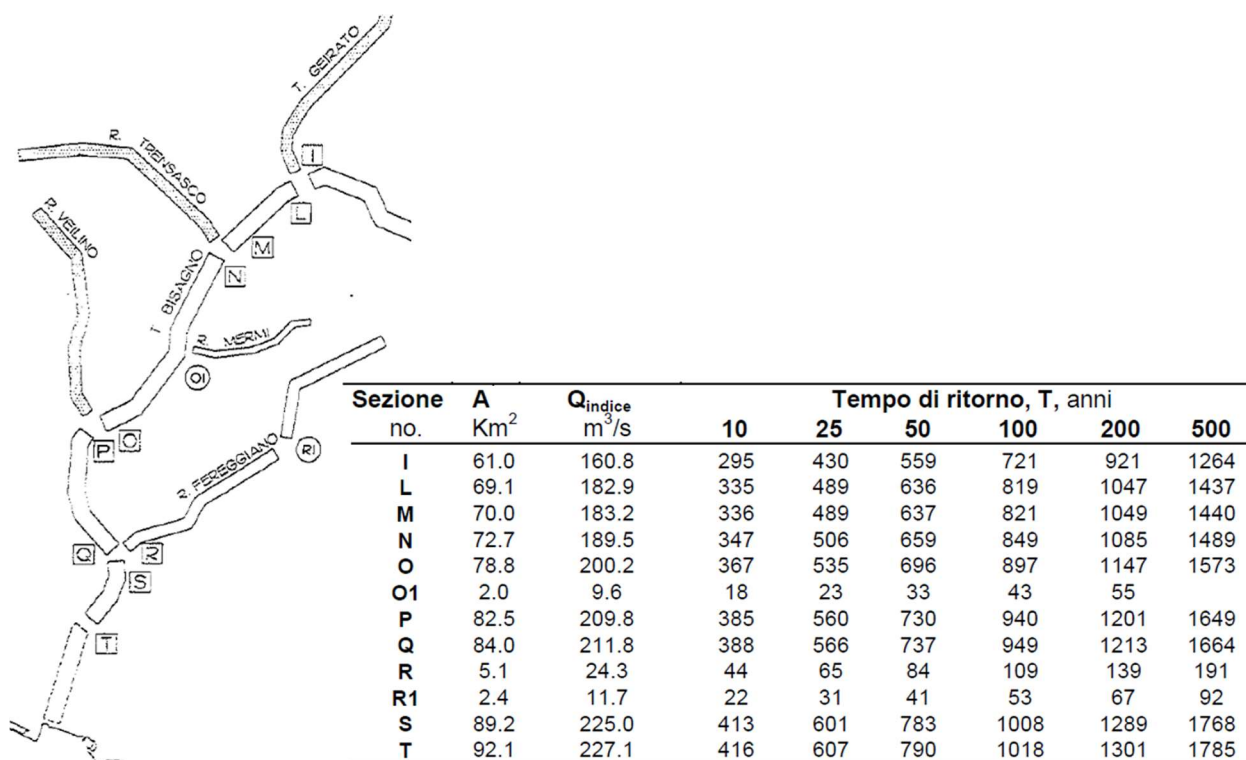


Figura 31 – Sezioni idrologiche del Piano di Bacino e corrispondenti valori di portata di piena di riferimento.

Per le analisi svolte nel presente studio sono stati assunti i valori di piena definiti nel PdB, con riferimento ai tre eventi di interesse per la definizione delle fasce di pericolosità, associati a tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Per tali eventi sono stati definiti idrogrammi di piena coerenti con quanto previsto dalla DGR 91/2013, mantenendo la congruenza (anche nello schema di input al modello numerico) con quanto sviluppato nello studio pregresso alla base della pianificazione vigente (*“Approfondimento idraulico dei piani di Bacino dei torrenti Bisagno e Chiaravagna”* – nel seguito indicato come studio *“DHI2014”*). Tale studio fa riferimento ad un modello idrologico afflussi-deflussi tarato sull'evento di piena del novembre 2011.

Per le finalità del presente studio, 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.

4. APPROCCIO METODOLOGICO

La valutazione dell'assetto di pericolosità del torrente Bisagno a seguito della messa in esercizio dello scolmatore delle piene (attualmente in fase di realizzazione) è basata su un'analisi idraulica finalizzata a valutare le modalità di deflusso degli eventi di piena con diversi tempi di ritorno, ovvero probabilità di accadimento (50, 200 e 500 anni), ed in particolare la presenza o meno di esondazioni e la loro propagazione lungo il tessuto urbano circostante l'alveo.

Per questa analisi è stato allestito un modello numerico con schema bidimensionale in grado di rappresentare con accuratezza la distribuzione delle altezze d'acqua e velocità di propagazione delle portate di esondazione sulle aree esterne all'alveo. L'alveo inciso e le strutture interferenti (attraversamenti, briglie, coperture) è rappresentato con l'ausilio di un modello di tipo monodimensionale dinamicamente accoppiato al bidimensionale, per meglio descrivere gli effetti di disturbo prodotti da tali strutture sul profilo di piena.

Il sistema modellistico è basato sull'integrazione dei dati geometrici e topografici derivanti da più fonti:

- rilievo topografico del 2017 eseguito nell'ambito del progetto esecutivo dello scolmatore, per la porzione più a monte (fino al ponte Feritore);
- sezioni trasversali del modello su cui si basa la perimetrazione del Piano di Bacino vigente (studio "DHI2014") per il tratto intermedio;
- rilievo "as built" della copertura terminale a seguito del completamento dei lavori e del tratto di alveo immediatamente a monte, fornito dalla Regione;
- modello digitale del terreno (DTM) fornito da Regione Liguria per la descrizione delle aree esterne all'alveo.

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.

Per l'allestimento dei modelli sono stati utilizzati i codici di calcolo della suite MIKE del DHI (in particolare MIKE Flood, che combina i codici MIKE11 e MIKE21).

Il modello monodimensionale schematizzato nel codice MIKE11 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 (con relativa opera di presa in alveo) fino allo sbocco in mare.

In Figura 32 è rappresentata l'estensione del modello (traccia dell'asse e delle sezioni utilizzate) su base foto aerea Google.

Il modello bidimensionale rappresentativo delle aree esterne all'alveo è basato su una griglia geometrica a risoluzione spaziale di 3,0 x 3,0 m, definita a partire dal DTM sopra citato; l'estensione complessiva è raffigurata nella Figura 33 ed è composta da 1443 righe e 2101 colonne (3.031.743 punti di calcolo).

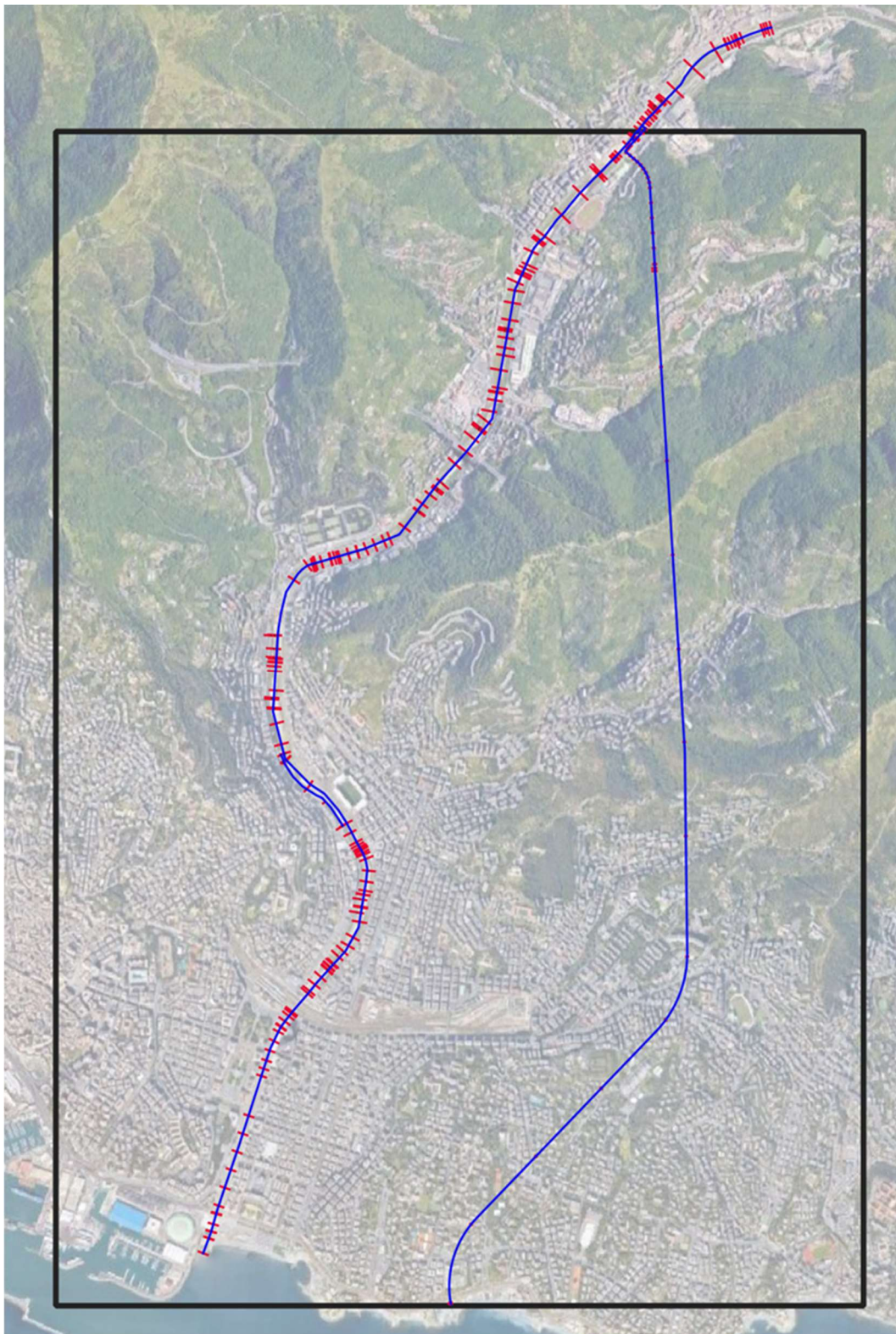


Figura 32 – Network complessivo del modello MIKE11 allestito per il torrente Bisagno. Il rettangolo nero indica l'estensione dell'area del modello 2D.

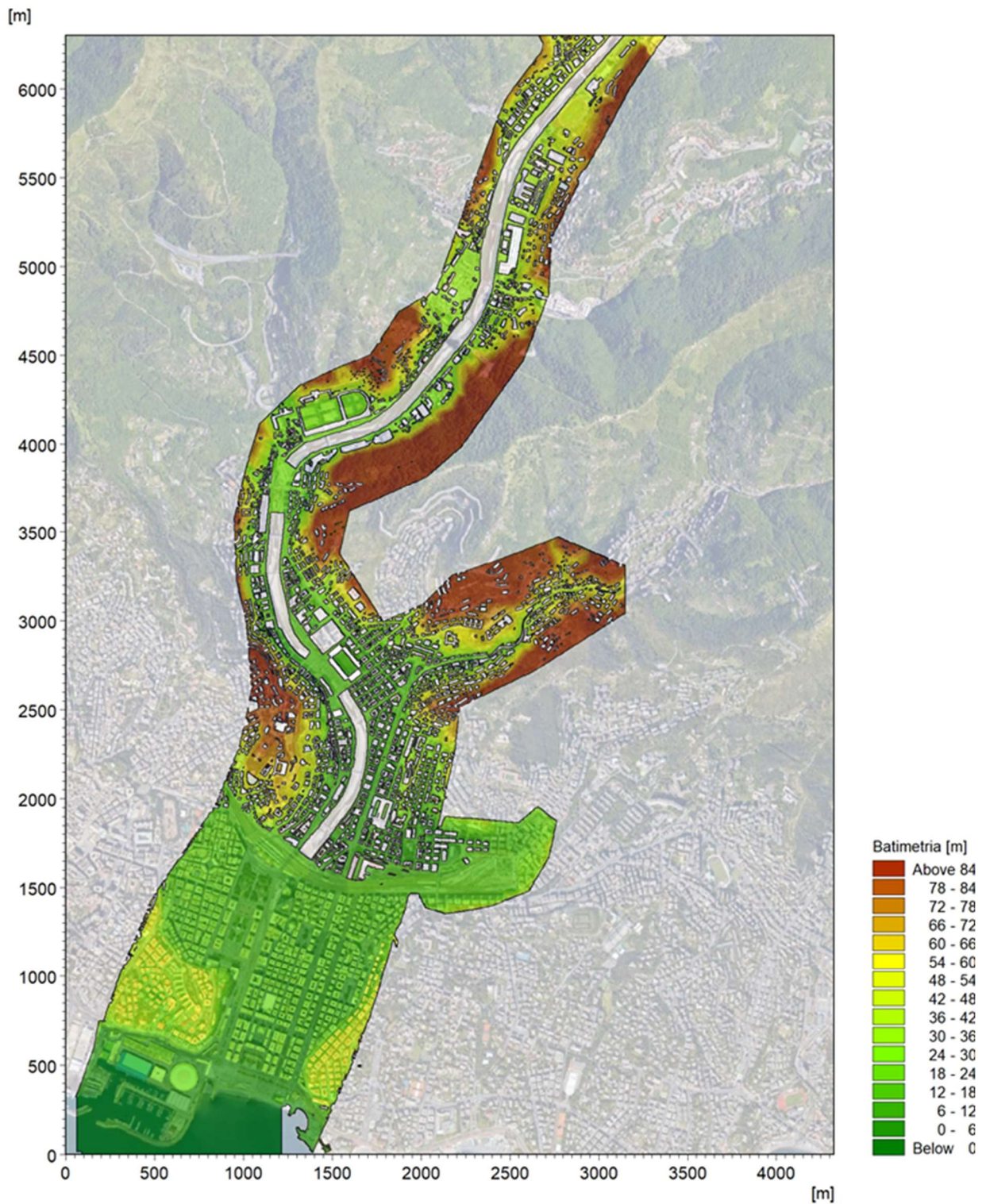


Figura 33 – Batimetria del modello 2D del torrente Bisagno a maglia 3,0 x 3,0 m (dominio di calcolo complessivo).

Il modello di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, necessita della definizione delle condizioni al contorno idrodinamiche (portate in ingresso, livello allo sbocco a mare) e di una serie di parametri legati all'integrazione numerica e di parametri idraulici.

Di questi ultimi, il più significativo è il coefficiente di scabrezza, ovvero 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. Il parametro di scabrezza applicato ai modelli è stato differenziato tra alveo inciso e aree golenali, così come tra tratti di alveo a cielo aperto e tratti di copertura. I valori sono stati definiti in relazione alle osservazioni sul campo, in congruenza con il modello pregresso alla base della perimetrazione vigente, e in coerenza con le indicazioni fornite dagli allegati tecnici del Piano di Bacino, che forniscono il range di variabilità del parametro in funzione della tipologia di alveo.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, le portate in ingresso al modello rispettano i valori al colmo di piena definiti dal Piano di Bacino (v. capitolo 3) e lo schema di input della modellazione pregressa (DHI2014), in termini di idrogramma in ingresso nella sezione di monte e progressivi contributi di portata nei tratti a valle (apporti distribuiti lungo il tratto o concentrati in corrispondenza di affluenti significativi).

Per il livello di mare occorre fare riferimento 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).

Sulla base delle valutazioni di dettaglio condotte negli studi e progettazioni pregresse, si è assunto come livello di valle un valore costante pari a 0,50 m s.m.

5. ANALISI DELL'EFFETTO DELLO SCOLMATORE SULL'ASSETTO IDRAULICO DEL BISAGNO

I risultati delle simulazioni effettuate con il modello integrato mono-bidimensionale sono illustrati nei capitoli seguenti mediante l'ausilio di mappe delle aree di esondazione con rappresentazione delle altezze idriche massime sul piano campagna e delle massime velocità di flusso. Si rimanda alla relazione tecnico-idraulica per ogni dettaglio.

Innanzitutto è stata verificata la coerenza tra i risultati forniti dal modello allestito per il presente studio, senza considerare l'effetto dello scolmatore, e quelli delle modellazioni pregresse a supporto del vigente Piano di Bacino, ottenendo un riscontro positivo.

Successivamente sono stati simulati gli eventi di piena associati ai tempi di ritorno di riferimento (indicati come TR50, TR200, TR500 rispettivamente per 50, 200 e 500 anni) considerando attiva la derivazione da parte dello scolmatore, verificando l'effetto di mitigazione del rischio idraulico prodotto.

Questi scenari "base" considerano la geometria effettiva dell'alveo e delle strutture interferenti (ponti, coperture) considerate in piena officiosità, ovvero senza alcuna ostruzione delle luci di deflusso.

L'evento di piena cinquantennale (**TR50**) è caratterizzato in ingresso al modello da una portata massima 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.

Grazie a questa riduzione, la portata residua risulta completamente contenuta in alveo, senza provocare esondazioni e con adeguati margini di sicurezza.

Anche per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni (**TR200**) le portate di piena scolmate risultano interamente contenute in alveo. La portata massima in ingresso al tratto in esame in questo caso 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.

Tuttavia, rispetto all'evento TR50 si riscontrano nell'alveo a valle 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.

- Il ponte Guglielminetti presenta un comportamento in pressione (ovvero il livello a monte è superiore alla quota di intradosso dell'impalcato), 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 Bezzacca, 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.
- All'interno della copertura terminale il franco risulta generalmente superiore a 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.

Nel caso dell'evento cinquecentennale (**TR500**) 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.

A fronte di una portata al colmo in ingresso al tratto in studio di 1440 m³/s, lo scolmatore (che in queste condizioni mostra un funzionamento completamente in pressione fino al mare, ovvero la galleria funziona a sezione piena e senza più un franco idraulico interno) 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).

Dai risultati del modello emerge quanto segue.

- Non viene rispettato il franco in corrispondenza del ponte Ugo Gallo e del ponte Feritore, dove però i margini rispetto alle sponde a monte 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 ancora 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 34 e Figura 35 sono riportate rispettivamente le distribuzioni 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 34 le sfumature di colorazione blu evidenziano le aree di esondazione con minori tiranti idrici, quelle rosse con i maggiori. In Figura 35 la colorazione blu indica le velocità minori mentre quella rossa le maggiori. Le aree interne all'alveo inciso non sono rappresentate perché 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 soprattutto 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.

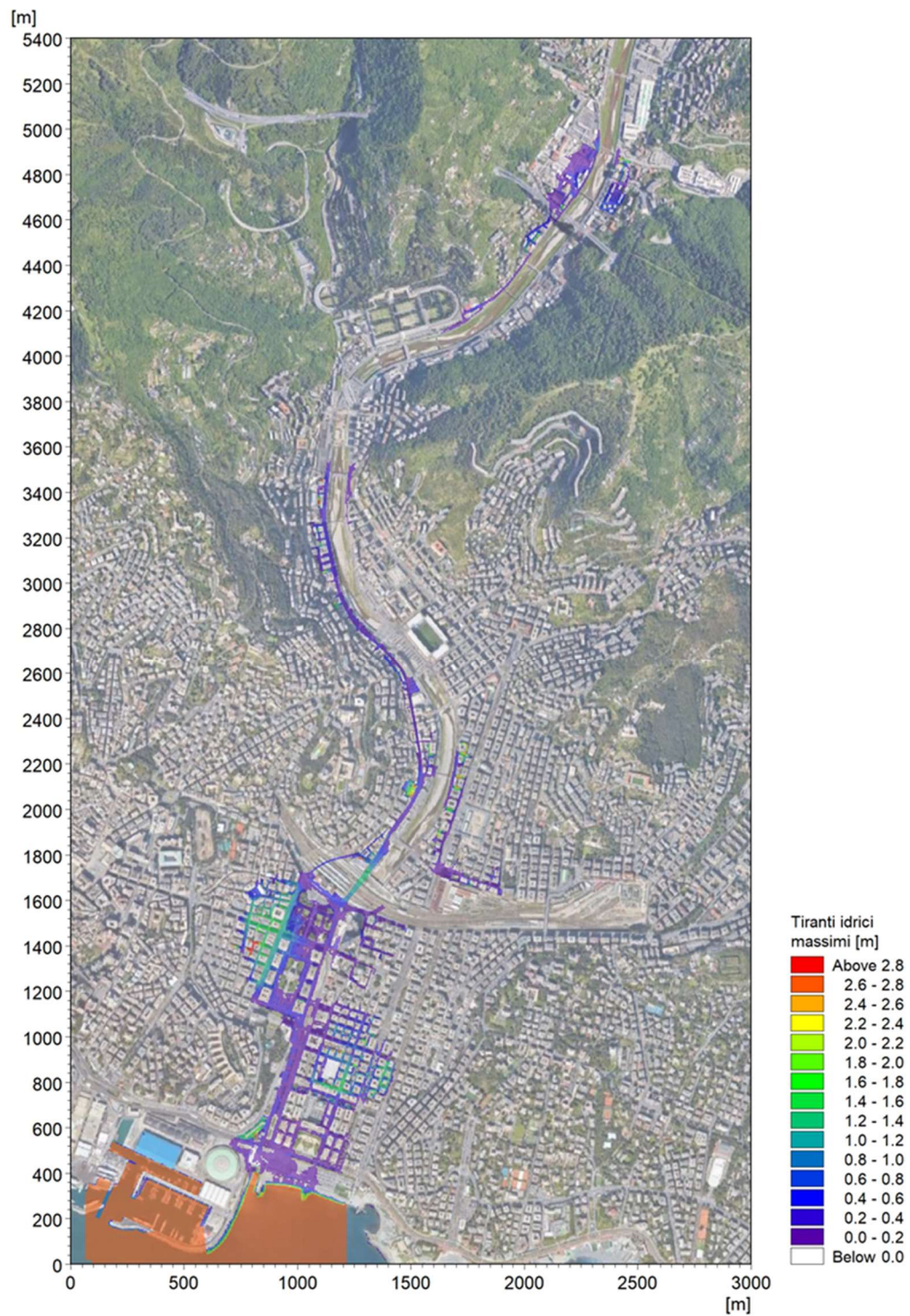


Figura 34 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni.

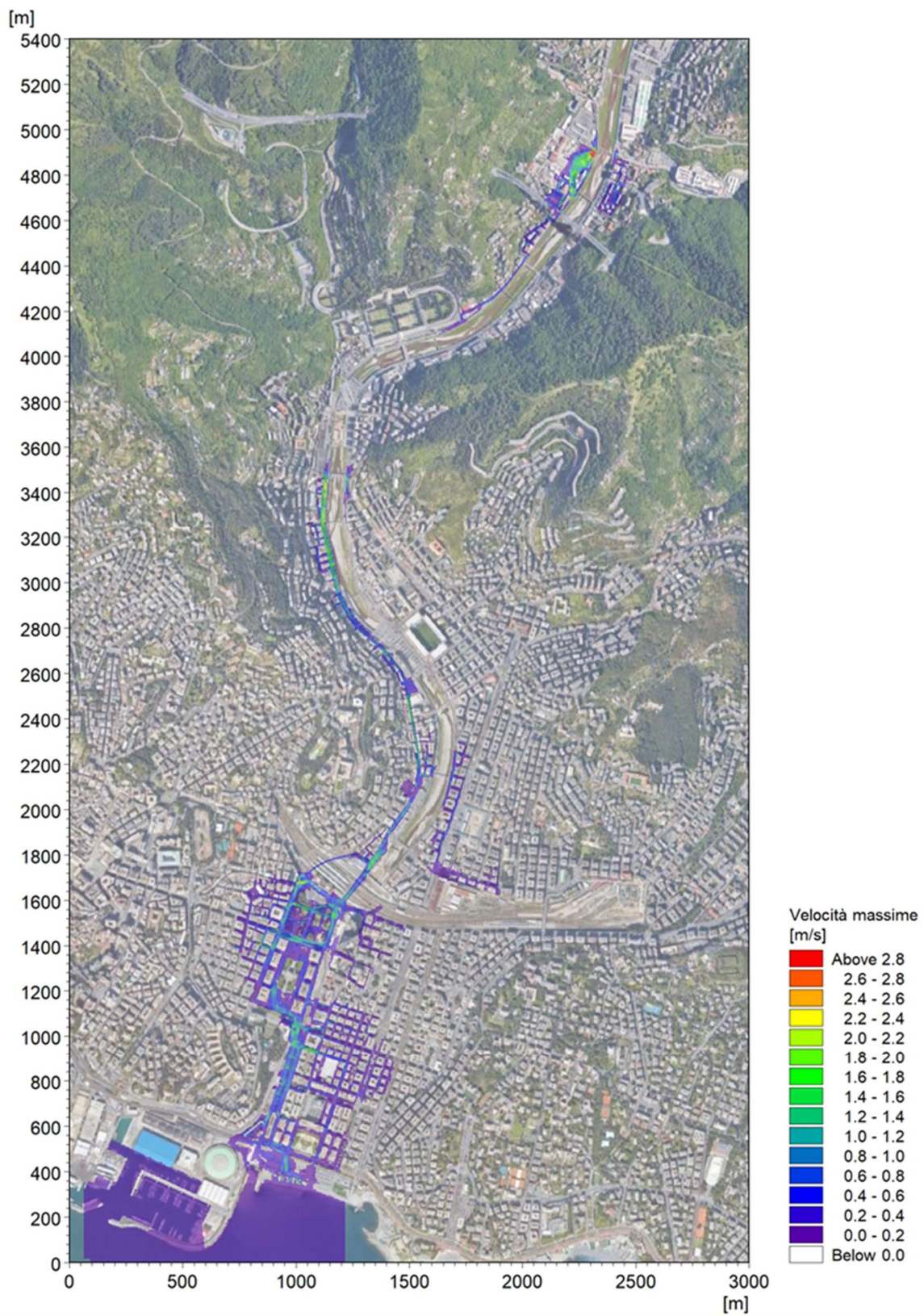


Figura 35 - Distribuzione delle velocità massime di deflusso per l'evento di piena con TR=500 anni.

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.

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.
- 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**), presso i quali si riscontrano anche esondazioni per TR500.
- 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.

Per le finalità del presente studio non è invece 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.

Nei capitoli che seguono sono descritti i risultati degli scenari integrativi simulati.

6.1 Variazione del parametro di scabrezza (SIMB)

Per analizzare la sensitività dei risultati del modello a questo parametro, il valore associato all'intero alveo è stato assunto pari al più gravoso indicato dal PdB per questa tipologia di corso d'acqua.

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'officiosità delle sezioni).

Per quanto attiene le coperture dell'alveo, in considerazione del maggiore effetto di resistenza al moto producibile da fenomeni di inghiainamento del fondo, peraltro già in atto, si è assunto un valore di scabrezza pari a quello dell'alveo a cielo aperto più a monte.

Sono state eseguite tre simulazioni (1B, 2B, 3B) associate ai diversi tempi di ritorno.

L'incremento dei livelli idrici dovuto alla variazione di scabrezza non risulta tale da produrre esondazioni per l'evento di piena cinquantennale né per quello duecentennale, per quanto in corrispondenza di quest'ultimo si riscontrino tratti a franco pressoché nullo a monte del ponte Carrega e presso la passerella Firpo.

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 36 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

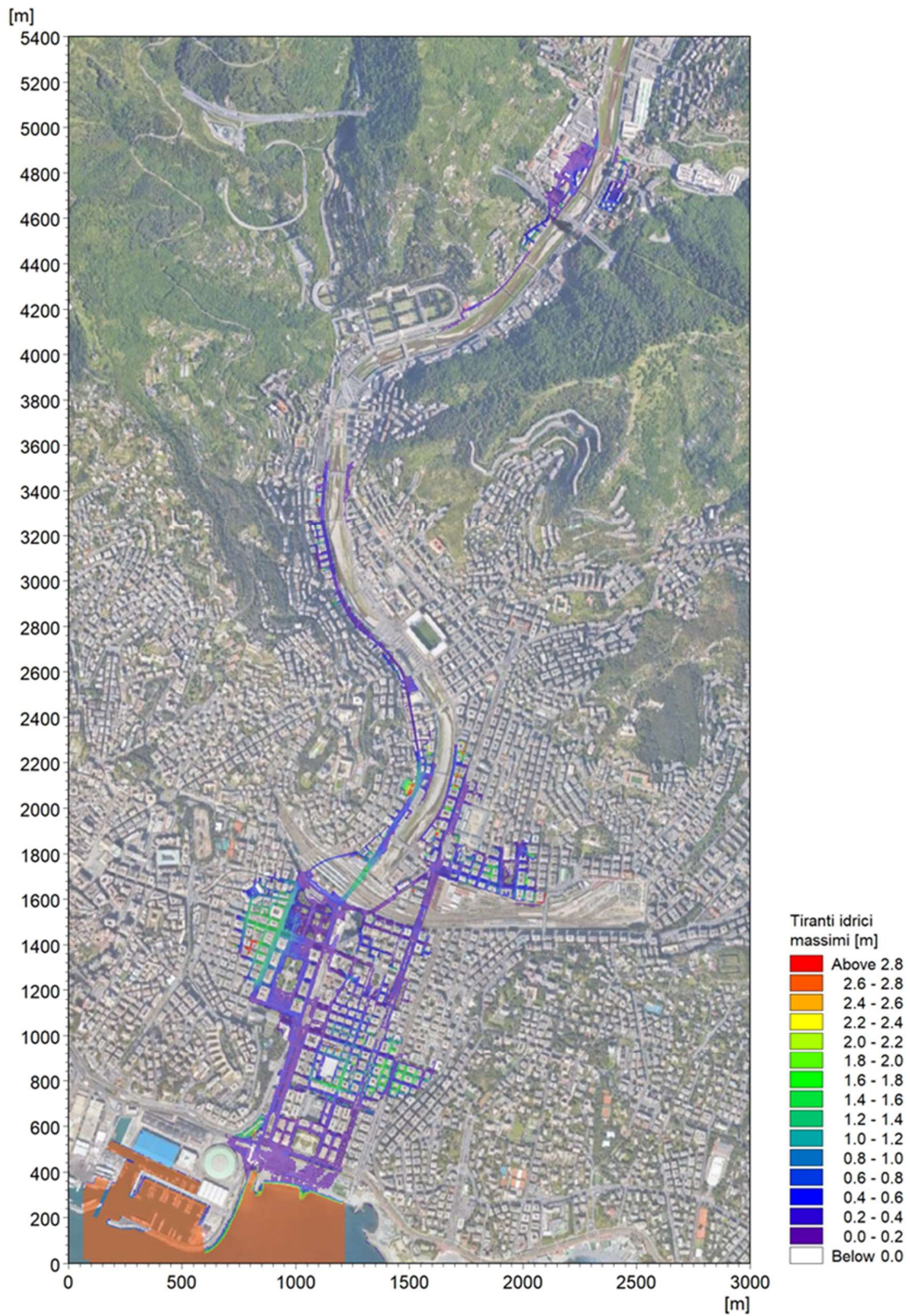


Figura 36 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3B.

6.2 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 analogo 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).

Nei capitoli che seguono si descrivono i risultati degli scenari analizzati.

6.2.1 SIMC: ponte Campanella

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

Per l'evento duecentennale invece essa 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 37 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno duecentennale.

Per l'evento cinquecentennale la parziale ostruzione del ponte provoca un aggravio delle esondazioni riscontrate nello scenario "base" descritto nel capitolo 5.

In Figura 38 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento.

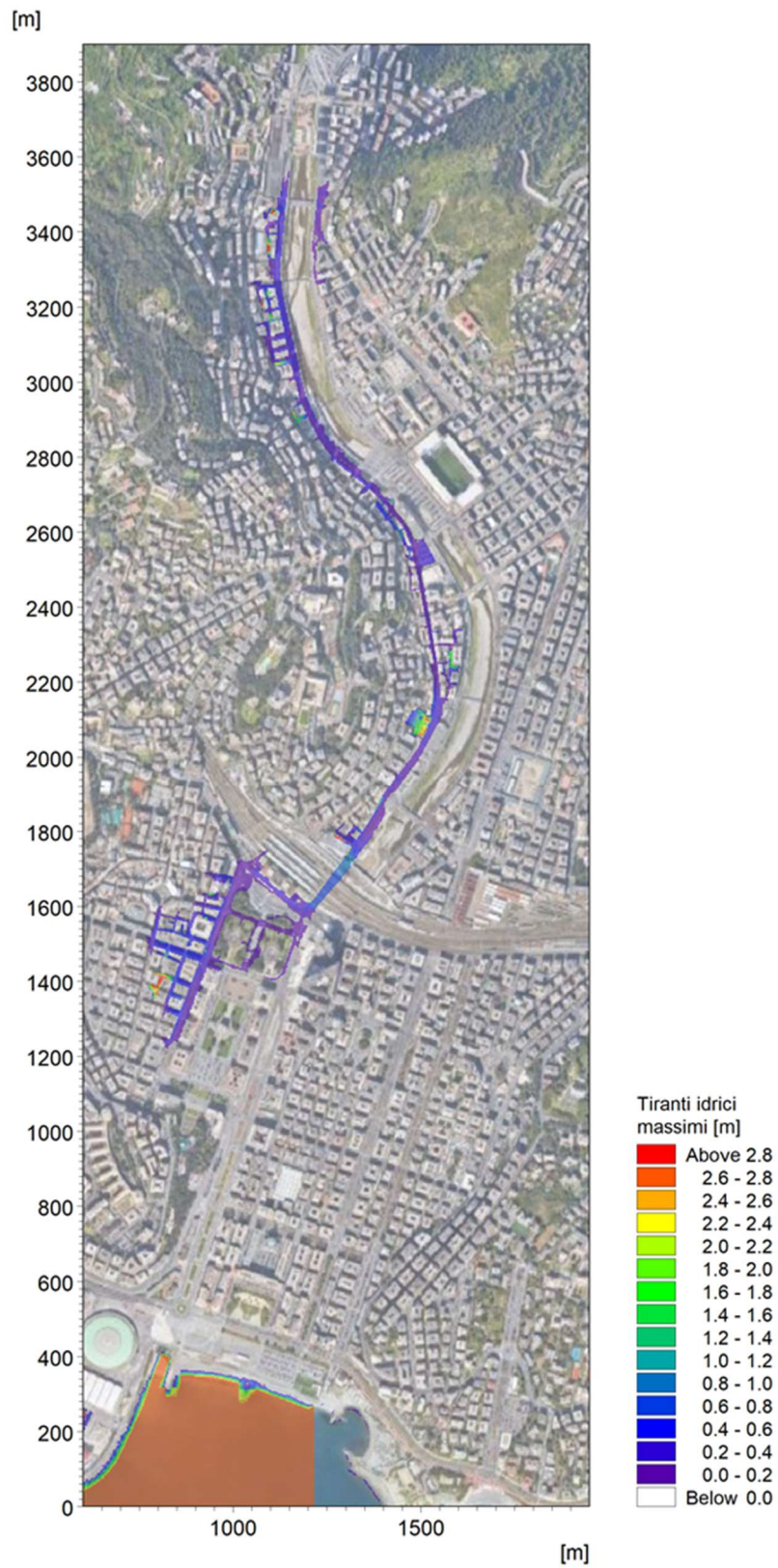


Figura 37 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2C.

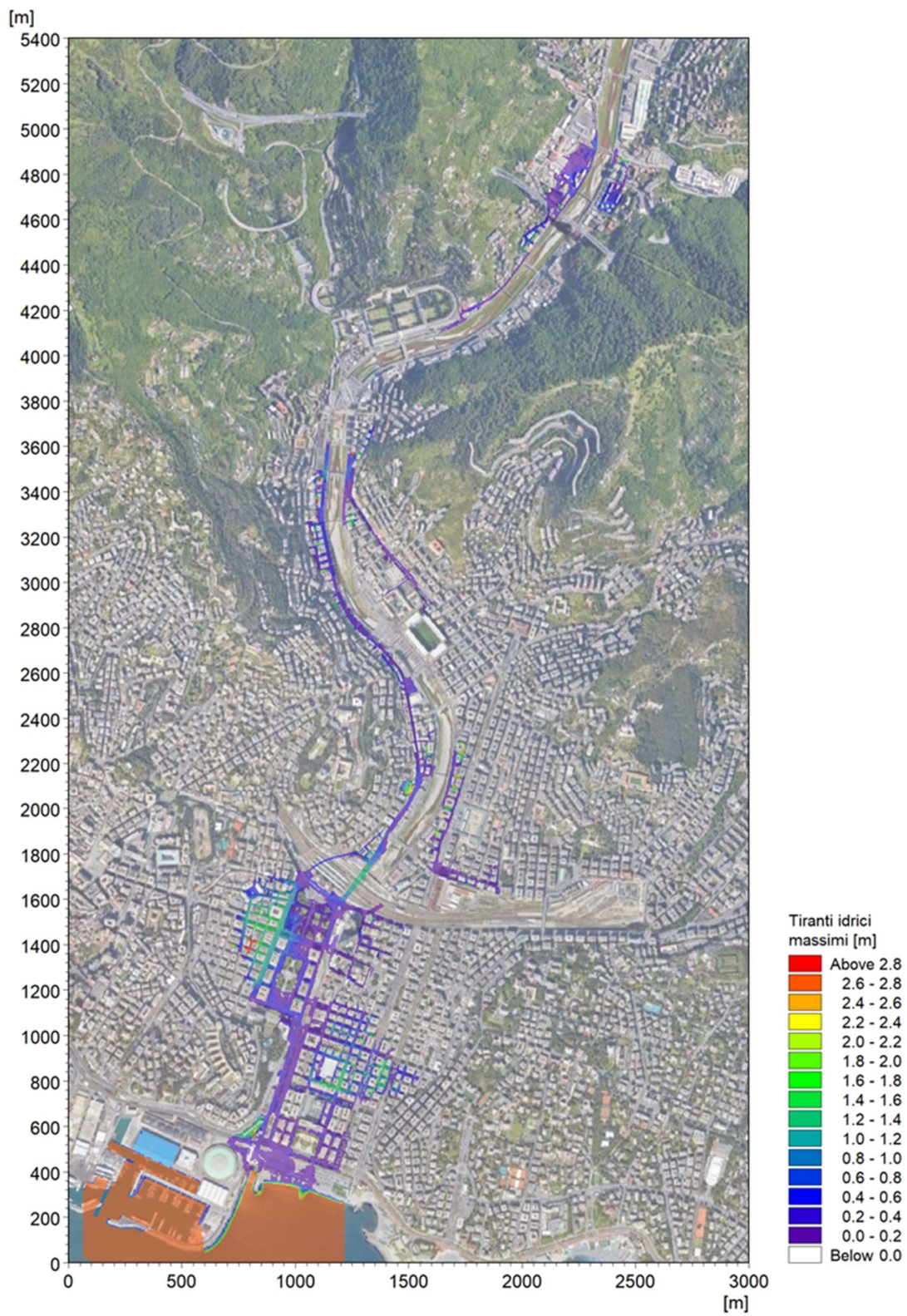


Figura 38 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3C.

6.2.2 SIMD: 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 sole aree adiacenti con minime altezze idriche.

In Figura 39 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquantennale.

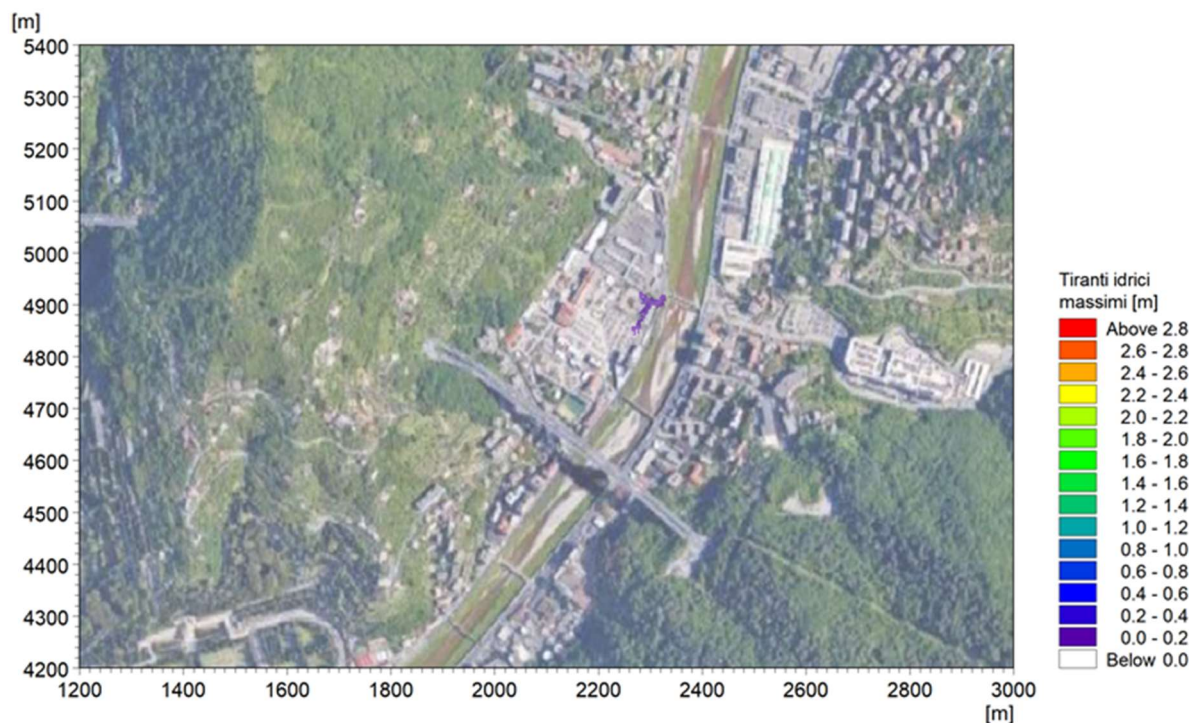


Figura 39 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=50 anni, SIMD.

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 40 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno duecentennale.

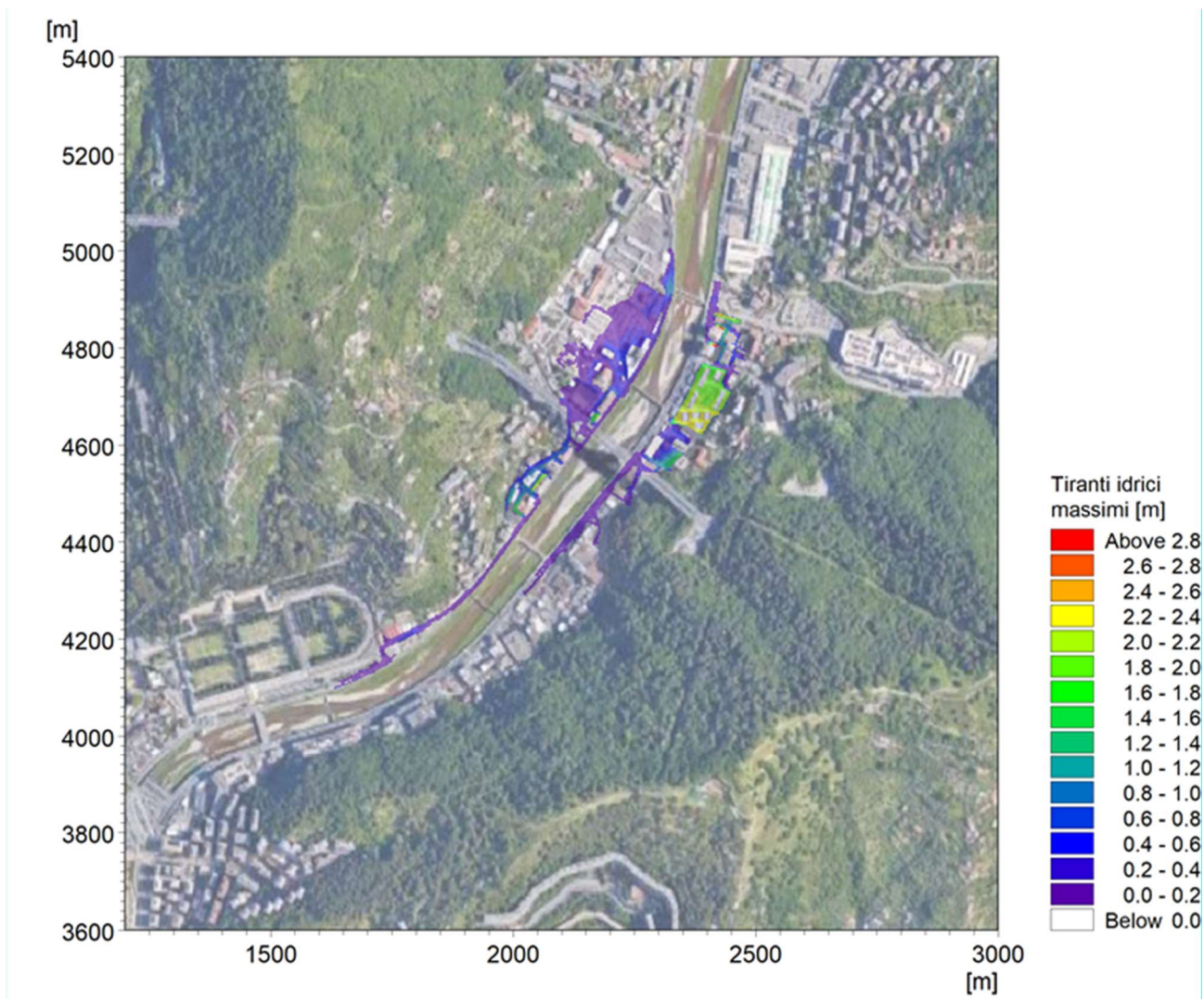


Figura 40 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2D.

In occasione dell'evento cinquecentennale la parziale ostruzione delle luci del ponte Carrega produce un aggravio delle esondazioni che si riscontrano nello scenario "base" descritto nel capitolo 5, con estensione degli allagamenti unicamente nelle aree già identificate per lo scenario TR200 (2D), senza ulteriori propagazioni più a valle.

In Figura 41 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

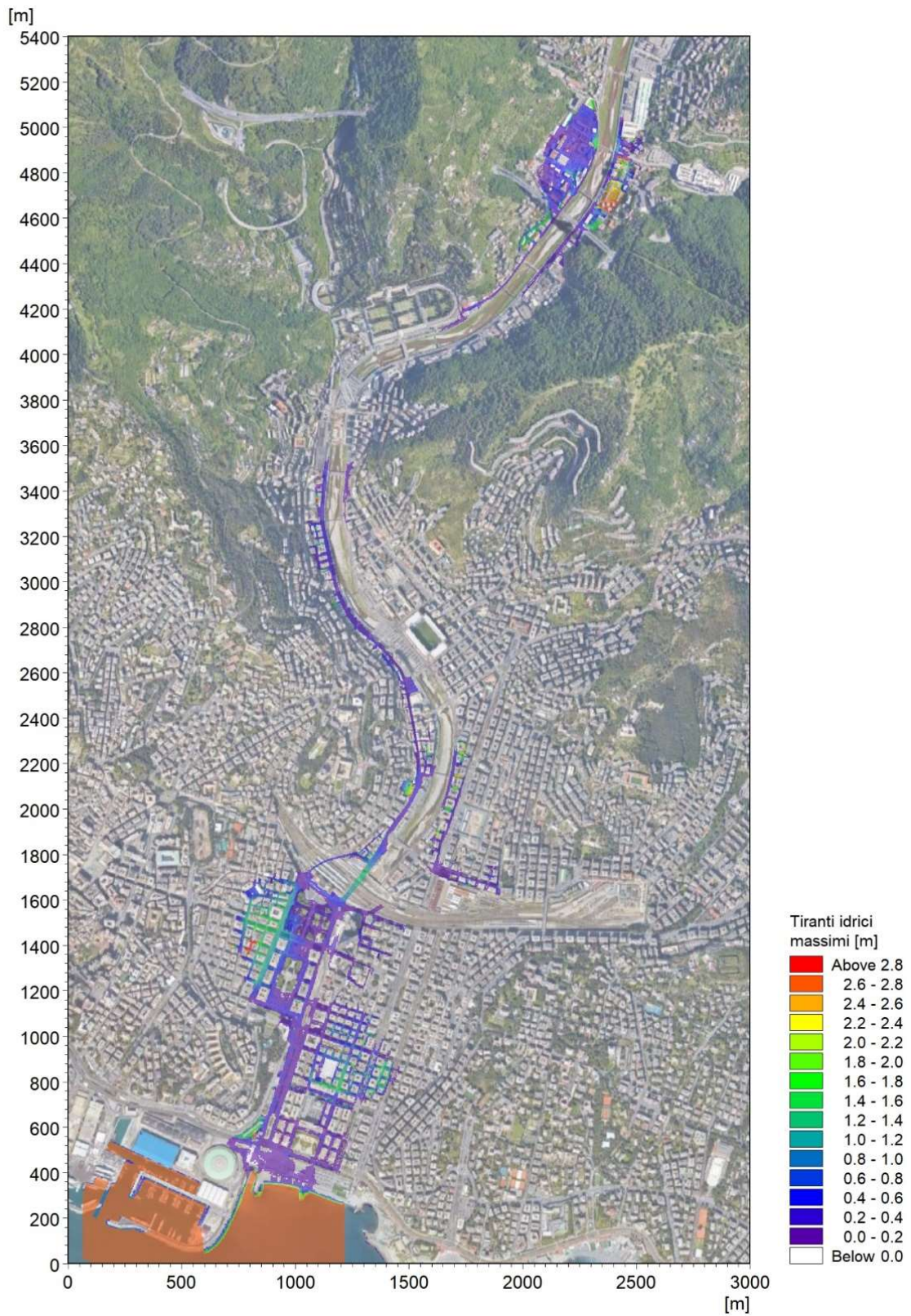


Figura 41 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3D.

6.3 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. capitolo 5).

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:

- SIM1E: annullamento del franco idraulico per evento con tempo di ritorno pari a 50 anni (TR50);
- SIM2E: annullamento del franco idraulico per evento con tempo di ritorno pari a 200 anni (TR200);
- SIM3E: annullamento del franco idraulico per evento con tempo di ritorno pari a 500 anni (TR500).

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

Per l'evento duecentennale invece tale innalzamento produce esondazioni a monte della passerella, su entrambe le sponde, con fuoriuscita di modesti volumi che allagano le aree circostanti.

In Figura 42 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno duecentennale.



Figura 42 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=200 anni, SIM2E.

Per lo scenario TR500 la parziale ostruzione della passerella provoca un modesto incremento delle aree di esondazione riscontrate nello scenario "base" (capitolo 5).

In Figura 43 è riportata la distribuzione delle massime altezze d'acqua (o tiranti idrici) rispetto al piano campagna verificatesi nel corso della simulazione dell'evento con tempo di ritorno cinquecentennale.

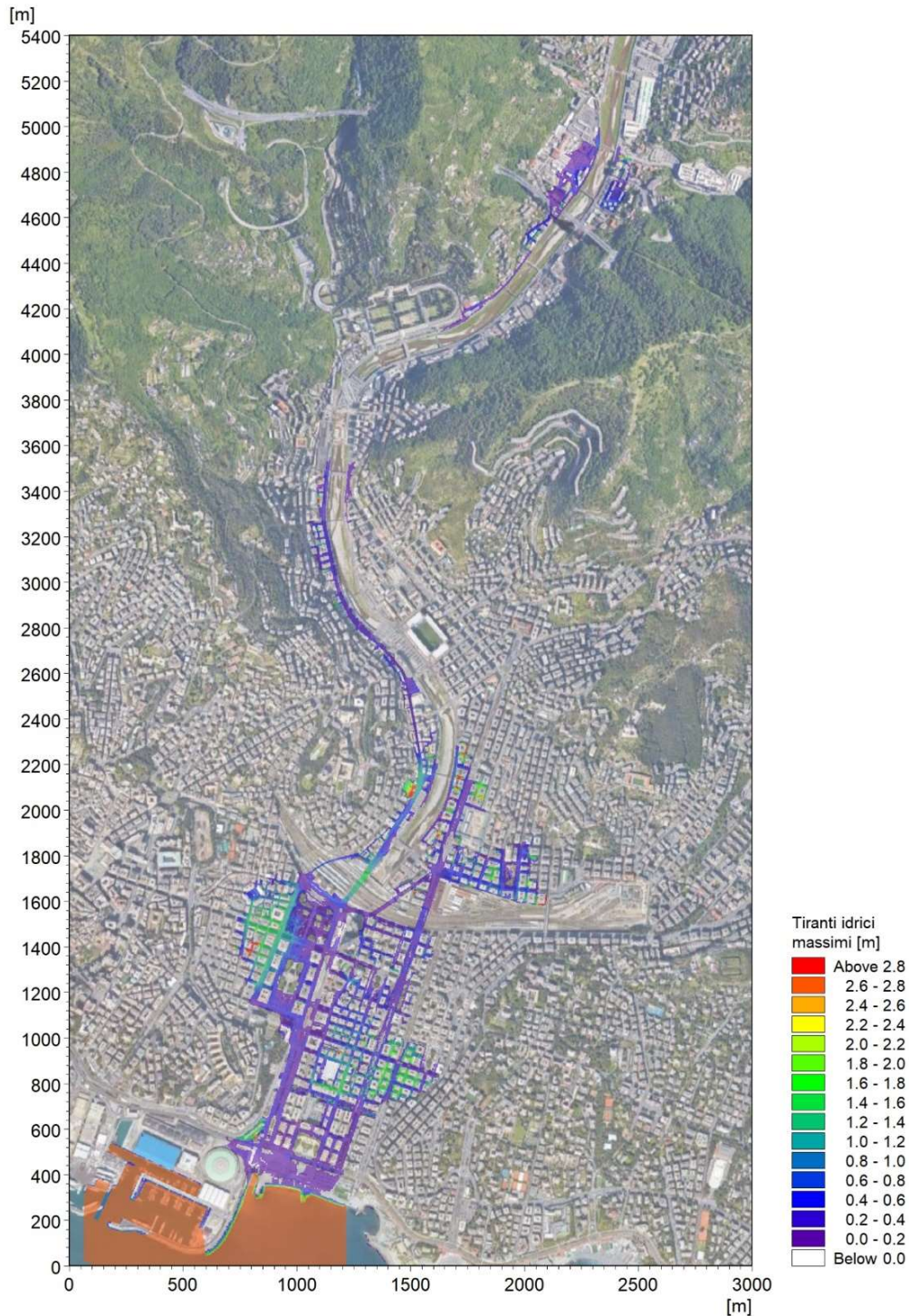


Figura 43 - Distribuzione delle massime altezze d'acqua rispetto al piano campagna per l'evento di piena con TR=500 anni, SIM3E.

6.4 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 a 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

Lo studio idraulico di dettaglio condotto 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 torrente Bisagno, 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 SIME.

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 44 e Figura 45, rispettivamente per il tratto di monte e il tratto di valle, oltre che negli elaborati grafici annessi.

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.

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.

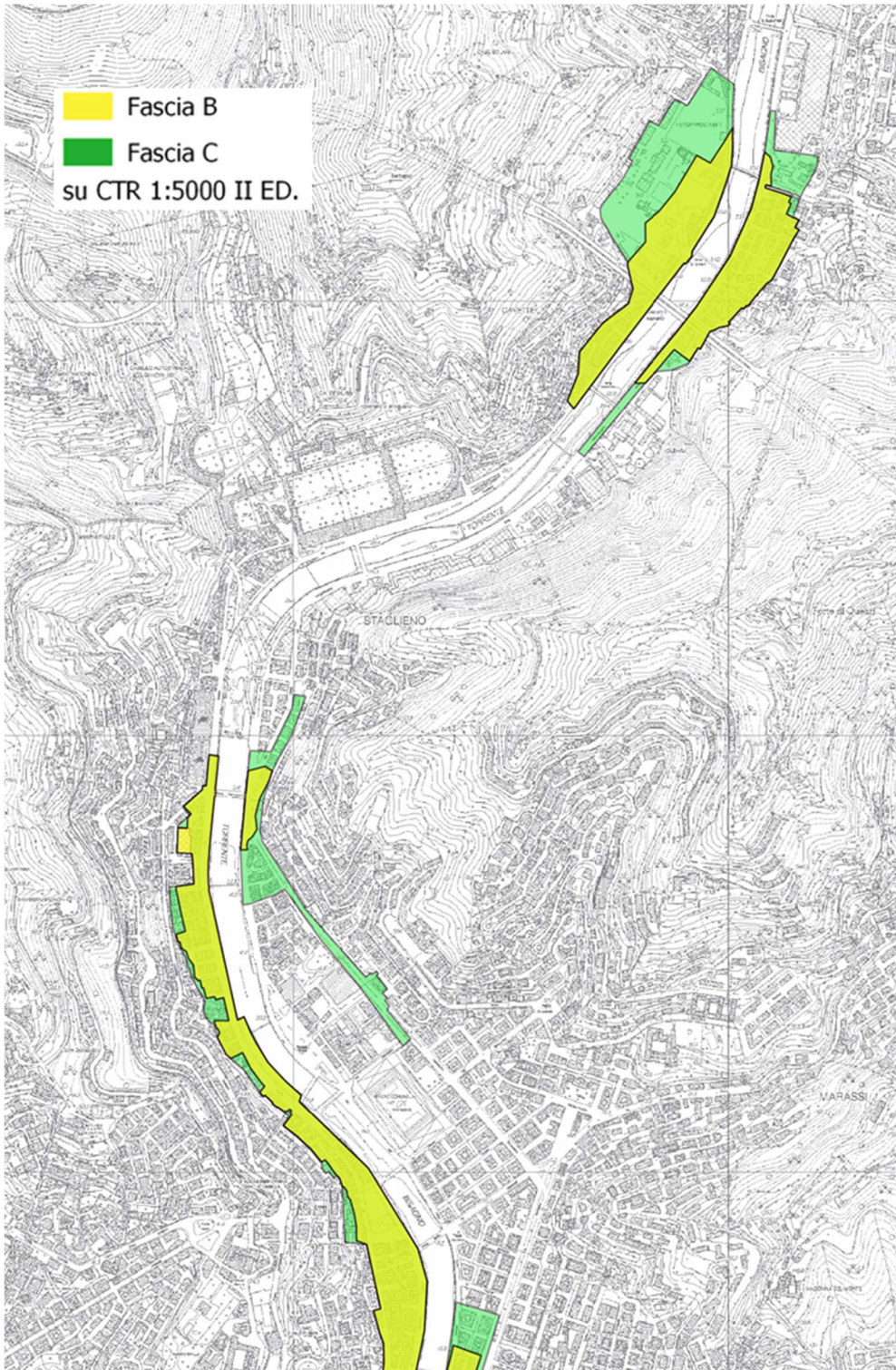


Figura 44 – Estensione delle nuove fasce B e C proposte per il torrente Bisagno, tratto di monte.

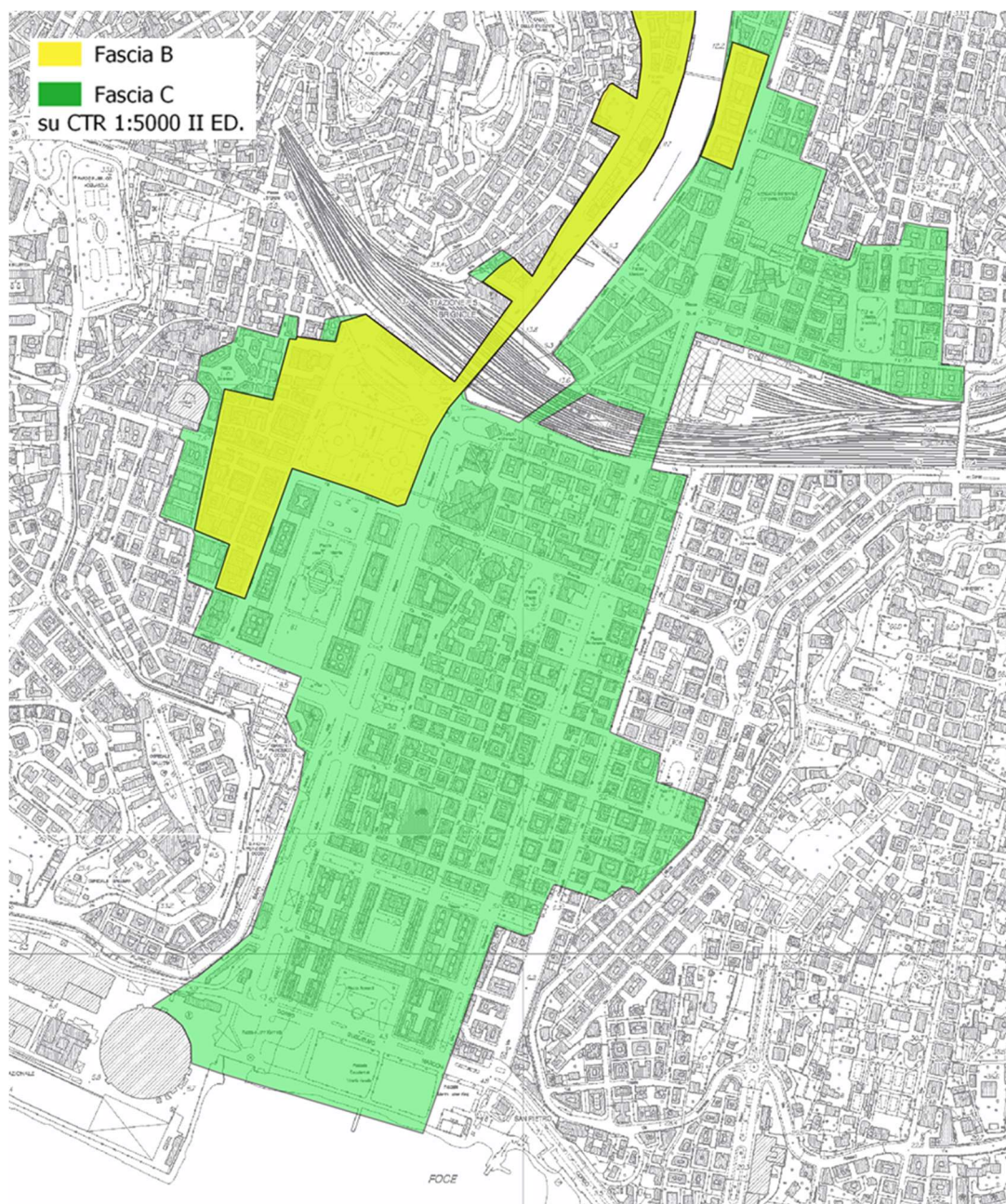


Figura 45 – Estensione delle nuove fasce B e C proposte per il torrente Bisagno, tratto di valle.

Sono state inoltre 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 46.

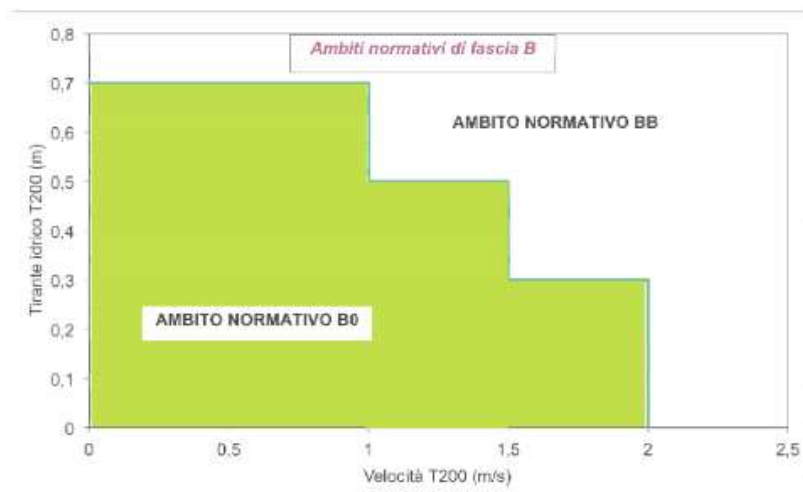


Figura 46 – Definizione degli ambiti BB e B0 di fascia B ai sensi della DGR 91/2013.

Gli ambiti "B0" e "BB" per il tratto di studio del torrente Bisagno sono rappresentati in Figura 47 (derivati dall'involuppo dei risultati degli scenari simulati).

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 46, ma la cui estensione risulta limitata, discontinua e spesso legata a locali aree depresse.

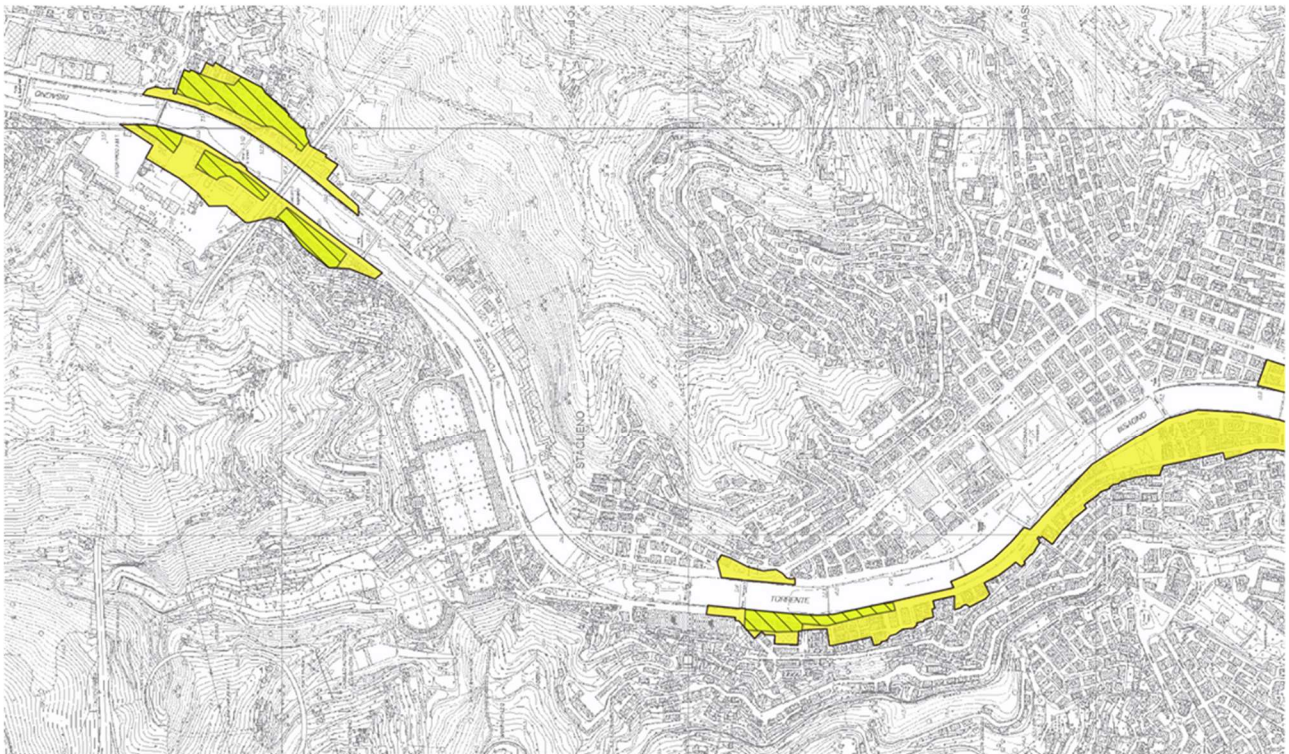
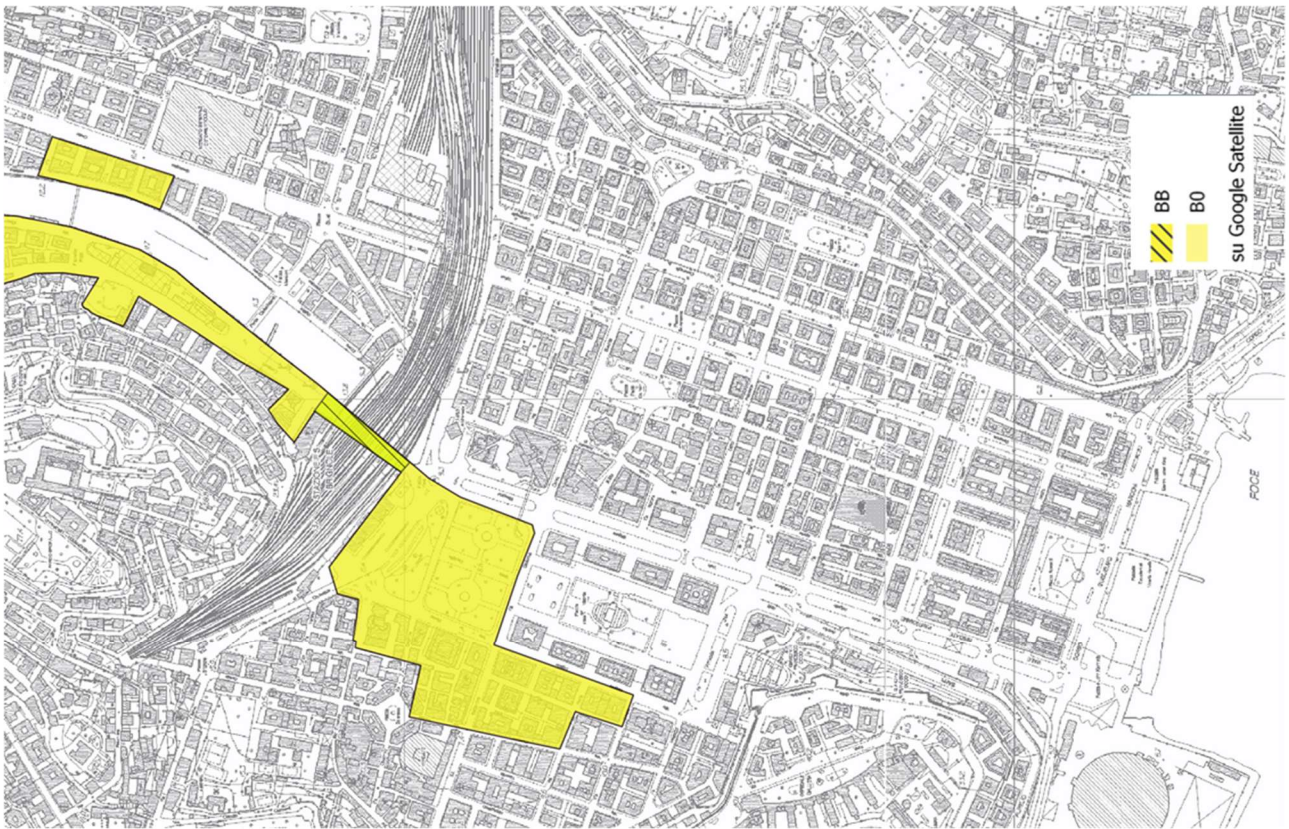


Figura 47 – Definizione degli ambiti BB e B0 di fascia B ai sensi della DGR 91/2013, tratto monte (sopra) e valle (sotto).

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 (circa 290 m), sviluppandosi al di sotto di fabbricati a uso commerciale fino allo sbocco nel torrente Bisagno.

Poco a monte della tombinatura l'alveo è piuttosto inciso (Figura 49), come osservabile dallo stralcio di rilievo rappresentato in Figura 48, 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 50).

Nell'ambito del progetto esecutivo dello scolmatore, come già anticipato, 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 posta poco a valle della passerella pedonale e della briglia selettiva.

Il deflusso a valle nell'alveo attuale sarà limitato da una tubazione di diametro 400 mm, per assicurare la compatibilità del deflusso con la sezione della tombinatura (più ampia: dimensioni minime 1,3 m x 1,4 m). L'eccedenza della portata di piena sarà captata mediante uno sfioratore laterale e convogliata in un canale chiuso a sezione rettangolare, in calcestruzzo. Esso 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 del Bisagno 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. In Figura 51 è fornito uno schema planimetrico degli interventi descritti.

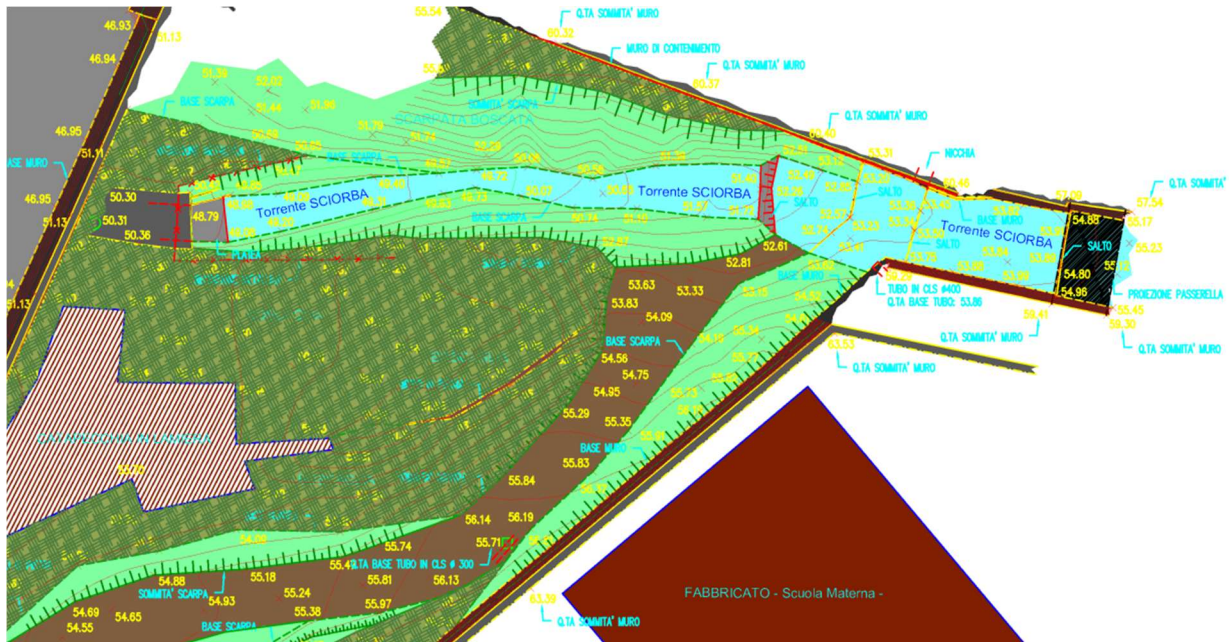


Figura 48 – Stralcio planimetrico del rilievo celerimetrico del rio Sciorba a monte dell'imbocco della tombinatura (2017).



Figura 49 – Sezione del rio Sciorba poco a monte dell'imbocco della tombinatura, a valle della passerella pedonale.



Figura 50 – Briglia selettiva sul rio Sciorba a monte della tombinata (sx); imbocco della tombinata (dx).

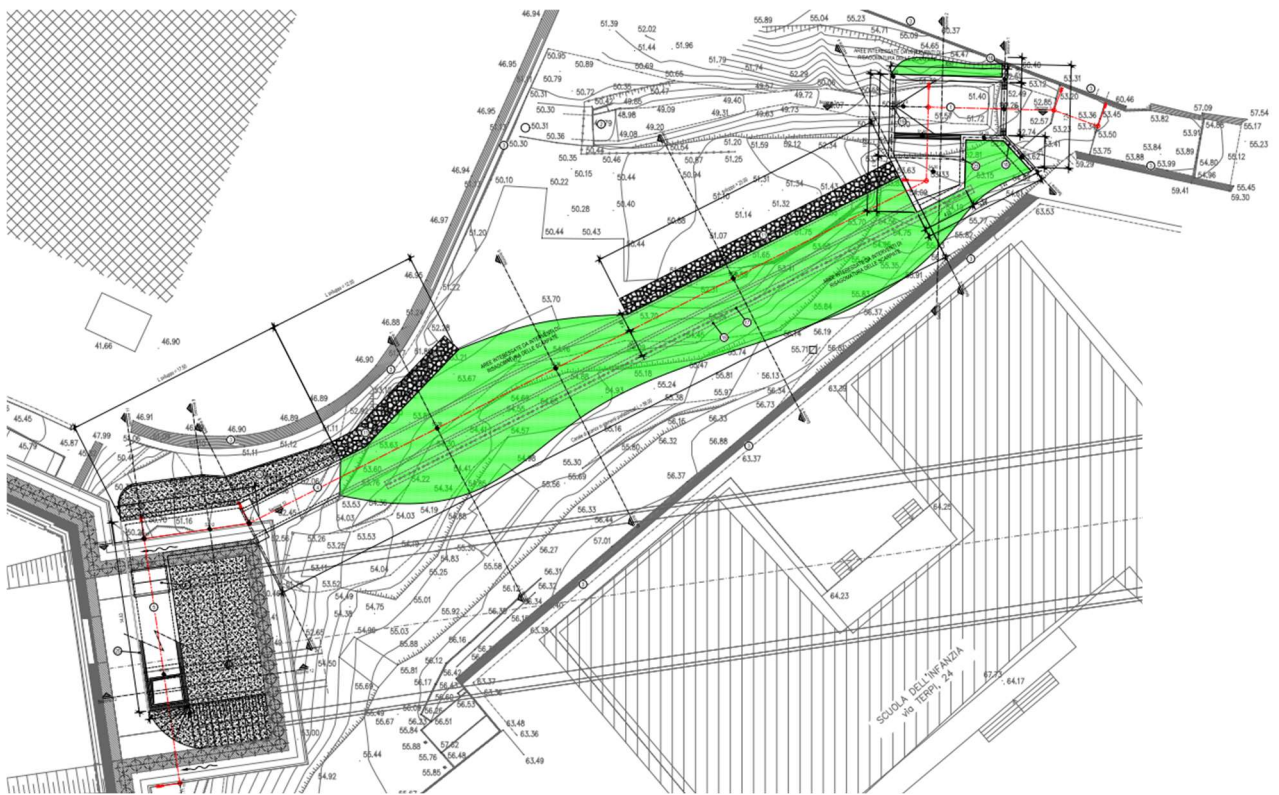


Figura 51 - Schema planimetrico degli interventi in progetto sul rio Sciorba.

8.2 Analisi dell'assetto idraulico

La portata defluente nel rio con tempo di ritorno 200 anni è stata definita nel Piano di Bacino stralcio del torrente Bisagno, ed è pari a 8,50 m³/s.

Secondo quanto riportato nella documentazione allegata al Piano di Bacino, allo stato attuale il deflusso della portata duecentennale 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).

Per gli eventi con tempo di ritorno di 50 e 200 anni la tombinatura risulta 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.

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, utilizzando il codice di calcolo MIKE11 del DHI.

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 la portata residua che continua a defluire verso l'alveo a valle è pari a circa 0,30 m³/s, mentre la porzione predominante (oltre il 95%) viene deviata verso la galleria scolmatrice.

Questa portata residua 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%), in condizioni di deflusso libero alla foce.

È stata anche condotta una valutazione integrativa che considera un'improbabile concomitanza tra gli eventi di piena duecentennali di Sciorba e Bisagno, con quindi lo sbocco del rio rigurgitato dai massimi livelli di piena del torrente.

Questa condizione di valle imposta influisce sui livelli nel collettore causandone l'incremento; in particolare il riempimento medio diventa pari a circa il 15% e il riempimento massimo (sezione di valle, rigurgitata) è pari al 74%. La modalità di deflusso rimane comunque a pelo libero per l'intero collettore.

In conclusione quindi la realizzazione del manufatto scolmatore produce come atteso una rilevante mitigazione del rischio idraulico per il rio Sciorba, evitando le condizioni di deflusso in pressione che oggi si possono verificare nella tombinatura terminale.