

REGIONE LIGURIA
Dipartimento Ambientale e Protezione Civile
Settore Assetto del Territorio

**Studio idraulico di dettaglio del Rio Lagaccio
in comune di Genova finalizzato
alla perimetrazione delle fasce di inondabilità e
all'individuazione di scenari progettuali**

INDICE	DATA	MODIFICHE	DISEGN.	CONTR.	APPROV.
01	09/22	Integrazione con scenari di intervento	PP	DC	MF
00	09/22	Emissione	PP	DC	MF
RELAZIONE					
I CONSULENTI: Dott. Ing. Denis Cerlini Dott. Ing. Michele Ferrari Dott. Ing. Marco Belicchi Dott. Ing. Nicola Pessarelli			HANNO COLLABORATO: Dott. Ing. Paolo Polo		
			SCALA: -		
			DISEGNO: RLAG 0.01		
 Via Inama, 7 - 20133 Milano - tel. +39.02.70120918 fax +39.02.70120923 Via Cavallotti, 16 - 43121 Parma - tel. +39.0521.508419 fax +39.0521.221022			SETTEMBRE 2022		

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GENERALE	3
2.1 NOTIZIE STORICHE	3
2.2 IL PIANO DI BACINO VIGENTE	3
2.3 PORTATE DI RIFERIMENTO DEL PIANO DI BACINO	4
3. ANALISI IDROLOGICA	6
3.1 MODELLO IDROLOGICO.....	6
3.1.1 <i>Il modello HEC-HMS</i>	8
3.1.2 <i>Input pluviometrico</i>	10
3.1.3 <i>Idrogrammi di piena</i>	10
4. MODELLO DEL TRATTO TOMBINATO	13
4.1 RILIEVO TOPOGRAFICO.....	13
4.2 SISTEMA FOGNARIO	23
4.3 CODICE DI CALCOLO SWMM (STORM WATER MANAGEMENT MODEL)	27
4.4 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO	27
4.5 CONDIZIONI AL CONTORNO	39
4.6 RISULTATI DEL MODELLO	41
5. MODELLO DI ALLAGAMENTO	52
5.1 BASE TOPOGRAFICA.....	52
5.2 CODICE DI CALCOLO HEC-RAS.....	52
5.3 SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO	54
5.3.1 <i>Zona della vecchia diga</i>	56
5.3.2 <i>Ex caserma Gavoglio</i>	57
5.3.3 <i>Via del Lagaccio</i>	59
5.3.4 <i>Stazione Piazza Principe</i>	59
5.3.5 <i>Zona via Mura Zingari</i>	64
5.3.6 <i>Muretto di separazione area competenza FS con la zona portuale</i>	66
5.4 CONDIZIONI AL CONTORNO	67
5.5 RISULTATI DEL MODELLO	70
6. SCENARI DI INTERVENTO.....	75
7. CONCLUSIONI	84
8. ELENCO ELABORATI.....	86

1. PREMESSA

Con Decreto Dirigenziale 2617 del 27.04.22 la Regione Liguria ha affidato alla scrivente Majone e Partners Srl lo *Studio idraulico di dettaglio del rio Lagaccio in Comune di Genova, finalizzato alla perimetrazione delle fasce di inondabilità e all'individuazione di scenari progettuali*.

Tale studio è finalizzato alla definizione del quadro della pericolosità idraulica del piano di bacino dell'Ambito 14 collegata al rio Lagaccio, nonché all'individuazione di scenari di mitigazione del rischio a livello di fattibilità tecnica.

La presente relazione nello specifico costituisce la relazione tecnica che illustra le attività svolte, i dati utilizzati e gli approfondimenti idrologici e idraulici effettuati ai fini della definizione dell'attuale quadro di pericolosità.

Nei paragrafi a seguire, dopo un richiamo al Piano di Bacino, viene quindi dettagliatamente illustrata l'analisi idrologica svolta ed i successivi approfondimenti idraulici in relazione al tratto tombato del rio in esame e correlati scenari di allagamento in relazione alle situazioni di insufficienza e criticità evidenziate nell'analisi.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Notizie storiche

Il quartiere, e presumibilmente anche il Rio stesso, prende il nome dal bacino artificiale, popolarmente chiamato "il lagaccio", utilizzato fin dal XVII secolo dal governo della Repubblica di Genova per alimentare le fabbriche di polveri da sparo che erano state impiantate nella valle del rio S. Tomaso. La diga era stata costruita nel 1539 per volere del principe Andrea Doria al fine di creare un lago artificiale destinato ad irrigare i giardini ed alimentare le fontane della reggia (l'edificazione del Palazzo del Principe è del 1530). L'acquedotto fu terminato nel 1540 con un lavatoio pubblico. Il lago è stato interrato negli anni settanta del Novecento.

Il rio Lagaccio è uno dei rivi del centro storico di Genova, rivi delimitati dal bacino del torrente Bisagno a Est, dal bacino del fosso Promontorio Sampierdarena a Ovest e dallo specchio acqueo portuale a Sud.

Per la quasi totalità del loro percorso rivi sono tombinati, le canalizzazioni sono state realizzate in tempi successivi e con modalità costruttive eterogenee. Nei rivi, oltre alle acque bianche, hanno recapito anche i collettori della rete fognaria nera e mista delle aree urbanizzate che attraversano; ciò ha modificato la funzione originale e il regime idraulico degli alvei trasformandoli in veri e propri collettori fognari principali.

2.2 Il Piano di Bacino vigente

Il rio Lagaccio ricade nell'ambito 14 del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Liguria, ora appartenente all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Lo strumento di pianificazione vigente relativamente all'assetto idraulico è il "*Piano di Bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico Ambito 14*", approvato con DCP 59 del 17/12/2003 e modificato con DGR 998 del 28/10/2016.

Il rio Lagaccio non risulta "indagato" ed è di conseguenza privo di aree inondabili, a meno di una porzione in fascia A* (eventi storici) nelle zone attigue allo sfocio in mare, come riportato nella figura seguente.

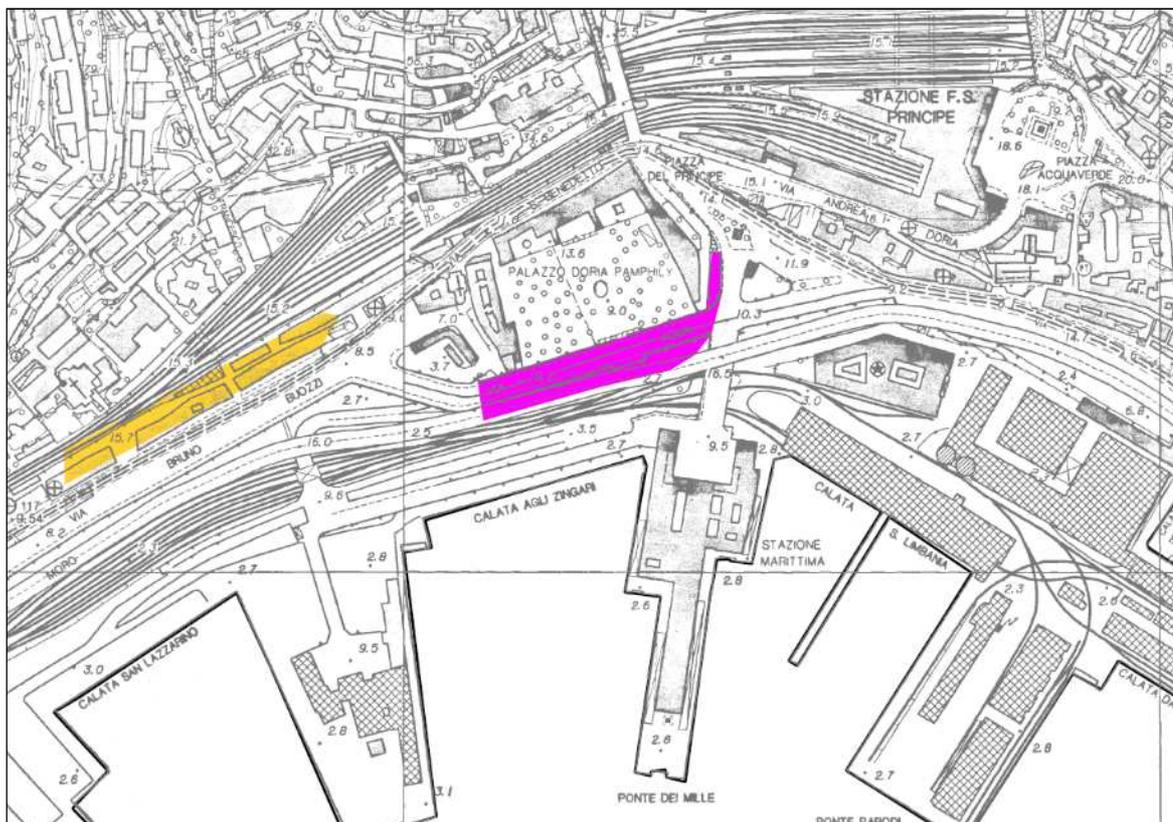


Figura 1 Stralcio carta fasce fluviali del Piano di Bacino

2.3 Portate di riferimento del Piano di Bacino

La tabella seguente, estratta dalla *Relazione Generale Piano di Bacino Stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico*¹, riporta le portate al colmo per la sezione di chiusura del rio Lagaccio (a monte della confluenza con il rio S. Ugo).

Tabella 1 Portate al colmo del rio Lagaccio definite dal Piano di Bacino.

¹ http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/ambito14/documenti/GE_Amb14_RelGenAmb14_rev07.pdf

<i>Rio Lagaccio</i>												
Sez.	Area [km ²]	T _c [min]	T=5	T=10	T=30	T=50		T=100	T=200		T=500	
			CIMA [m ³ /s]	CIMA [m ³ /s]	CIMA [m ³ /s]	Metodo raz. [m ³ /s]	CIMA [m ³ /s]	CIMA [m ³ /s]	Metodo raz. [m ³ /s]	CIMA [m ³ /s]	Metodo raz. [m ³ /s]	CIMA [m ³ /s]
E	2.36	50	28	39	64	82	76	94	103	111	118	133

Le portate di riferimento sono quelle calcolate per via esclusivamente idrologica con il metodo razionale, considerando un coefficiente di deflusso pari a 1.0, come indicato nella Relazione succitata, visto il prevalente ambito urbano del bacino del Lagaccio.

3. ANALISI IDROLOGICA

Il Piano di Bacino definisce le portate al colmo del rio Lagaccio con metodi esclusivamente idrologici senza approfondire le reali dinamiche di formazione delle onde di piena in un territorio complesso. Tali dinamiche sono invece essenziali per una corretta definizione delle aree allagabili, per tale motivo è stato realizzato un apposito modello idrologico per la definizione degli idrogrammi nei punti salienti del bacino.

3.1 Modello idrologico

La parte più a monte del rio Lagaccio è costituita da zone naturali che sono drenate, oltre che dal rio Lagaccio, dai rii Guagnino, Banchette e Granarolo, Figura 2. Questi rii sono tombinati e confluiscono nel Lagaccio anch'esso tombinato. A valle delle tombinature è presente un bacino residuo ancora in buona parte naturale, che si estende fino poco a valle degli impianti sportivi Felice Ceravolo. Da lì verso valle il bacino è prettamente urbano, drenato dalla rete fognaria, incluso il rio 5 Santi che di fatto è un collettore fognario attualmente tutto tombinato che confluisce nel rio Lagaccio in corrispondenza all'ex caserma Gavoglio.

Per una corretta analisi della formazione delle onde di piena e per una successiva rappresentazione all'interno del sistema idraulico è quindi necessario definire le portate in questi sottobacini mediante un modello afflussi-deflussi.



Figura 2 Bacino del Lagaccio

3.1.1 Il modello HEC-HMS

La modellazione afflussi-deflussi è stata effettuata per mezzo del software HEC-HMS² (sviluppato dall'US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center), che è specifico per la modellazione idrologica dei bacini idrografici e quindi per la determinazione delle portate di piena attese in determinate sezioni del bacino in funzione dei tempi di ritorno considerati.

La schematizzazione dei sottobacini ha seguito la suddivisione sopra descritta, chiudendo i rii di monte alle sezioni di imbocco dei tratti tombinati e suddividendo il bacino residuo in tre ulteriori sottobacini: area naturale, rio Cinque Santi (urbanizzato) e bacino urbano.

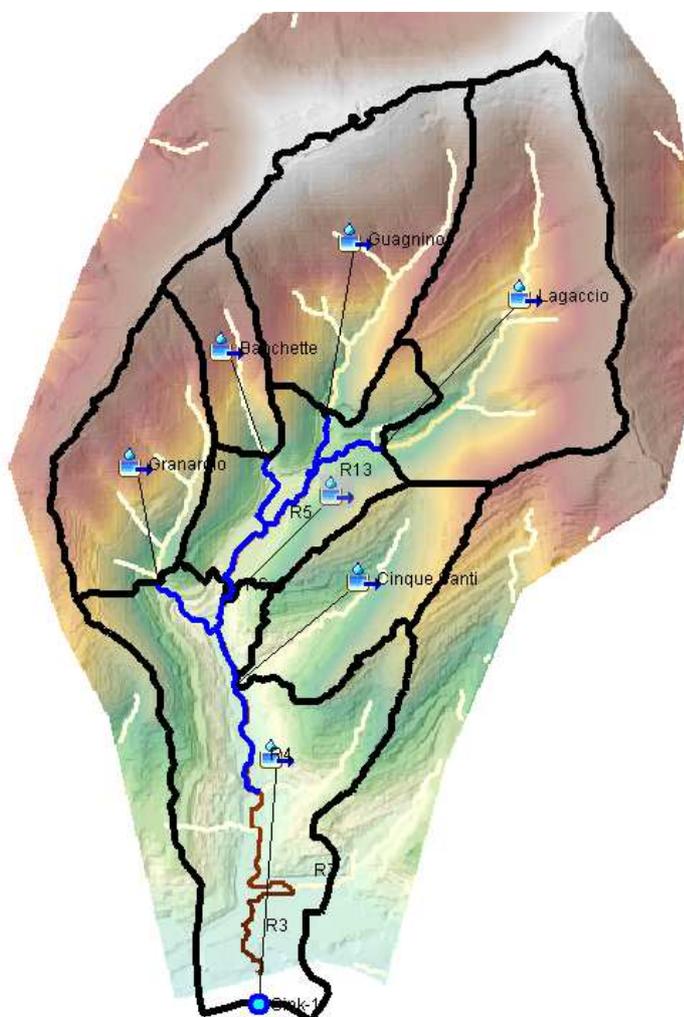


Figura 3 Schema HMS del bacino del Lagaccio

² <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

Per il calcolo della portata al colmo si è fatto uso dei seguenti metodi: è stato utilizzato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service per calcolare il volume efficace, e poi con l'idrogramma unitario di Clark è stato calcolato il valore di portata al colmo.

Il metodo del Curve Number è empirico e basato su un'equazione che lega il volume specifico di pioggia netta al volume specifico di pioggia lorda caduta nel medesimo intervallo temporale. Il CN è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale) e varia da zero a cento. Le perdite iniziali (dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali) sono valutate come $I_a = 0.2 \cdot S$ dove:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Per la definizione del CN nei bacini naturali si è fatto riferimento agli studi per i Piani di Bacini dei corsi limitrofi. Nella *Relazione generale del Piano di Bacino Stralcio del torrente Polcevera*³ è indicato un valore CN=90 utilizzato in tutto il bacino e $I_a = 0.2 \cdot S$. In *Sottobacini e parametri caratteristici Piano di Bacino Stralcio del torrente Bisagno*⁴ il CN definito per il torrente Veilino è pari a 92/93.

Nei bacini naturali è stato utilizzato un CN=90, per i bacini urbanizzati è stato invece considerato un CN=100 che equivale ad un coefficiente di deflusso pari a 1.0.

I tempi di concentrazione della formulazione di Clark sono stati valutati con la formula di Viparelli, indicata nella Relazione Generale per l'Ambito 14 (precedentemente citata). I coefficienti di immagazzinamento, sempre della formula di Clark, sono stati utilizzati per calibrare il modello ed ottenere una portata al colmo per Tr-200 circa uguale a quello definito dal Piano di Bacino.

3

http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/polcevera/documenti/GE_Polcevera_RelazioneGenerale_DD_G435_2021.pdf

4 <http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/bisagno/documenti/Sottobacini.pdf>

3.1.2 Input pluviometrico

Per la definizione delle piogge si è fatto riferimento alle curve di possibilità pluviometrica della stazione di Genova Università, riportate nella Relazione Generale per l'Ambito 14 (precedentemente citata). Sono stati considerati degli ietogrammi Chicago di durata complessiva 50 minuti, come il tempo di corrivazione definito per il Lagaccio dal Piano di Bacino (cfr. Tabella 1) e passo 10 minuti, Figura 4.

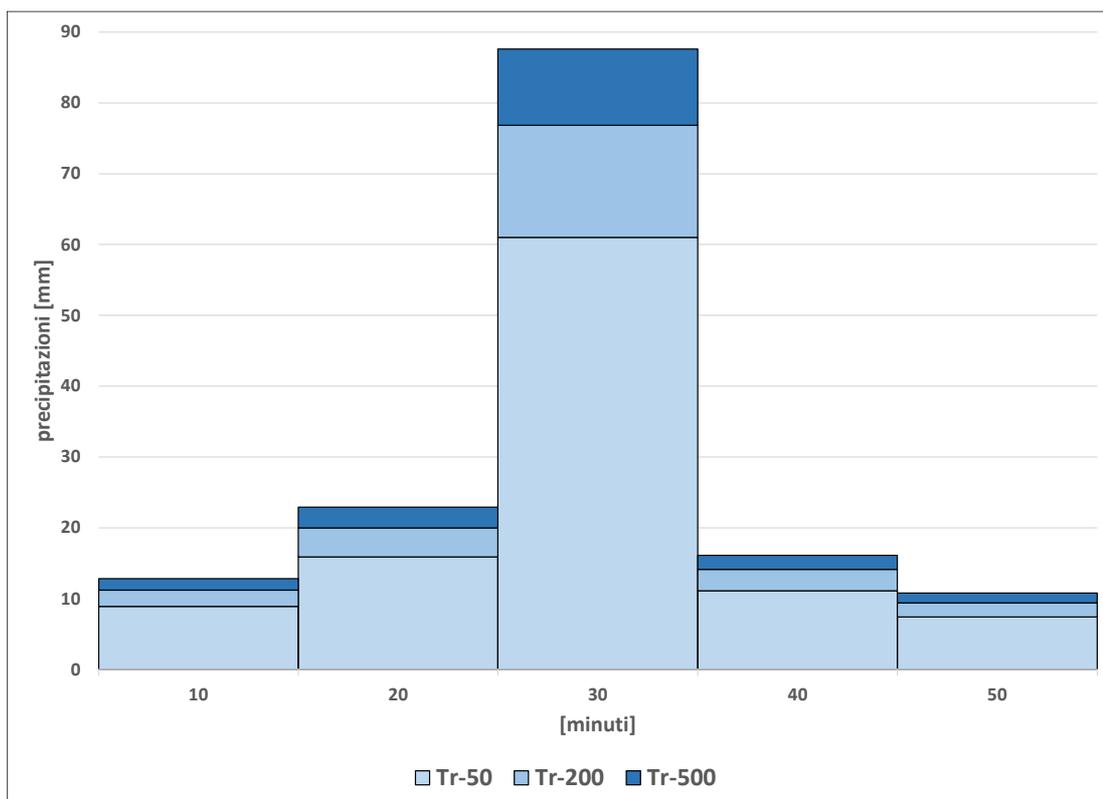


Figura 4 Ietogrammi per i diversi tempi di ritorno

3.1.3 Idrogrammi di piena

Come precedentemente accennato il modello HMS è stato calibrato in modo da ottenere per l'evento duecentennale la porta al colmo in foce (ad esclusione del contributo del rio S. Ugo) pari a quella definita dal Piano di Bacino, la tabella seguente riporta il confronto tra le portate ottenute, le figure seguenti riportano gli idrogrammi suddivisi anche per sottobacini.

Tabella 2 Confronto portate al colmo [m³/s]

	Piano di Bacino	HMS
Tr-50	82	78
Tr-200	103	103
Tr-500	118	120

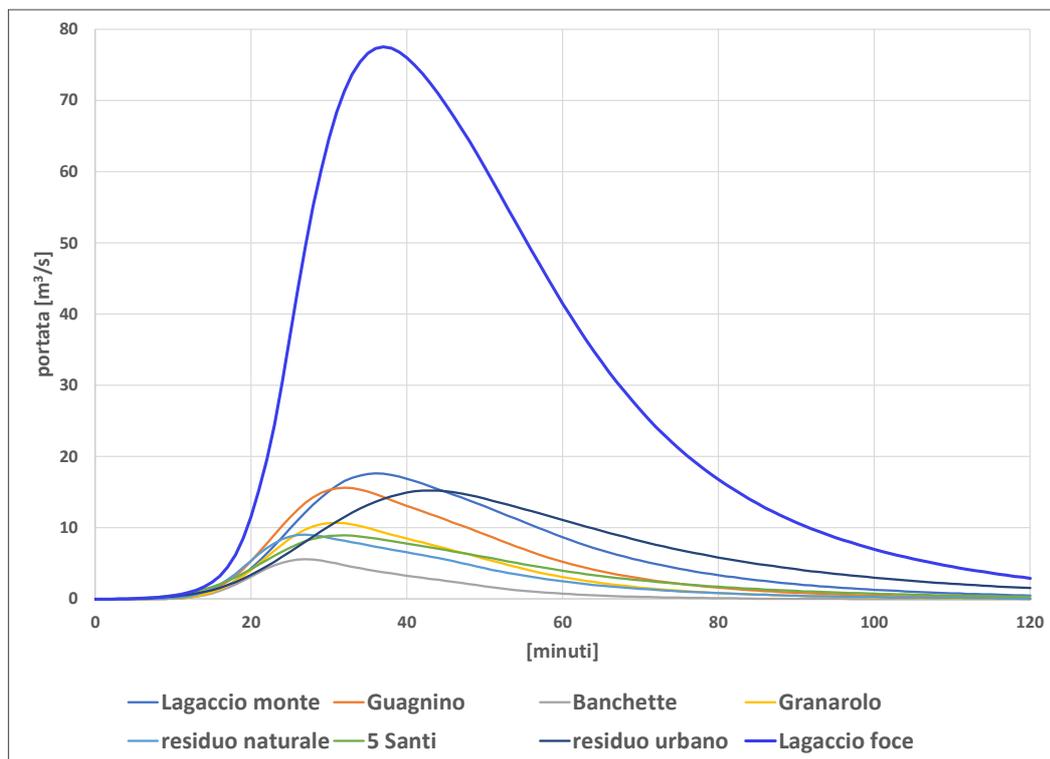


Figura 5 Idrogrammi, tempo di ritorno 50 anni

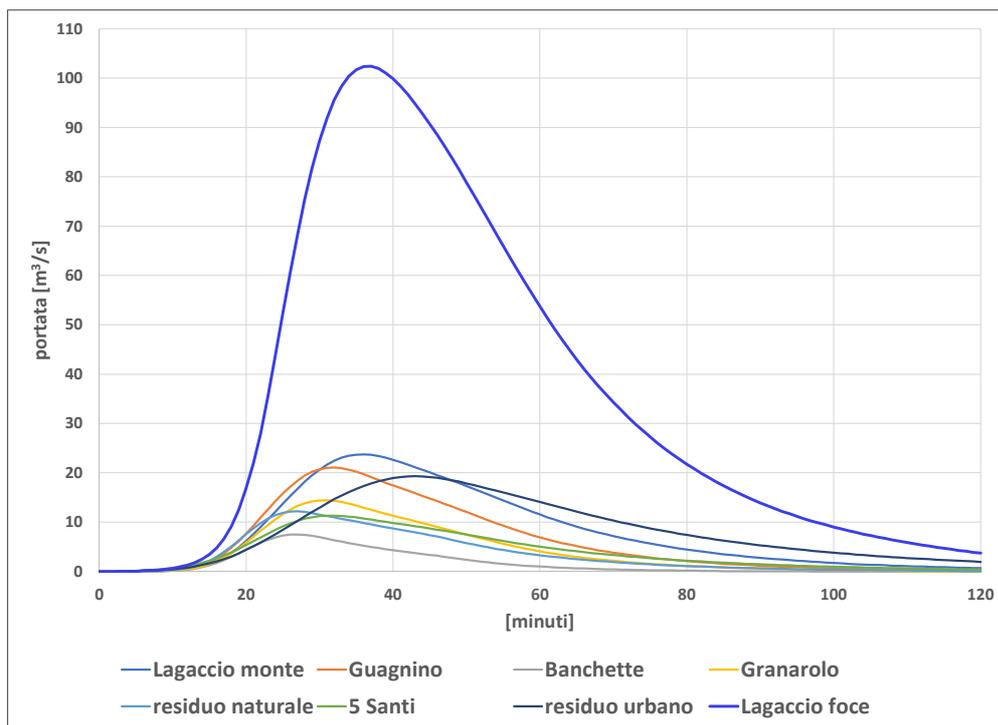


Figura 6 Idrogrammi, tempo di ritorno 200 anni

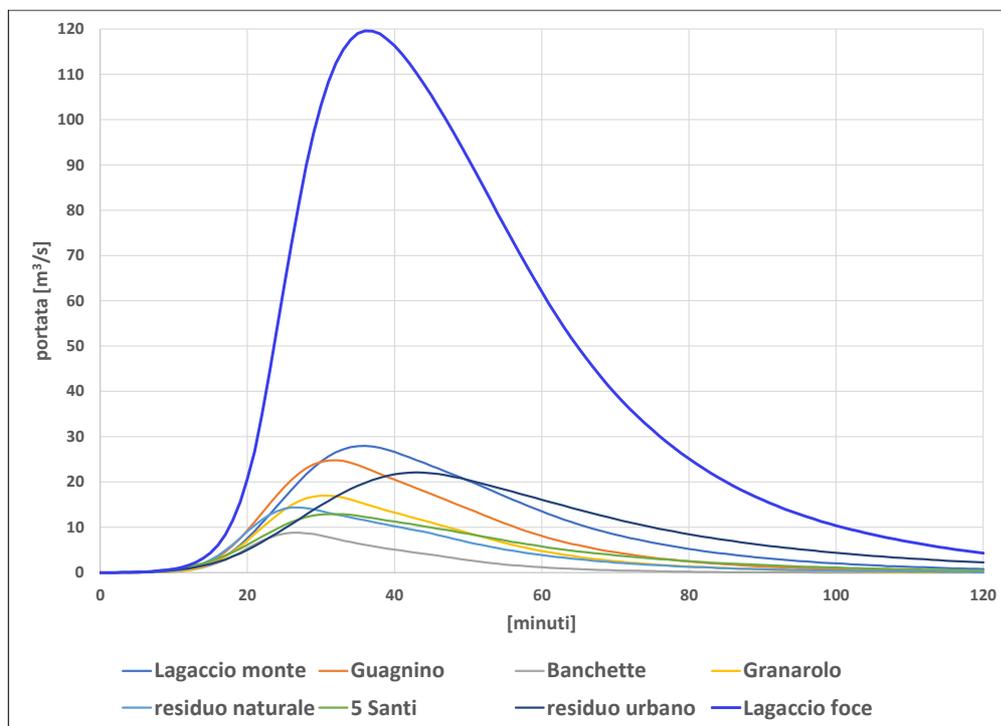


Figura 7 Idrogrammi, tempo di ritorno 500 anni

4. MODELLO DEL TRATTO TOMBINATO

Il rio Lagaccio risulta per quasi tutto il suo corso tombinato (cfr. Figura 2). Dopo l'imbocco della tombinatura il rio torna scoperto per un breve tratto (circa 30 m) a monte del complesso dell'ex caserma Gavoglio, in corrispondenza del vecchio paramento della diga che formava il lago dove oggi ci sono gli impianti sportivi (sezioni SI-5A, SI-5B e SI-5C Figura 13). Anche i tratti terminali degli affluenti risultano tombinati, il rio 5 Santi è di fatto completamente tombinato e può essere considerato una fognatura bianca a tutti gli effetti.

Per le portate estreme diversi tratti del rio risultano in pressione, per tale motivo il rio Lagaccio, e i suoi affluenti sono stati modellati con un codice di calcolo che consente di simulare tratti in pressione e la fuoriuscita in corrispondenza dei chiusini dei volumi non contenuti.

4.1 Rilievo topografico

Sezioni e profili del rio Lagaccio e della parte terminale del rio Cinque Santi derivano da un rilievo del 1980 eseguito dalla Società di Ingegneria C. Lotti e Associati, rilievo aggiornato e modificato, compatibilmente alle reali possibilità di accesso, nel 2017 dall'Area Tecnica del Comune di Genova "Aggiornamento del rilievo topografico e verifica idraulica del tratto tombinato del rio Lagaccio".

Nella Figura 8, e seguenti, è riportata la planimetria del rilievo con indicazione delle sezioni presenti nel profilo e delle relative sezioni tipo riportate nella Figura 13 e seguenti.

A seguito dell'intervento "Ex Caserma Gavoglio: Progetto della demolizione dell'edificio B e di sistemazione idraulica di un tratto tombinato del rio Lagaccio" del Comune di Genova profilo e sezioni in quel tratto sono stati modificati, la

Figura 16 riporta un estratto del progetto in cui è evidenziato il risezionamento del tratto con indicazione delle sezioni del rilievo 1980.

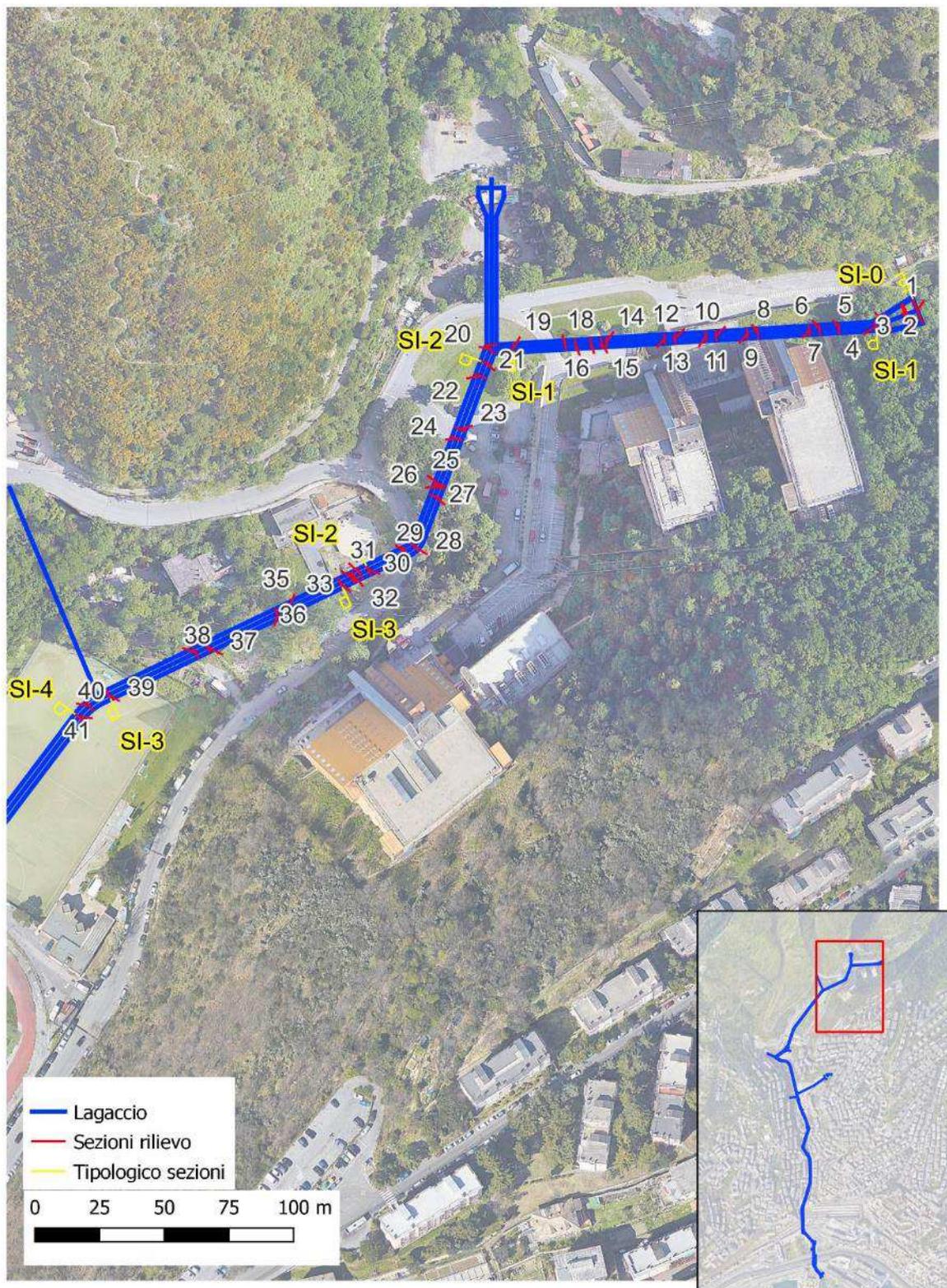


Figura 8 Planimetria tratto tombinato rio Lagaccio (parte 1)

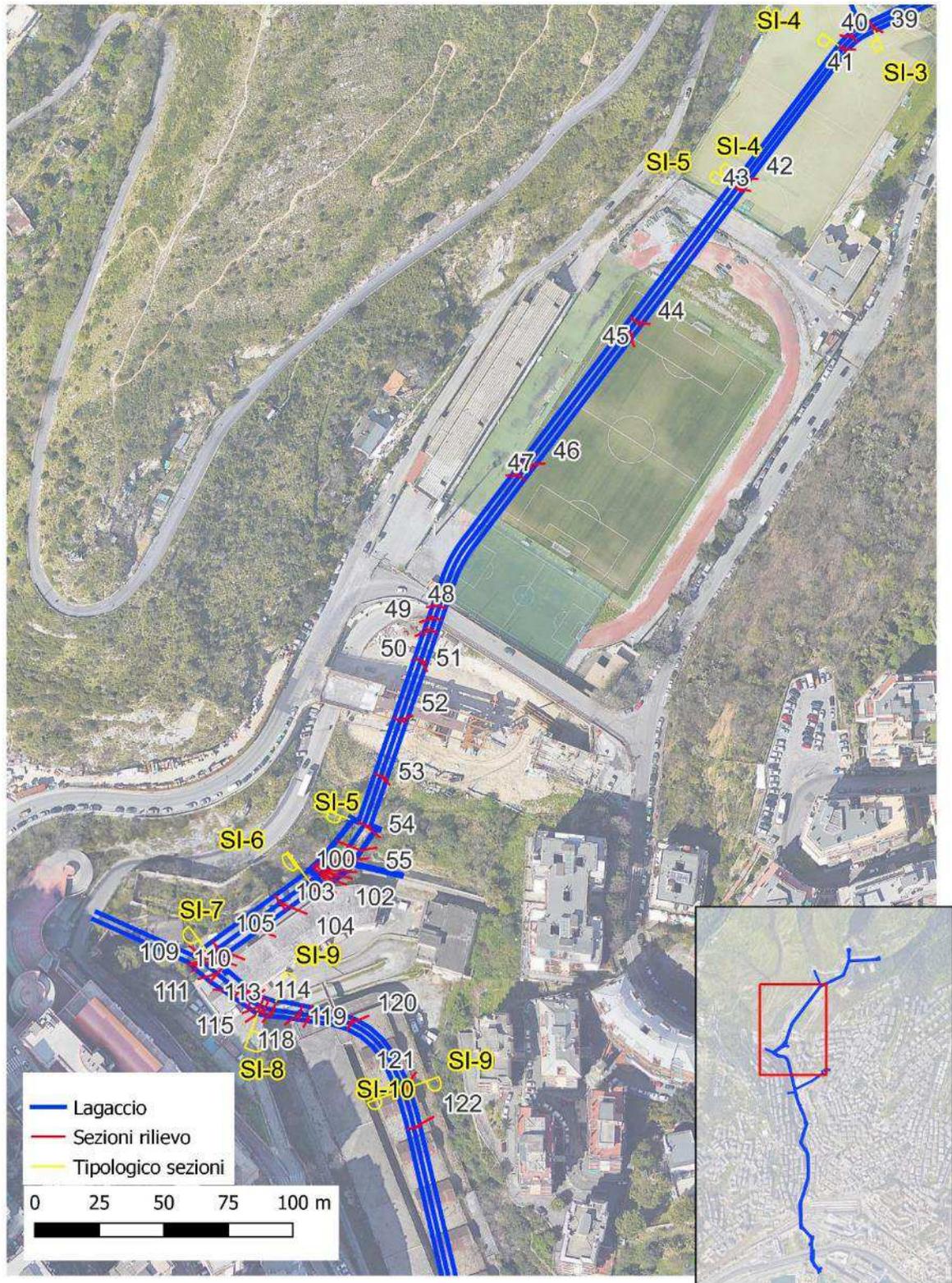


Figura 9 Planimetria tratto tombinato rio Lagaccio (parte 2)

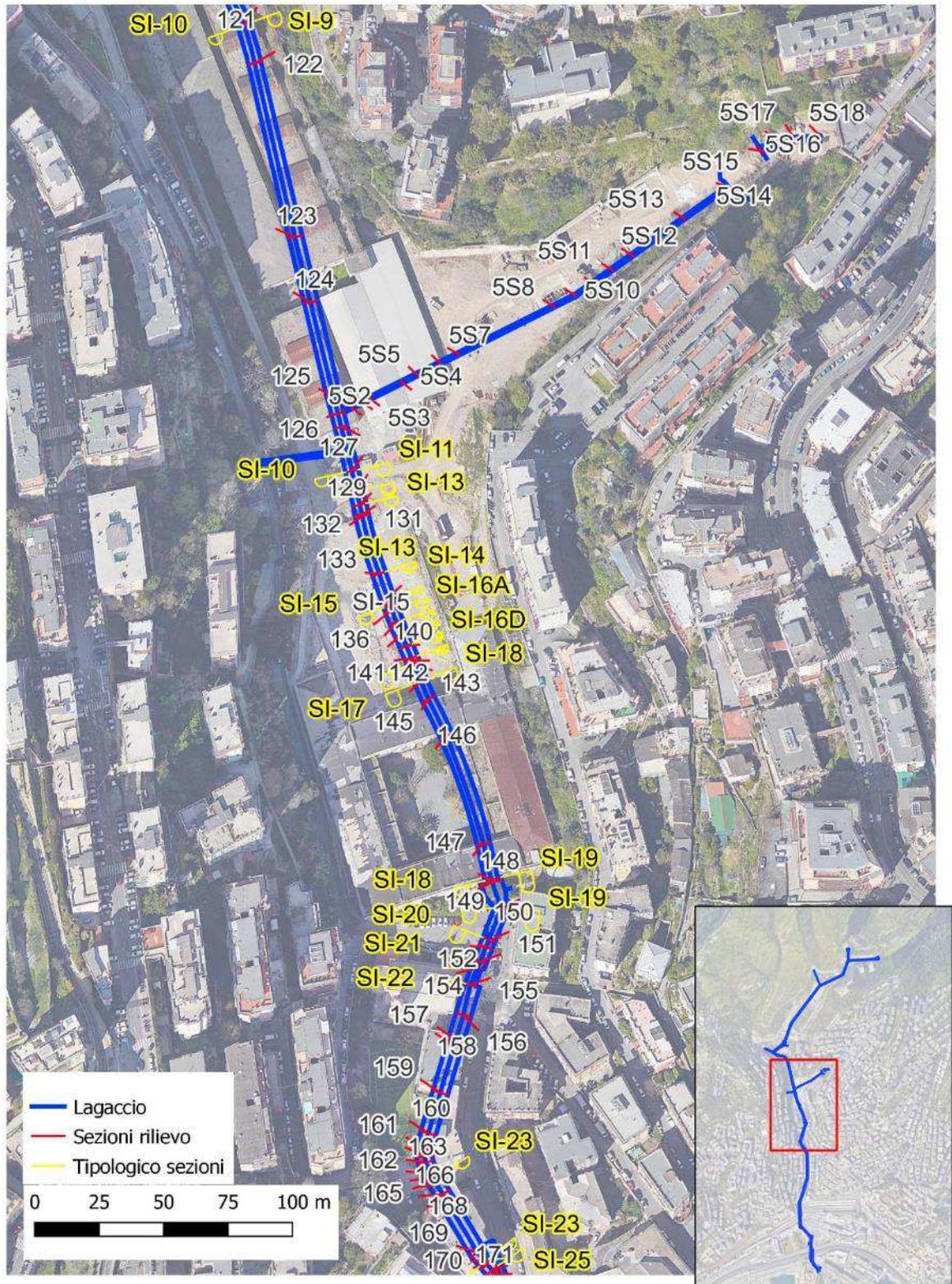


Figura 10 Planimetria tratto tombinato rio Lagaccio (parte 3)

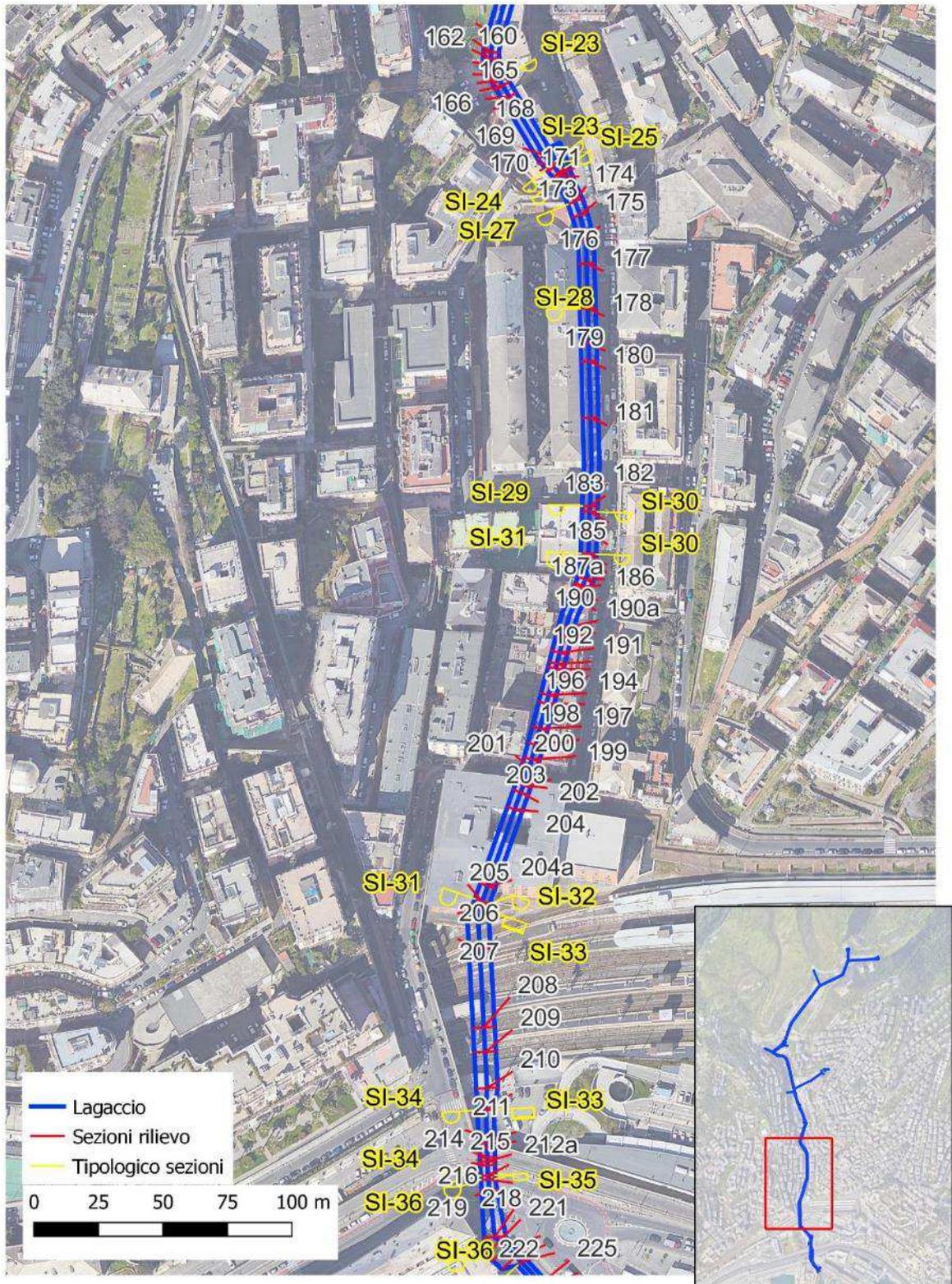


Figura 11 Planimetria tratto tombinato rio Lagaccio (parte 4)

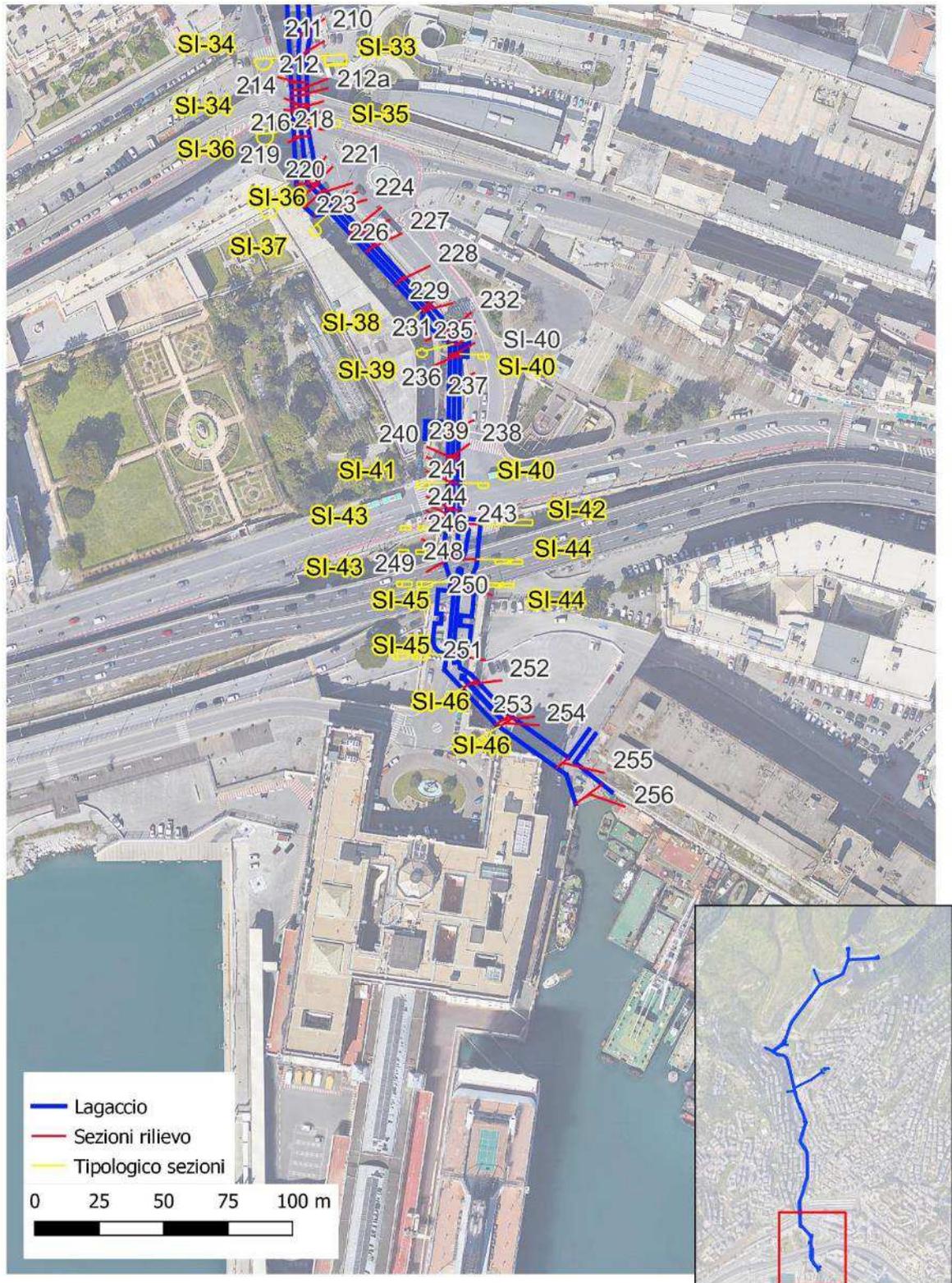


Figura 12 Planimetria tratto tombinato rio Lagaccio (parte 5)

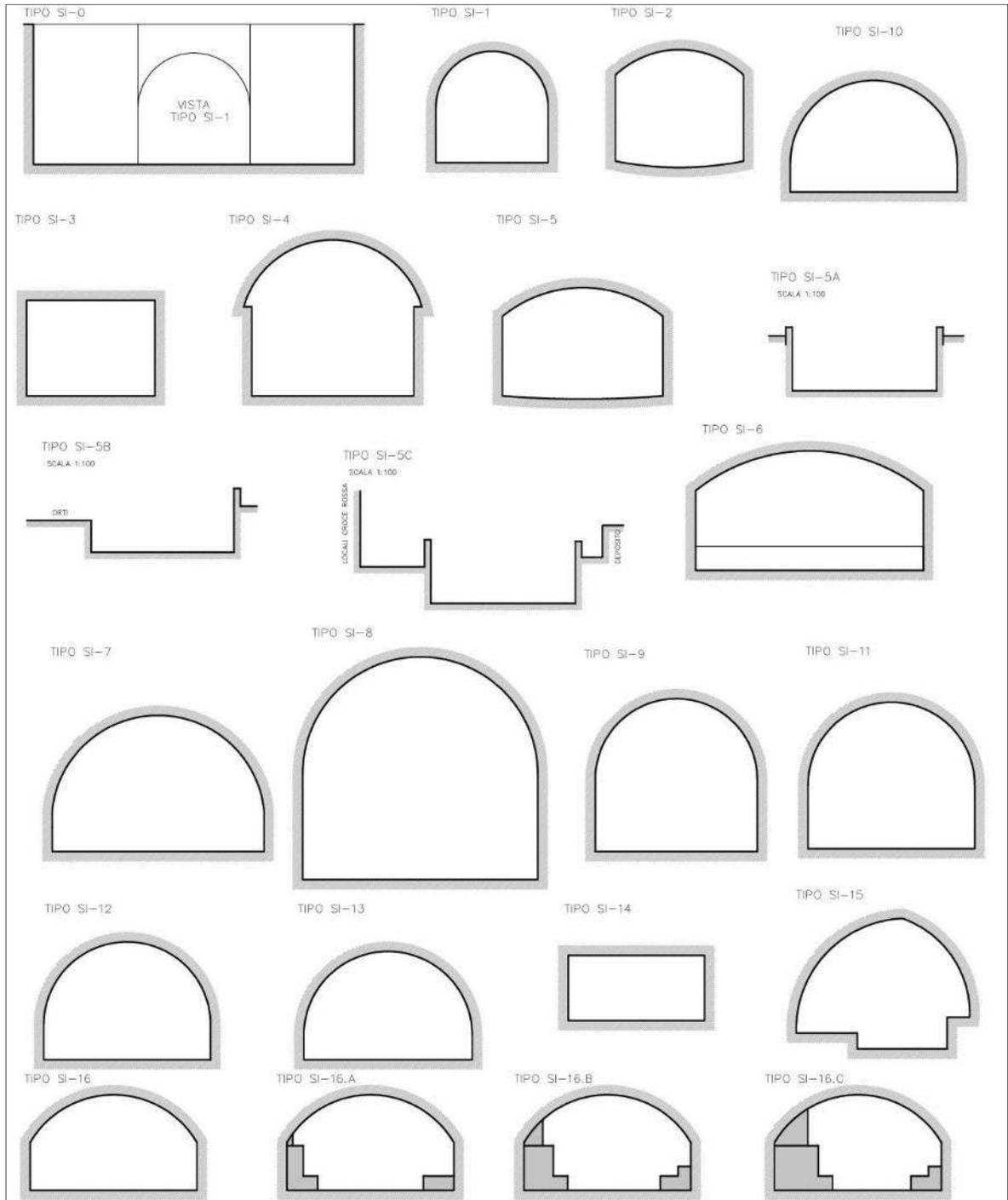


Figura 13 Sezioni tipo primo tratto rio Lagaccio (fuori scala)

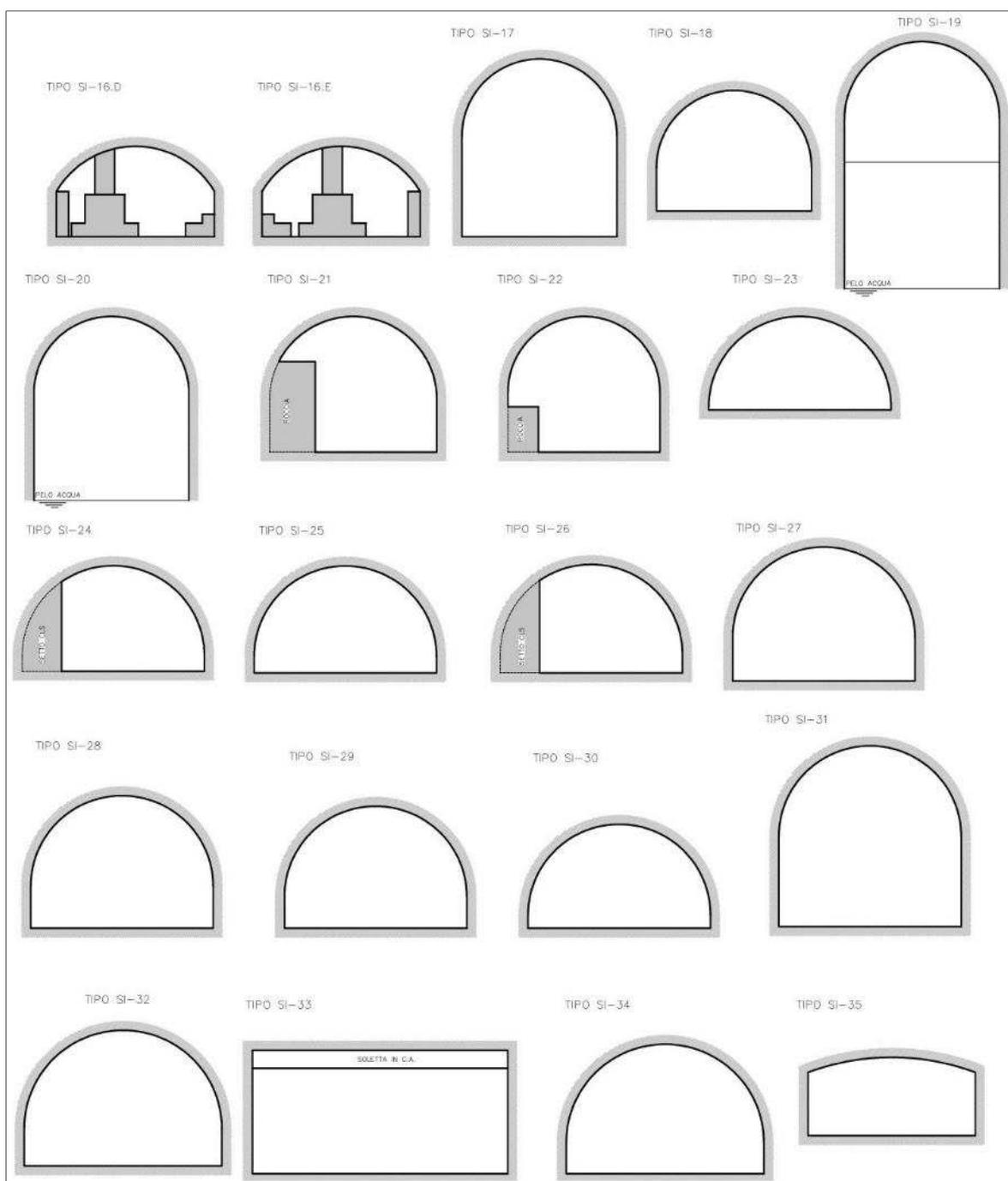


Figura 14 Sezioni tipo secondo tratto rio Lagaccio (fuori scala)

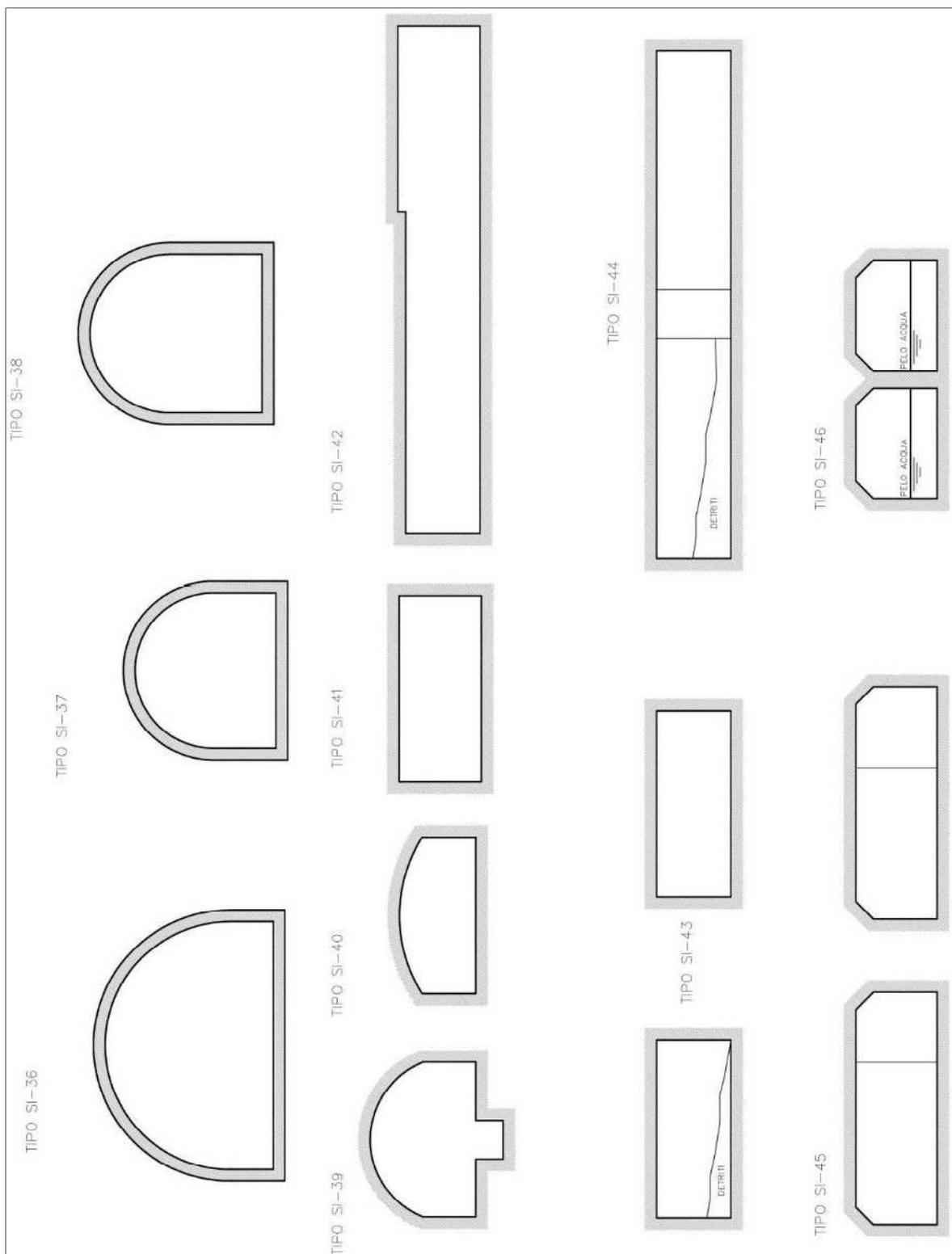


Figura 15 Sezioni tipo terzo tratto rio Lagaccio (fuori scala)

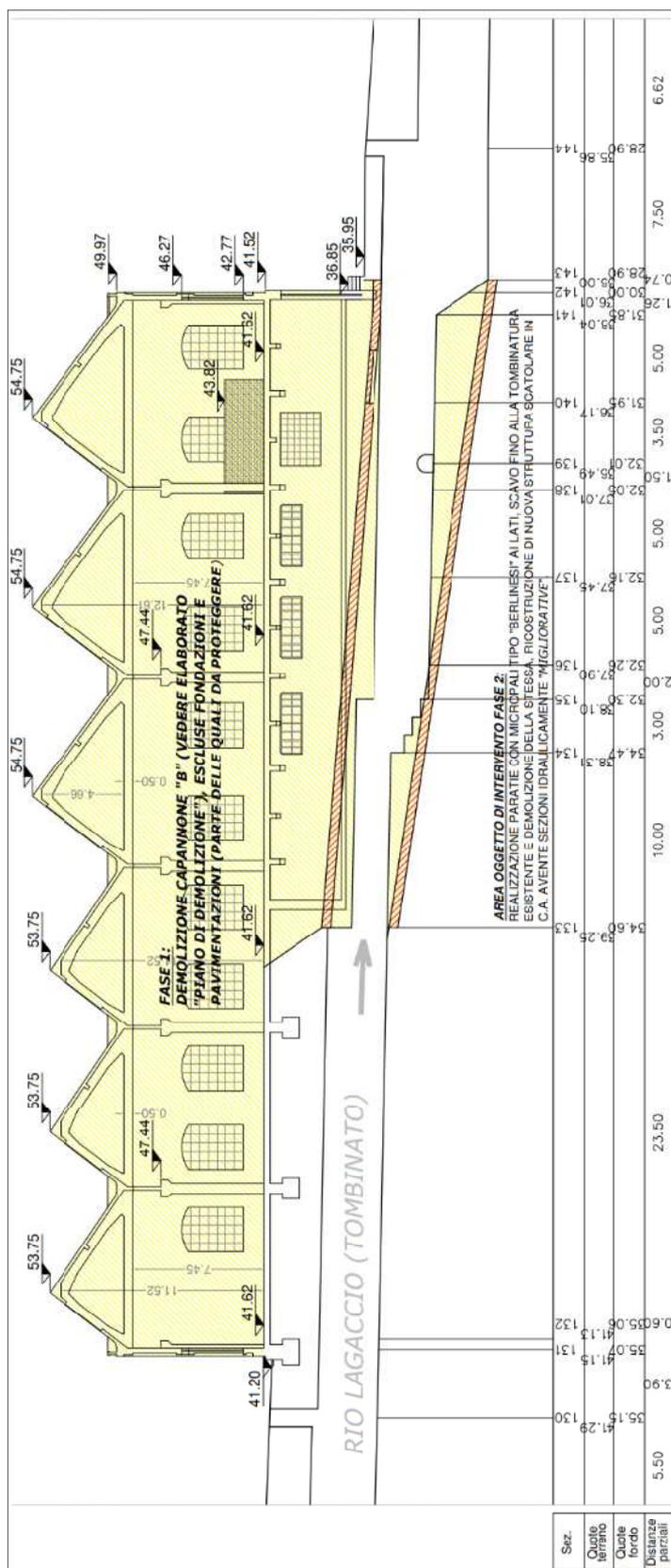


Figura 16 Estratto del progetto di sistemazione del rio Lagaccio

Sono stati infine eseguiti alcuni sopralluoghi per la verifica dei chiusini realmente presenti, in particolare all'interno dell'area dell'Ex Caserma Gavoglio, dove sono in corso lavori di sistemazione ed anche l'ispezione, da parte del gestore IREN, dell'ingresso e sottostante camerone alla sezione 140 di cui si dirà meglio in seguito.

4.2 Sistema fognario

Il sistema di fognatura bianca della parte urbana, in cui è incluso anche il rio Cinque Santi, confluisce nel del Lagaccio, ma le informazioni sul sistema sono scarse. Si è fatto riferimento alle vecchie carte del Comune, Figura 17, che riportano delle informazioni sommarie sulla rete. Le carte sono state georeferenziate e sono state digitalizzate le linee riportate, Figura 18. Incrociando le informazioni delle linee definite dalle carte e le informazioni contenute nel profilo del Lagaccio, in cui sono indicate delle immissioni non dovute agli affluenti, si è cercato di definire i punti di scarico e i bacini afferenti alle linee. Per le aree a monte della linea ferroviaria in cui non sono riportate linee, si è comunque ipotizzato un punto di scarico all'interno del Lagaccio.

Si noti che il rio Cinque Santi non collette tutto il bacino idrografico individuato, esiste infatti una linea che sembra scaricare all'altezza del campo sportivo.

Le inevitabili imprecisioni nella schematizzazione della rete non inficiano comunque i risultati che si sono ottenuti con il modello. Infatti, la definizione della rete è servita solo per considerare all'interno del Lagaccio il contributo della fognatura bianca, che però non è il totale degli idrogrammi che si generano nei bacini di drenaggio, in quanto una fognatura è generalmente progettata per un tempo di ritorno di 5/10 anni. Considerando i valori al picco della Tabella 1, si è assunto che i colmi Tr-10 siano il 48% di quelli Tr-50. I valori al colmo ottenuti dal modello idrologico (cfr. paragrafo 3.1.3) per il bacino Cinque Santi e "residuo urbano" sono stati moltiplicati per 0.48 definendo degli idrogrammi tagliati a questo valore. Tali idrogrammi sono stati ulteriormente moltiplicati per un coefficiente relativo alle aree individuate in Figura 18 per definire i singoli contributi.

Da sottolineare come i deflussi che risultano non drenati per il supposto sottodimensionamento della rete, non sono stati considerati nella definizione degli allagamenti, essendo riferibili alla deficienza della rete di fognatura e non al rio Lagaccio. Il volume trascurato è comunque contenuto nel 9% del volume totale considerato nell'evento Tr-50 e al 12 e 13% rispettivamente per gli eventi Tr-200 e Tr-500.

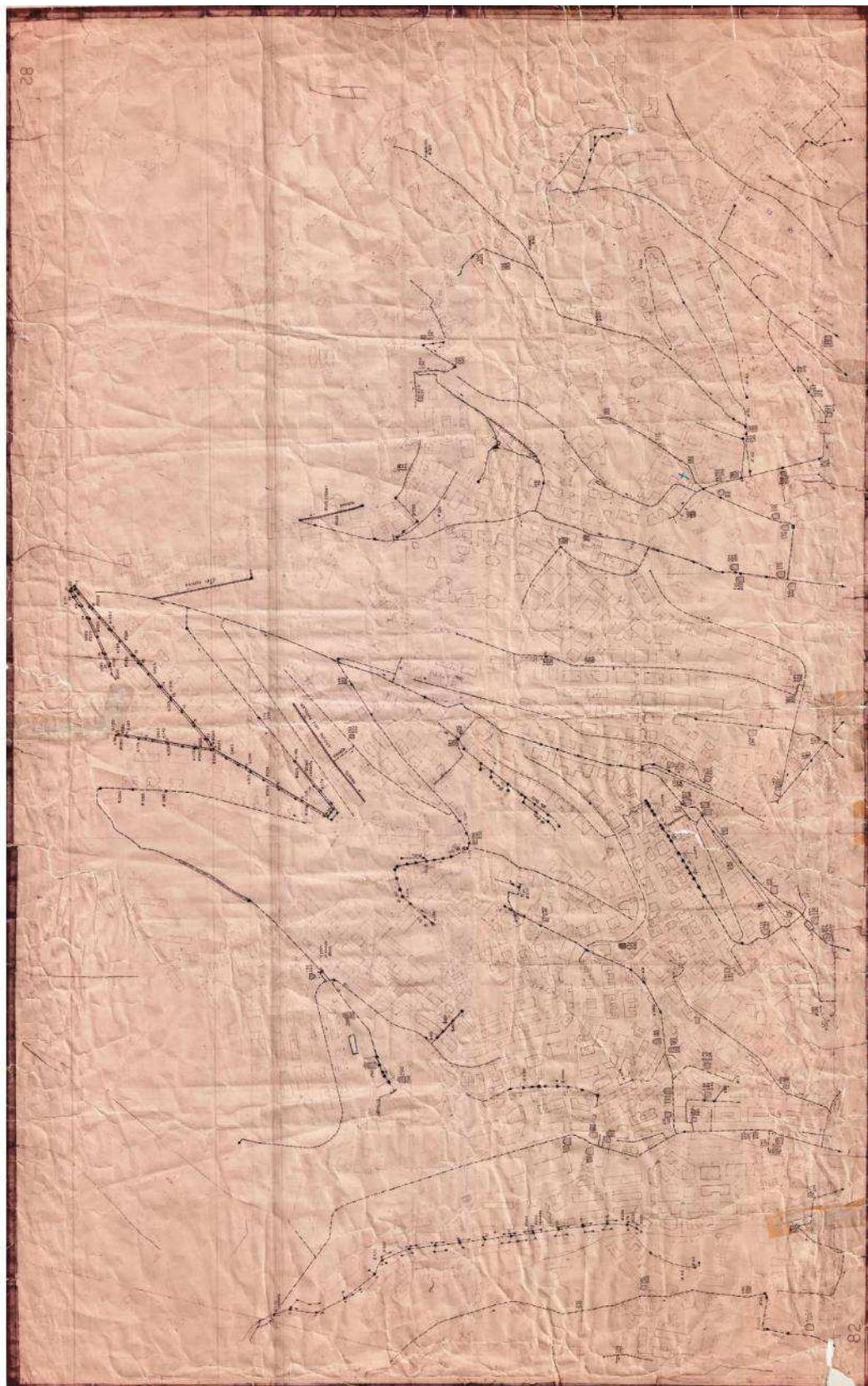


Figura 17 Foglio del Comune di Genova con indicazioni sulla rete di fognatura bianca.

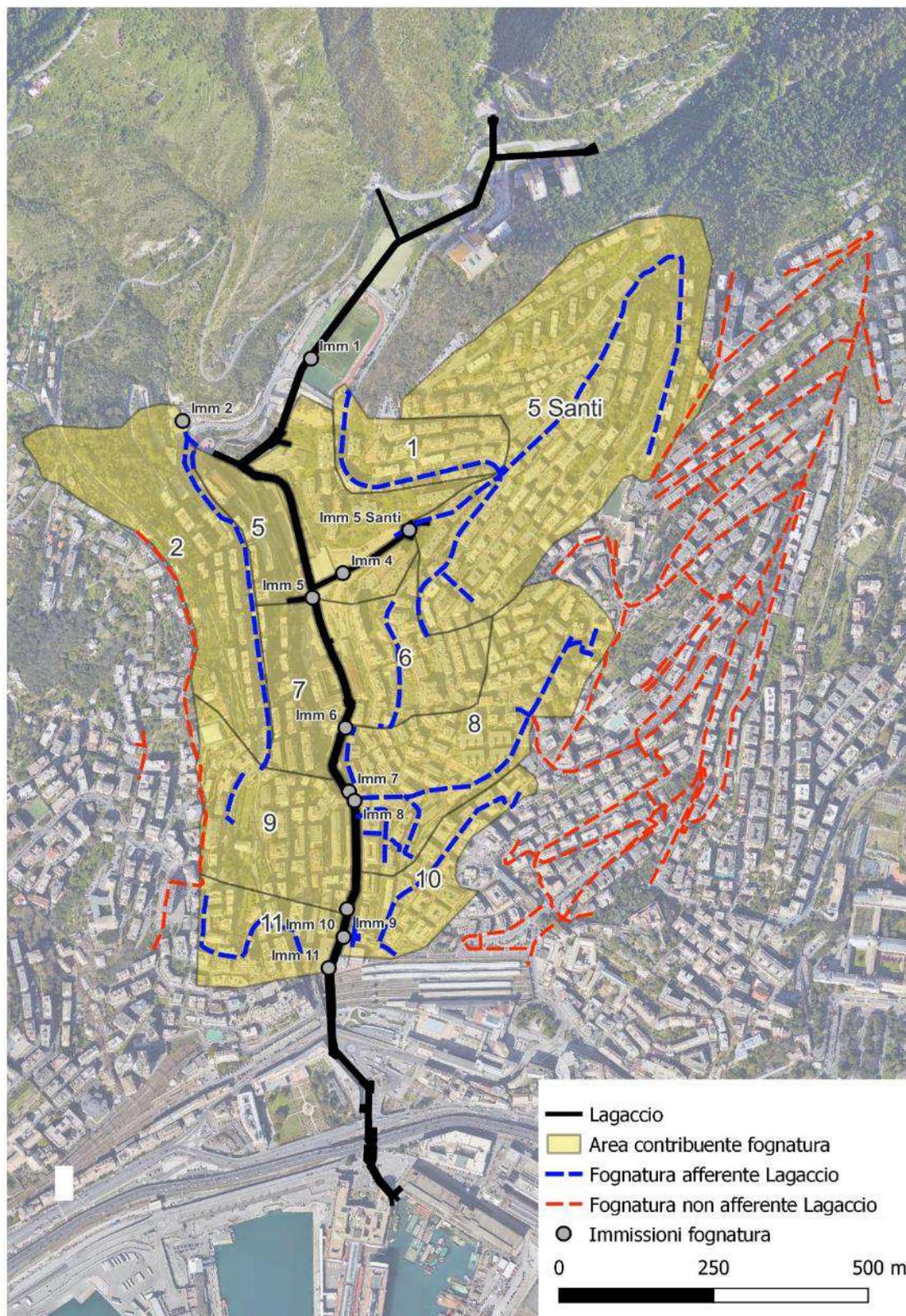


Figura 18 Rete fognatura bianca che scarica sul rio Lagaccio

4.3 Codice di calcolo SWMM (Storm Water Management Model)

Il modello SWMM è sviluppato da EPA⁵ e può simulare sia il processo afflussi/deflussi che la propagazione dei deflussi all'interno di una rete sia in moto stazionario che in moto vario utilizzando l'approccio cinematico o utilizzando le equazioni di De Saint Venant complete (dynamic wave).

Nel caso in esame il codice sarà utilizzato solo nella sua componente idrodinamica per schematizzare i tratti tombinati. Le simulazioni saranno eseguite in moto vario considerando l'approccio dynamic wave che permette di considerare le condotte in pressione, gli effetti di rigurgito e la fuoriuscita dai chiusini.

4.4 Schematizzazione del modello

La rete in SWMM viene schematizzata mediante nodi e tratti in cui i tratti identificano le condotte, con geometria e pendenza costanti all'interno del tratto, e i nodi individuano i punti in cui le caratteristiche delle condotte si modificano e/o sono presenti dei chiusini da cui si possono avere delle fuoriuscite. La Figura 19 riporta planimetricamente la schematizzazione adottata in SWMM per la rappresentazione del sistema Lagaccio, con l'indicazione delle diverse immissioni e della derivazione verso il depuratore. Nella Figura 20 è invece riportato il profilo lungo la tombinatura del rio Lagaccio.

Per la schematizzazione degli affluenti di cui non è stato messo a disposizione il rilievo topografico si è fatto riferimento alle larghezze indicate nella planimetria e al sopralluogo effettuato agli imbocchi; per le quote di imbocco si è fatto riferimento alla CTR.

⁵ <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>

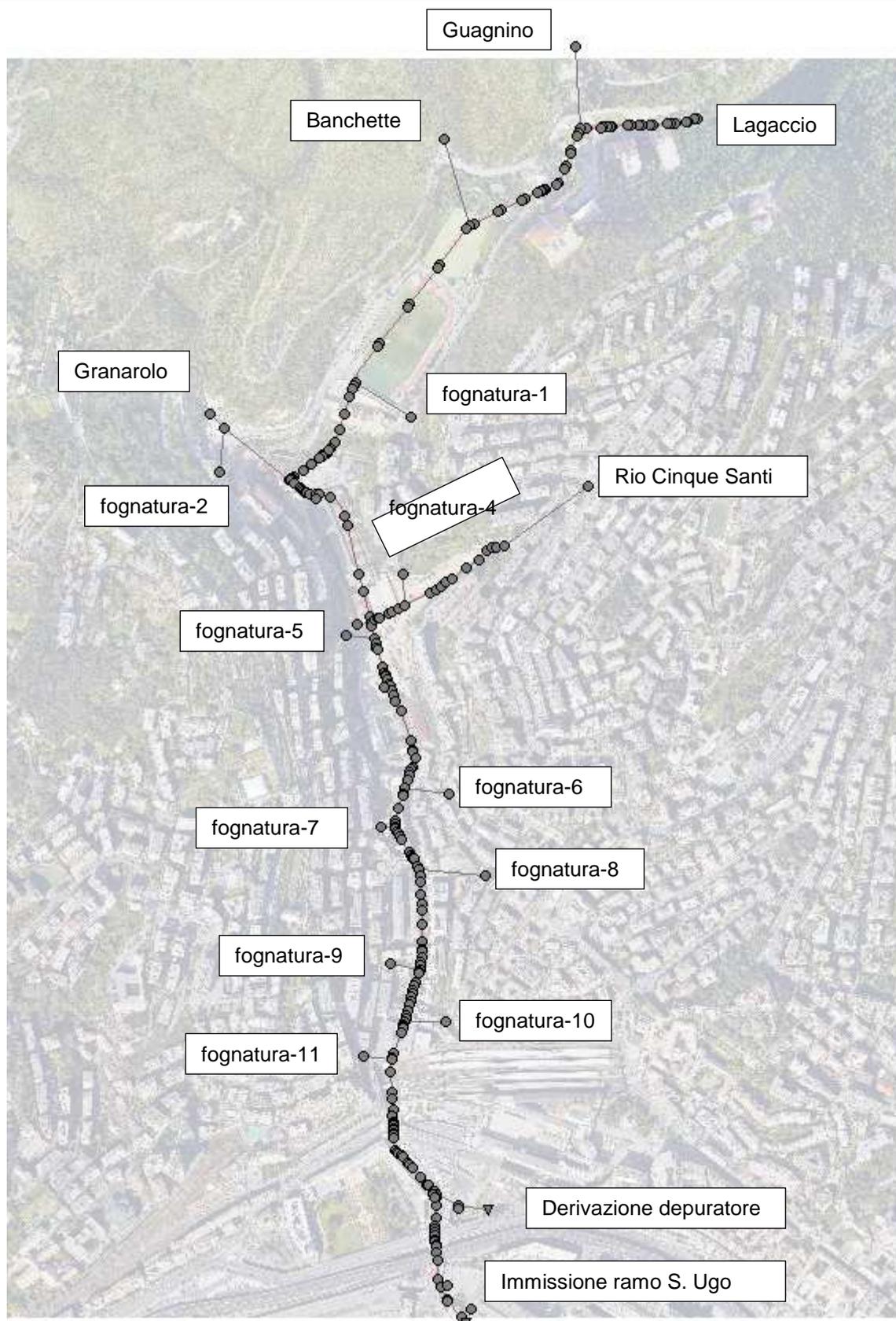


Figura 19 Schematizzazione del Lagaccio in SWMM

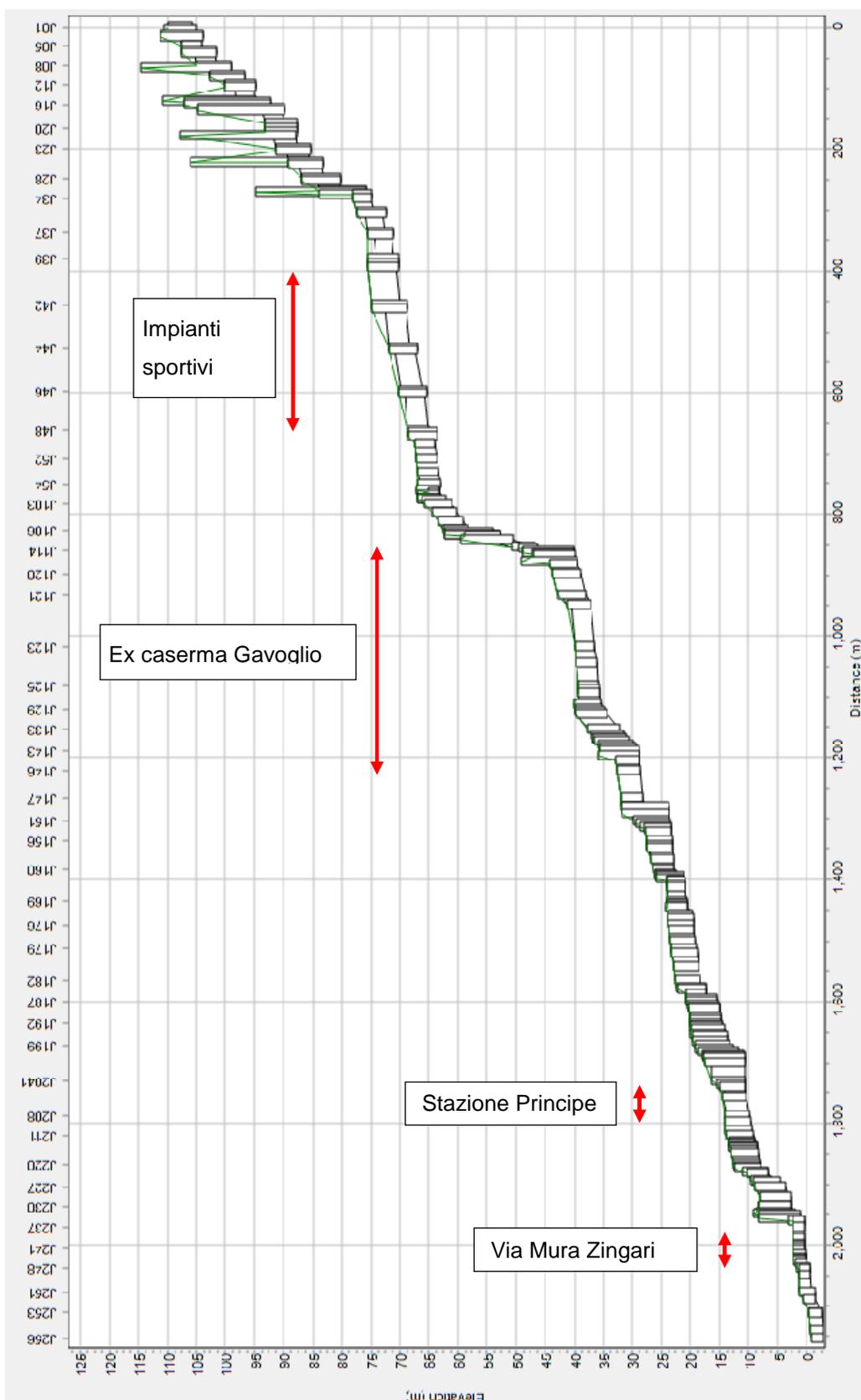


Figura 20 Profilo del rio Lagaccio in SWMM

Oltre alle tombinature sono stati schematizzati i punti di possibile uscita del deflusso, costituiti dai tombini che collegano il tratto coperto del Lagaccio con il piano campagna.

La Figura 21 riporta i punti di possibile uscita in corrispondenza dell'ex caserma Gavoglio. Il primo punto corrisponde al tratto scoperto del Lagaccio, a monte dell'area dell'ex caserma, da sezione 54 a 102 schematizzato con le sezioni tipologiche SI-5A, SI-5B e SI-5C Figura 13, illustrato nella Figura 22.

All'interno dell'ex caserma sono presenti tre chiusini in cui si può avere la fuoriuscita di volumi d'acqua per eventi estremi. Il più a monte è in corrispondenza della sezione 118, ed è collocato all'interno di una costruzione a cui si accede con una porticina, attualmente ostruita, come si vede nella Figura 23. Il secondo chiusino si trova in corrispondenza della sezione 126, sulla strada che scende costeggiando gli edifici dell'ex caserma, Figura 24. Infine, l'ultimo chiusino in quest'area è quello in corrispondenza del tratto sistemato, che nella schematizzazione fa riferimento alla sezione 140, Figura 25.

Gli ulteriori punti di uscita del deflusso si trovano tutti a valle della stazione ferroviaria di piazza Principe, tre dei quali in corrispondenza di via Mura Zingari. Il principale è una porta che dà accesso all'ampia camera in corrispondenza del tratto da sezione 232 a 234, prima della brusca riduzione di altezza alla sezione 236 (cfr. Figura 20). La porta e la camera retrostante sono riportate rispettivamente nella Figura 27 e nella Figura 28. La quota della soglia della porta è stata valutata con apposito rilievo topografico. All'inizio del tratto con sezione ribassata si trova il chiusino di sezione 236, Figura 29.

In corrispondenza della camera esiste una derivazione che convoglia le portate nere diluite verso il depuratore; questa derivazione ha un chiusino ad una decina di m dal chiusino della sezione 236 e l'eventuale uscita insiste sulla stessa area, Figura 30. Per meglio contestualizzare questa derivazione nella Figura 31 è riportata la schematizzazione del rilievo del 1980. La condotta che porta al depuratore ha una derivazione, plausibilmente un troppo pieno, che deriva verso il tratto di ponente del rio S. Ugo. La condotta principale prosegue fino ad intercettare il rio S. Ugo, dove, molto probabilmente, ha la stessa funzione che nel Lagaccio, cioè di

derivare le basse portate verso il depuratore. L'accurata schematizzazione di questo sistema esula dai fini del presente studio, per cui nel modello SWMM è stato schematizzato il tratto che dal rio Lagaccio va al chiusino che scarica nell'area nei pressi di via Mura Zingheri, tutto il tratto di valle è stato semplificato con una condotta di lunghezza 400 m al cui termine è stata imposta una condizione al contorno di livello, infatti, l'unico valore di interesse è la portata che può fuoriuscire dal chiusino.

Nel piazzale sottostante alla Stazione Marittima sono presenti due caditoie, con ogni probabilità scaricanti all'interno del Lagaccio, Figura 32. In SWMM è stata schematizzata una sola caditoia, collegata alla sezione 252, per verificare la possibilità di fuoriuscite. I risultati del modello hanno evidenziato come non si abbiano fuoriuscite da questi chiusini nemmeno per tempo di ritorno 500 anni.

Nelle simulazioni si sono considerati tutti i chiusini, come pure la porta, aperti. Da questo punto di vista quindi i risultati delle simulazioni potrebbero ritenersi a favore di sicurezza per quanto riguarda gli allagamenti, anche se occorre osservare che, pur considerando aperti chiusini e porta, i carichi idraulici (pressione interne ai collettori) sugli stessi sarebbero tali da provocarne l'apertura ben prima del colmo. Viceversa i collettori sono stati considerati fissi ed invariabili (in sostanza nessuna rottura dei manufatti).

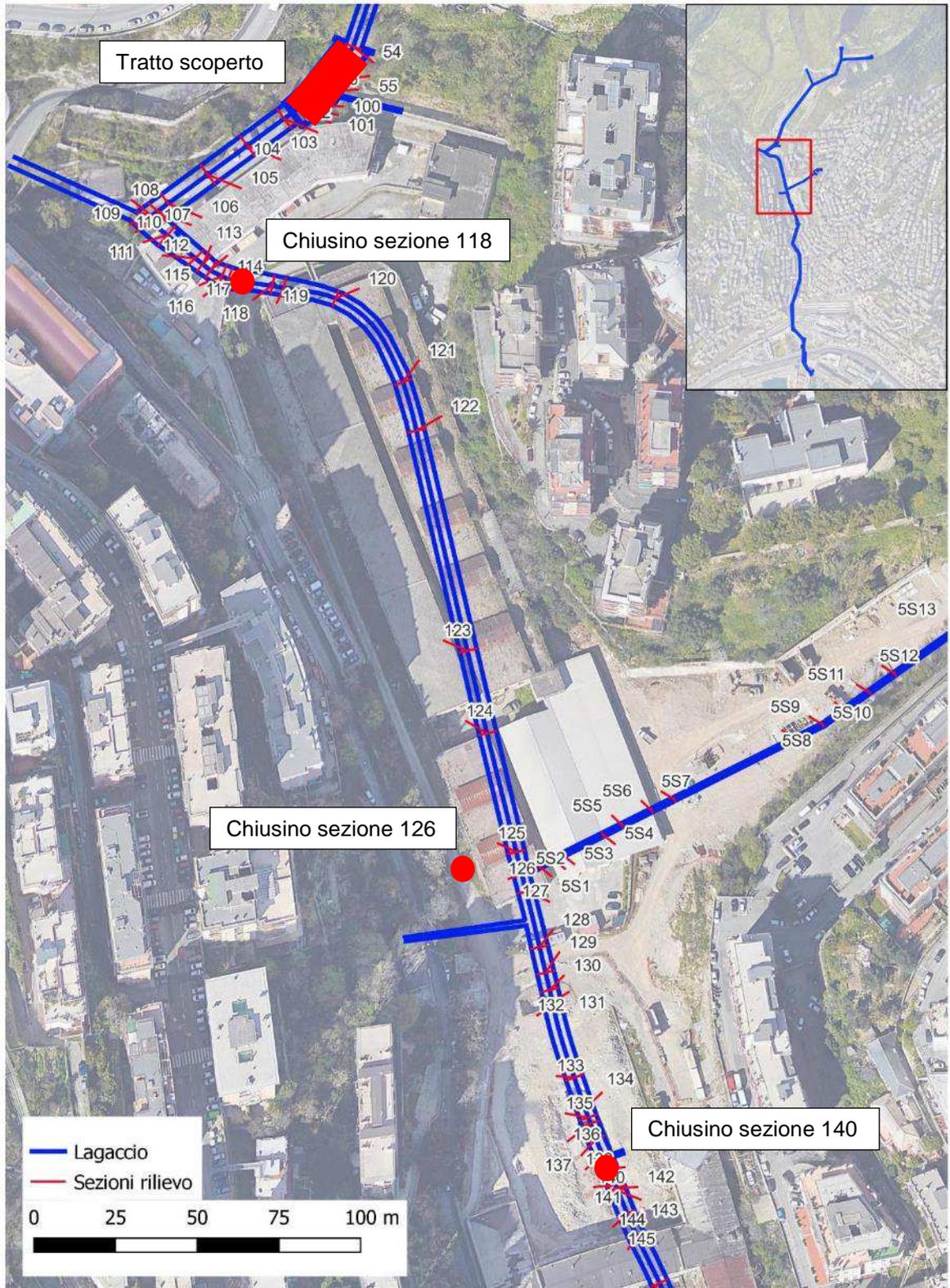


Figura 21 Punti di uscita nella zona dell'ex caserma Gavoglio

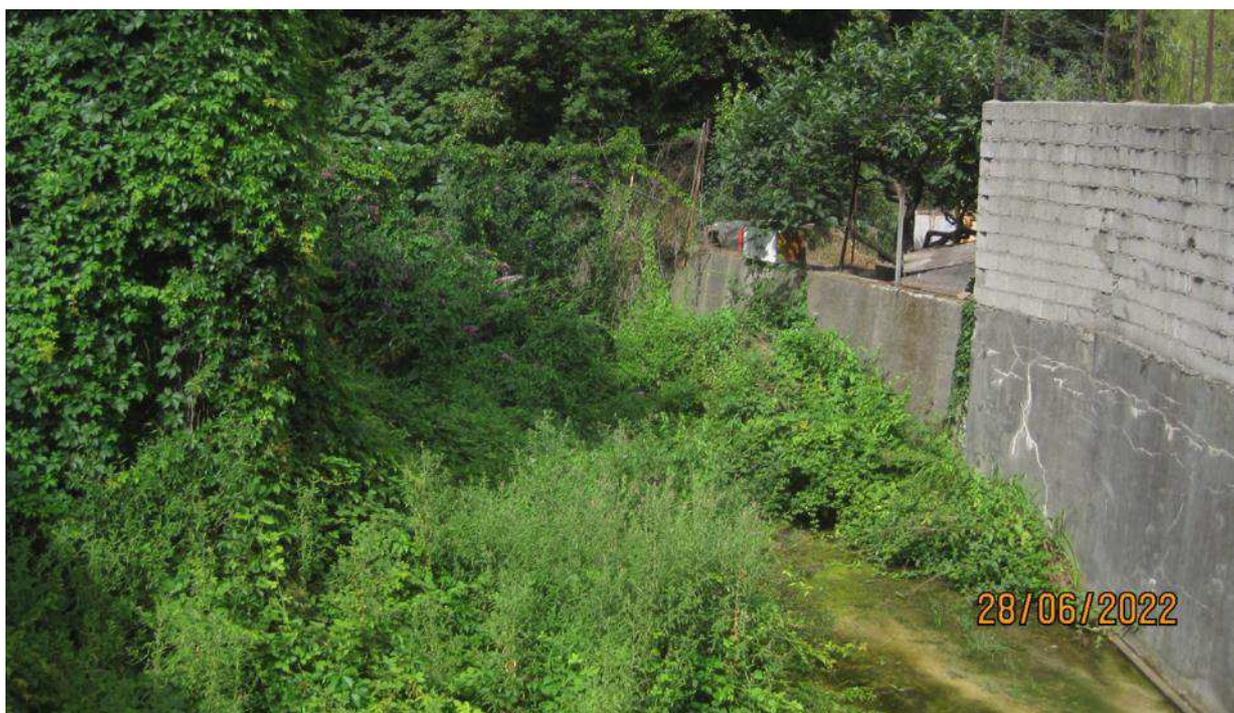


Figura 22 Tratto scoperto visto da valle



Figura 23 Porta di accesso al chiusino della sezione 118



Figura 24 Chiusino sezione 126



Figura 25 Chiusino nel tratto sistemato, sezione 140

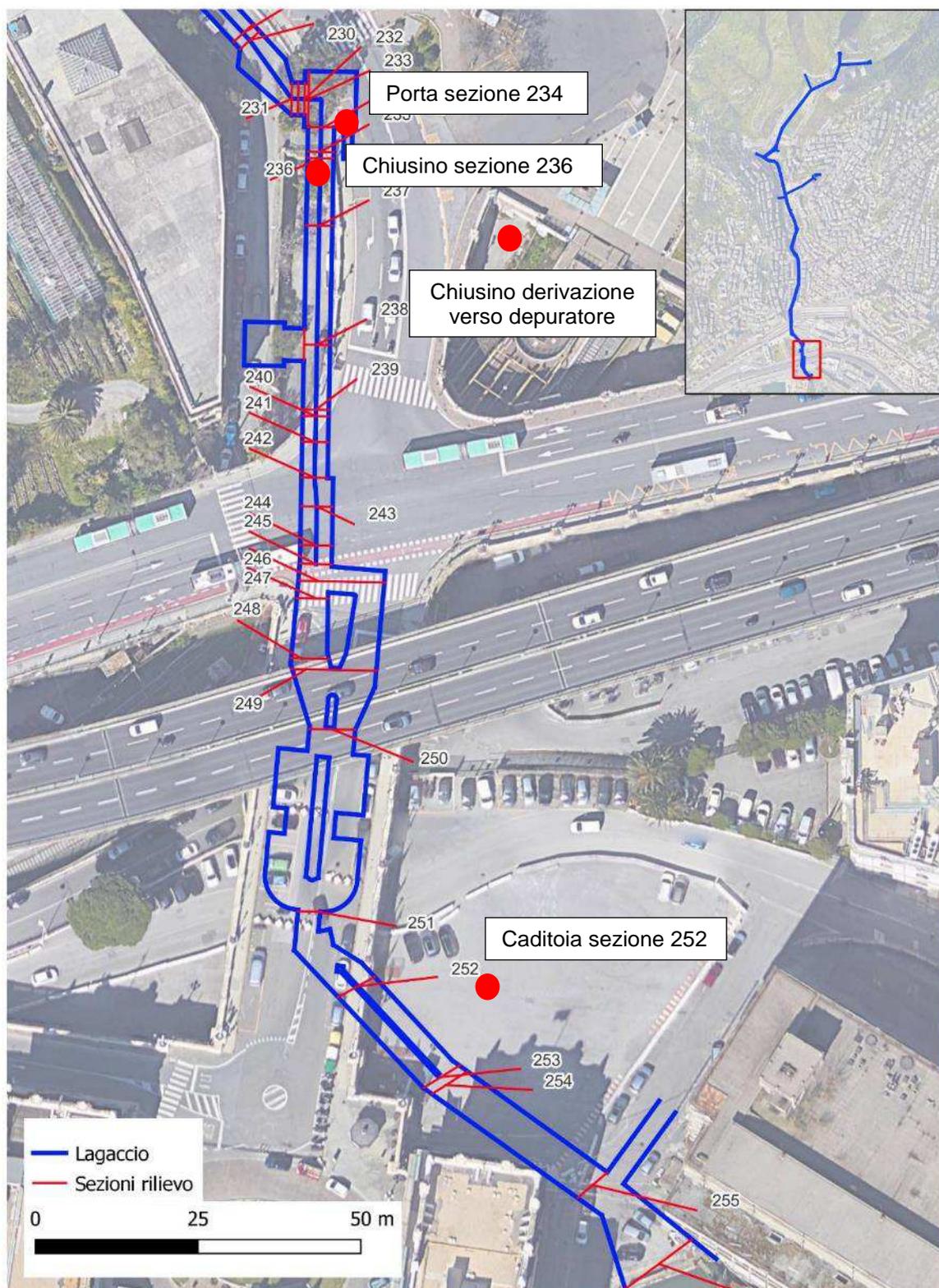


Figura 26 Punti di uscita a valle della stazione FS Piazza Principe



Figura 27 Porta di accesso alla camera in corrispondenza della sezione 234

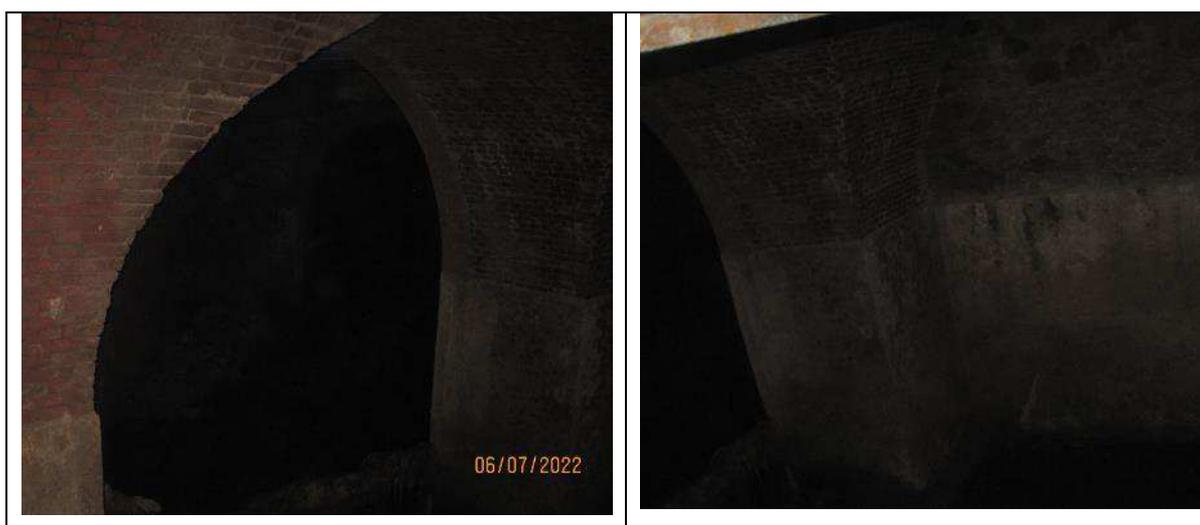


Figura 28 Camera in corrispondenza alla sezione 234



Figura 29 Chiusino sezione 236 (sx), Lagaccio verso valle visto dal chiusino (dx)



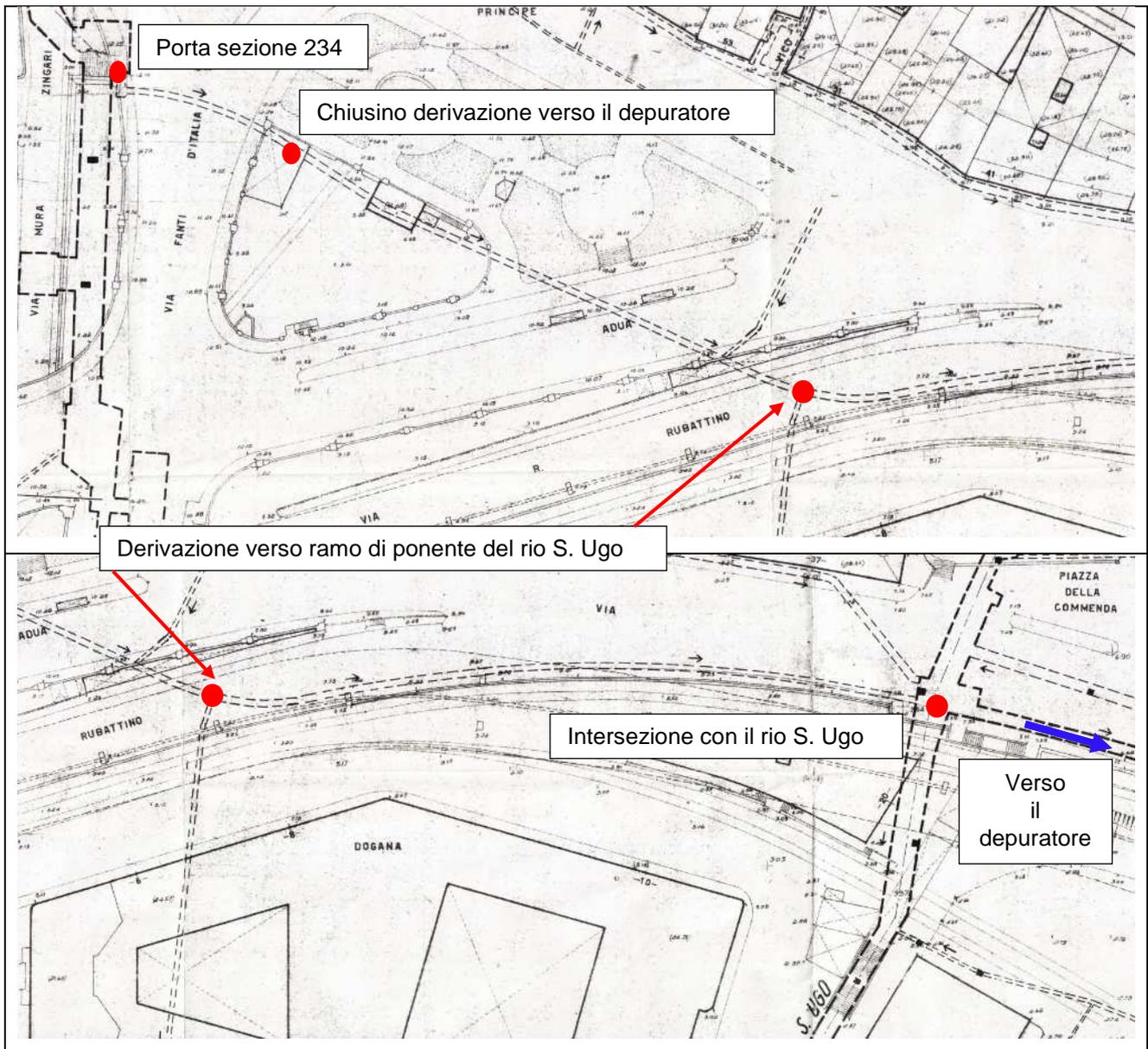


Figura 31 Schematizzazione della derivazione verso il depuratore, ponente (sopra), levante (sotto).



Figura 32 Caditoie nel piazzale della Stazione Marittima

4.5 Condizioni al contorno

Come condizioni al contorno di monte sono stati utilizzati gli idrogrammi calcolati con il modello idrologico (cfr. paragrafo 3.1.3). Nella Figura 33 sono riportati come esempio gli idrogrammi considerati per il tempo di ritorno $Tr-200$ nei rii naturali. Nella Figura 34 sono invece riportati, in scala diversa per una più agevole lettura, i contributi della parte urbana, che, come detto, sono stati limitati superiormente al valore al colmo per $Tr-10$.

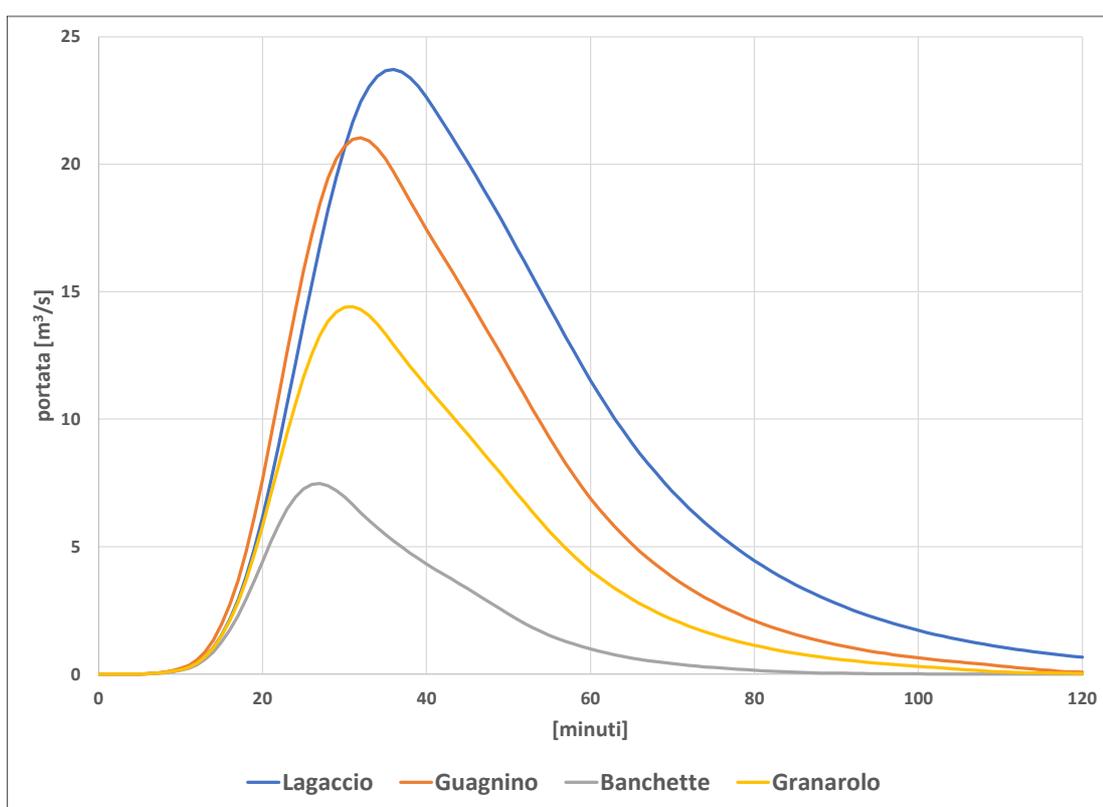


Figura 33 Idrogrammi $Tr-200$ rii naturali.

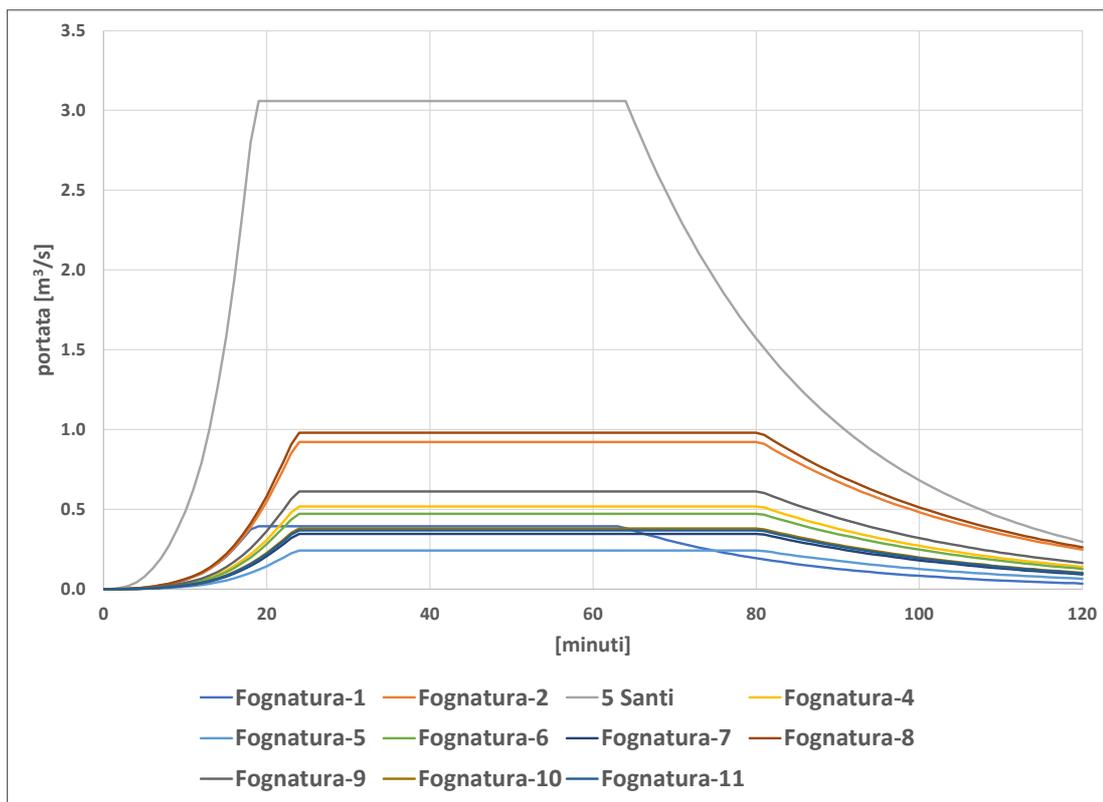


Figura 34 Idrogrammi Tr-200 parte urbana.

È stata inoltre considerata l'immissione del rio S. Ugo, sempre considerando l'idrogramma tagliato alla portata con Tr-10 e ipotizzando che la portata convogliata dal ramo che confluisce nel Lagaccio sia esattamente la metà di quella complessiva che defluisce nel rio. Si sottolinea comunque che tale immissione non si riflette sui livelli del Lagaccio avvenendo praticamente pochi metri prima dello sfocio a mare.

Come condizione al contorno di valle è stato considerato un livello costante pari a 0.0 m s.l.m.m.

Per quanto riguarda le scabrezze, la normativa di Piano di Bacino Allegato 3, in accordo con il Regolamento n.3 - 14/7/2011, pubblicato sul BURL N. 13 del 20/7, impone i coefficienti di scabrezza da utilizzare negli studi idraulici, come di seguito riportato:

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza di Gauckler-Strickler K_s ($m^{1/3}s^{-1}$)
Tratti di corsi 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 corsi 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

Per tutte le condutture è stata considerata una scabrezza secondo Gauckler-Strickler $k_s = 40 m^{1/3} s^{-1}$, per il tratto scoperto è stato utilizzato un valore $k_s = 25 m^{1/3} s^{-1}$.

4.6 Risultati del modello

Viste le forti pendenze agli imbocchi dei diversi rii, anche attorno al 20%, non si hanno esondazioni agli inizi dei tratti tombati (ovviamente considerando solo i contributi liquidi senza eventuale e potenziale trasporto solido).

Per la verifica del tratto scoperto, che non può essere accuratamente rappresentato da SWMM, è stato realizzato un modello 2D locale, Figura 35, che ha evidenziato come i livelli siano contenuti all'interno dei muri, anche nel tratto ribassato (sezione SI-5B Figura 13); infatti i tiranti per l'evento Tr-500 sono di circa 1.60 m con un muro di contenimento di 2.0 m, considerato staticamente idoneo a resistere a tale spinta..



Figura 35 Modello 2D del tratto scoperto, tiranti [m]

Per una più corretta rappresentazione delle perdite di carico nei chiusini di uscita, questi sono stati rappresentati con brevi tratti di tubazione con le dimensioni dei chiusini stessi. L'idrogramma in uscita risente anche del carico idraulico che si instaura nel punto di uscita che dipende dall'allagamento che provoca. In SWMM è possibile definire un'area di allagamento e quindi un carico che varia dinamicamente definito dal volume fuoriuscito diviso l'area di allagamento. L'area è stata definita in modo da avere come carico il tirante d'acqua definito dalla modellazione 2D (cfr. capitolo 5). I risultati del modello 2D dipendono ovviamente da quelli di SWMM, perciò, i modelli sono stati utilizzati iterativamente per ottenere l'equilibrio cercato.

Nella Figura 36 è riportato il profilo al passaggio del colmo per l'evento Tr-200 nel tratto in cui è incluso il chiusino della sezione 118. Nel punto di immissione del rio Granarolo la tombinatura funziona a pelo libero e va in pressione tra le sezioni 111 e 112. Nel tratto in cui è compreso il chiusino il carico idraulico sulla copertura del Lagaccio è dell'ordine dei 6 m. Nella Figura 37 sono riportati gli idrogrammi di uscita dal chiusino: per l'evento Tr-50 non si hanno fuoriuscite.

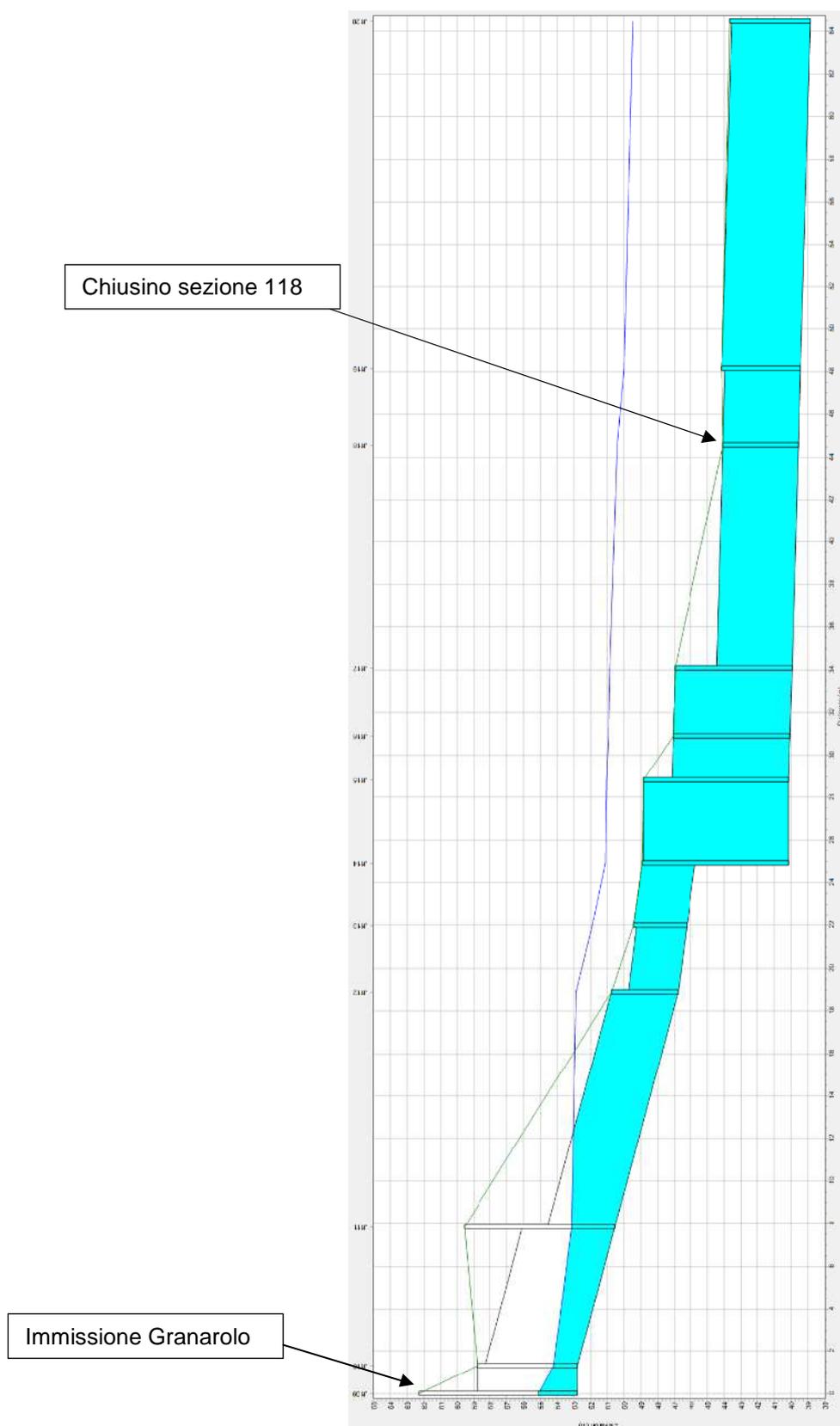


Figura 36 Profilo al colmo Tr-200 in corrispondenza del chiusino di sezione 118

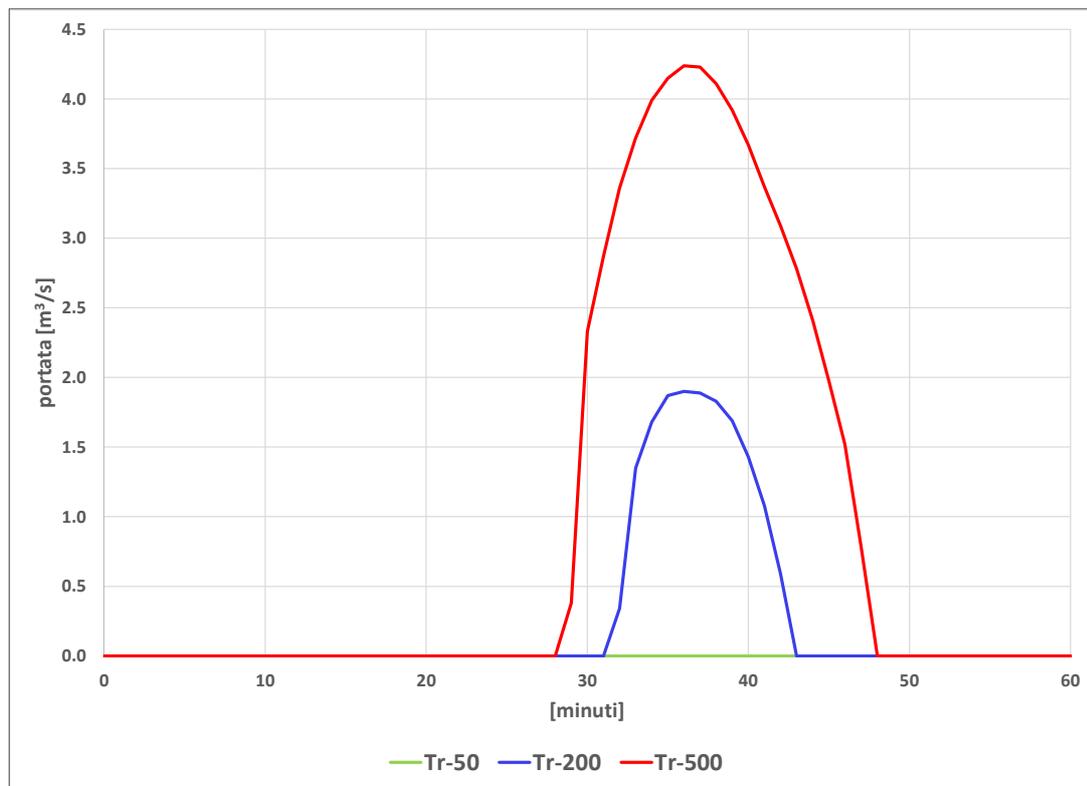


Figura 37 Idrogrammi in uscita dal chiusino della sezione 118

Il profilo al colmo per l'evento Tr-200 nel tratto in cui sono inclusi i chiusini delle sezioni 126 e 140 è riportato nella Figura 38. Il tratto è tutto in pressione con carichi idraulici sulla copertura del Lagaccio dell'ordine dei 7 m nel tratto a monte del chiusino 126 e di 6 m a valle del chiusino 140. Gli idrogrammi di uscita dai chiusini sono riportati nella Figura 39 per il chiusino 126 e nella Figura 40 per il chiusino 140.

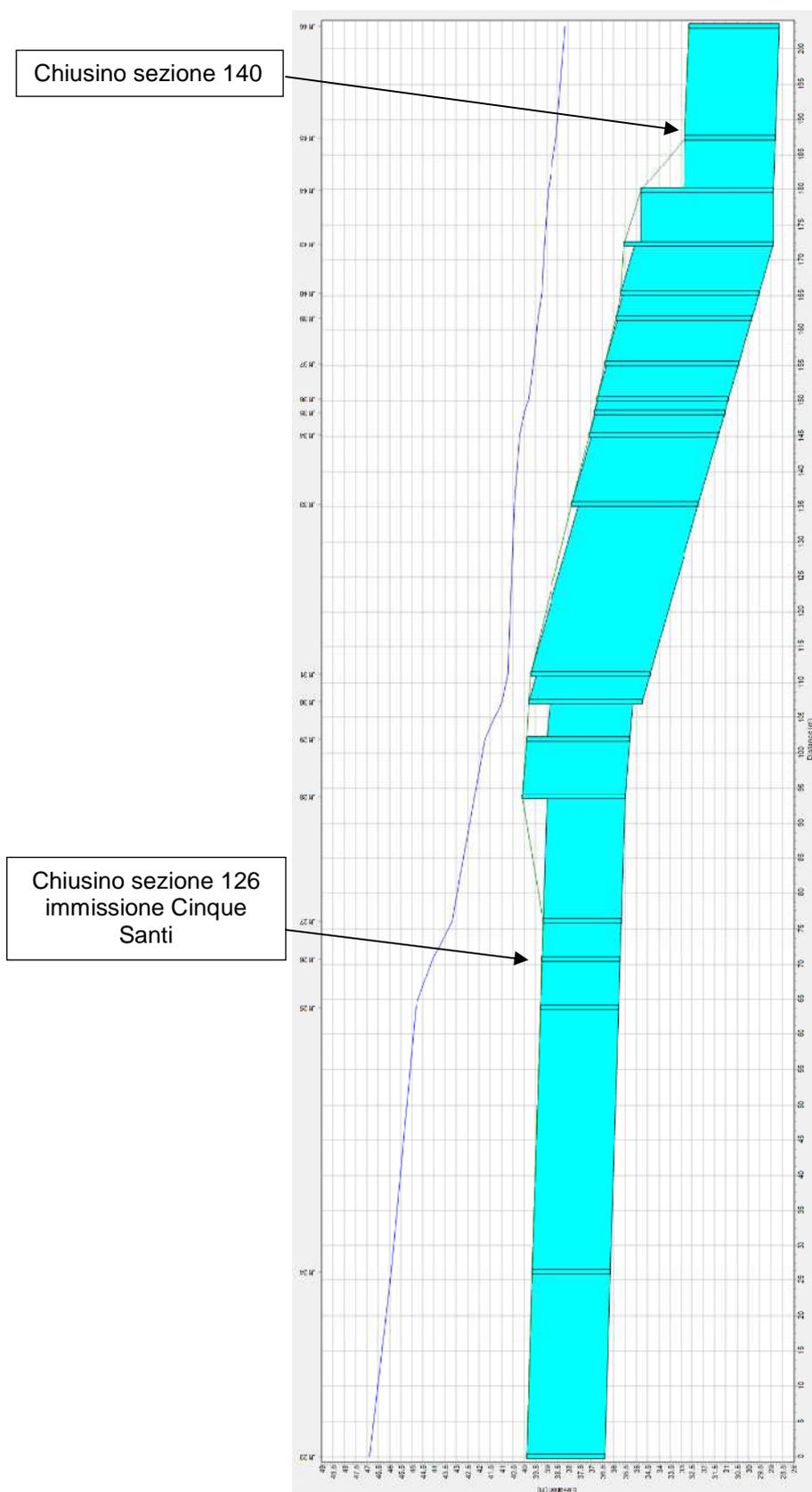


Figura 38 Profilo al colmo Tr-200 in corrispondenza di chiusini delle sezioni 126 e 140

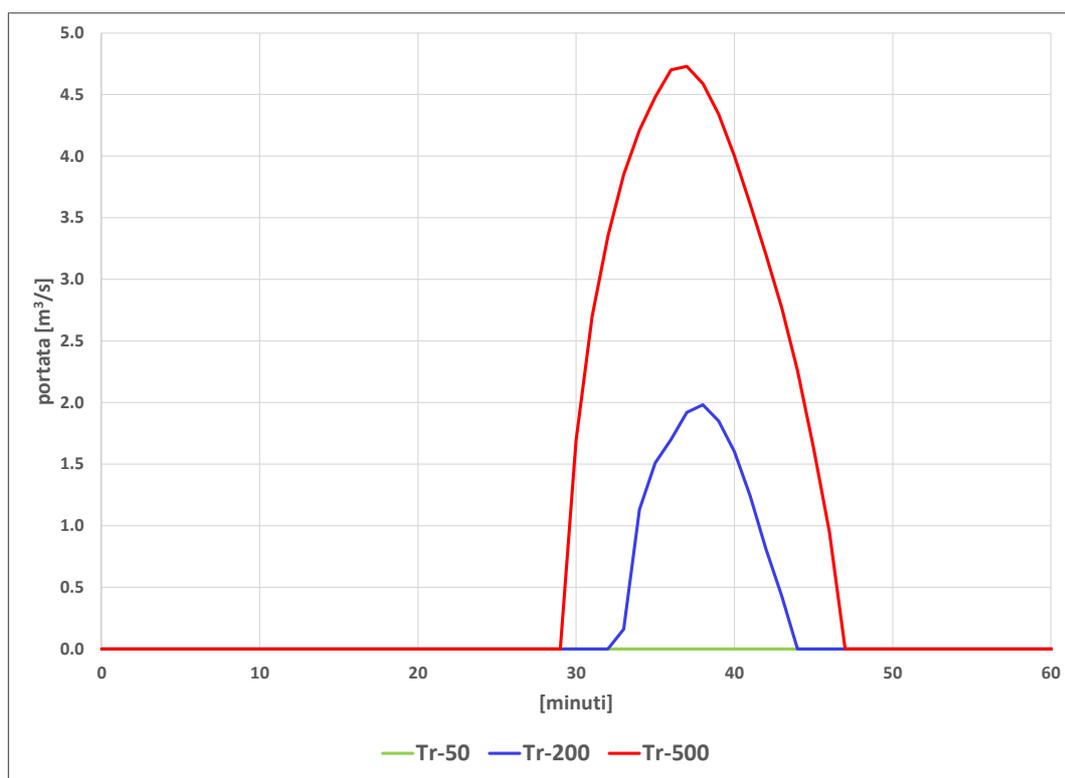


Figura 39 Idrogrammi in uscita dal chiusino della sezione 126

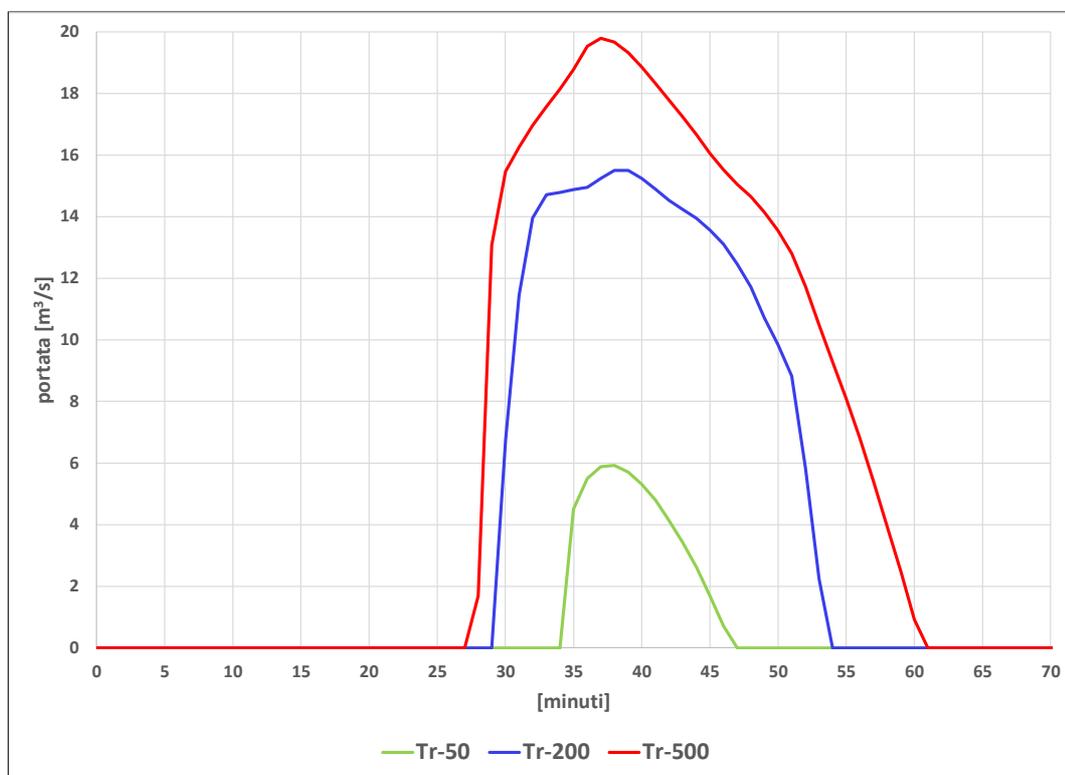


Figura 40 Idrogrammi in uscita dal chiusino della sezione 140

Il profilo al colmo per Tr-200 nel tratto di via Mura Zingari è riportato nella Figura 41, e include la porta di sezione 234 e il chiusino di sezione 236. La soglia della porta si trova a 5.85 m s.l.m.m. e quindi al colmo si ha un carico sulla soglia di circa 6 m.

Nel tratto a monte della sezione 234 il carico sulla volta della tombinatura del Lagaccio è dell'ordine dei 3.5 m mentre a valle della sezione 236, dopo il brusco ribassamento, i carichi sono dell'ordine dei 7 m. Alla sezione 234 è collegata anche la derivazione verso il depuratore, in cui è incluso il relativo chiusino.

Gli idrogrammi di uscita dalla porta sono riportati in Figura 42, la Figura 43 riporta quelli relativi al chiusino della sezione 236, infine quelli uscenti dal chiusino della derivazione verso il depuratore sono rappresentati nella Figura 44.

Infine, la Figura 45 riporta il confronto tra gli idrogrammi del modello idrologico, che quindi potenzialmente potrebbero raggiungere la foce (a monte della confluenza con il rio S. Ugo), e quelli definiti dal modello idraulico. La portata massima che transita nel collettore è praticamente identica per i tre tempi di ritorno analizzati e pari a circa 27 m³/s.

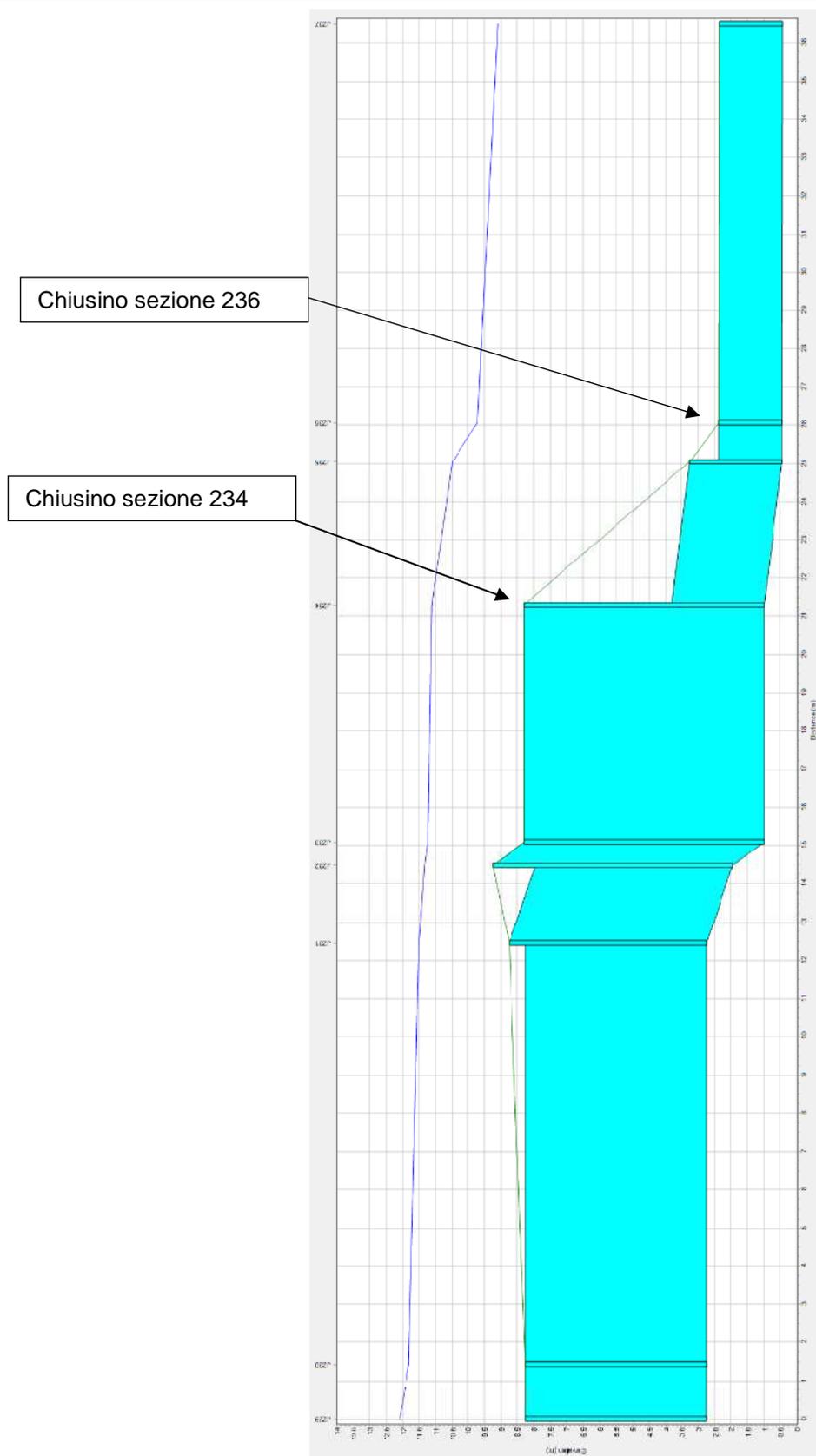


Figura 41 Profilo al colmo Tr-200 in corrispondenza della porta sezione 234 e chiusino sezione 236

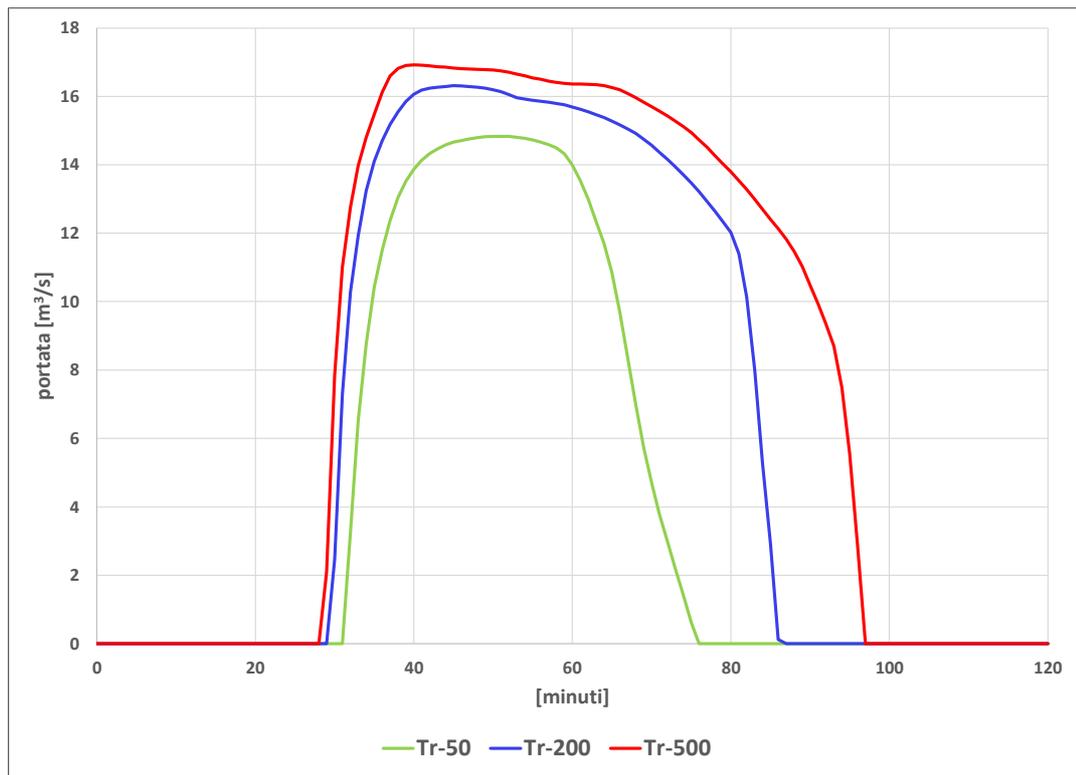


Figura 42 Idrogrammi in uscita dalla porta di sezione 234

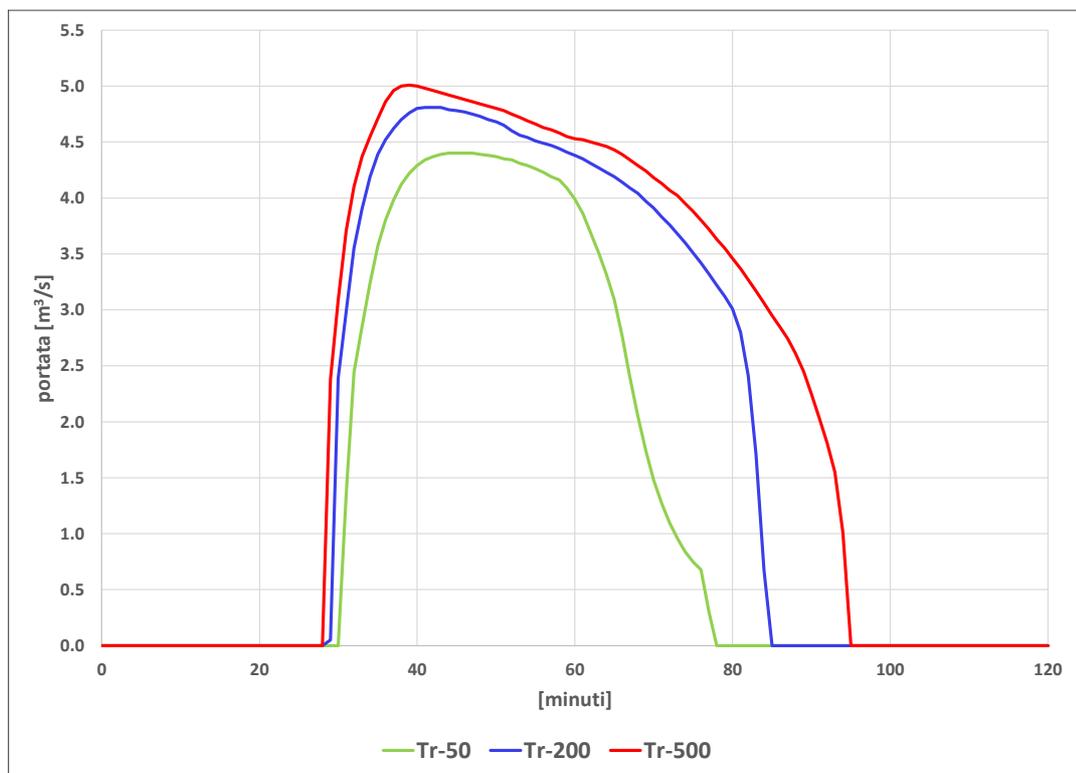


Figura 43 Idrogrammi in uscita dal chiusino della sezione 236

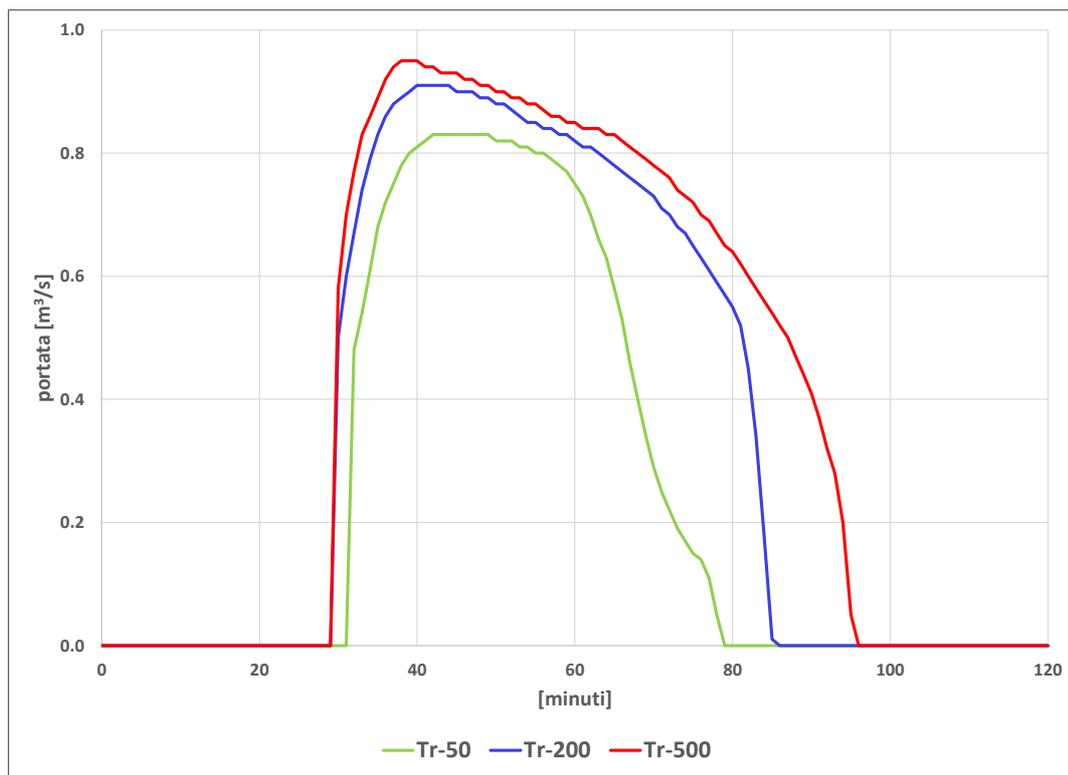


Figura 44 Idrogrammi in uscita dal chiusino della derivazione verso il depuratore

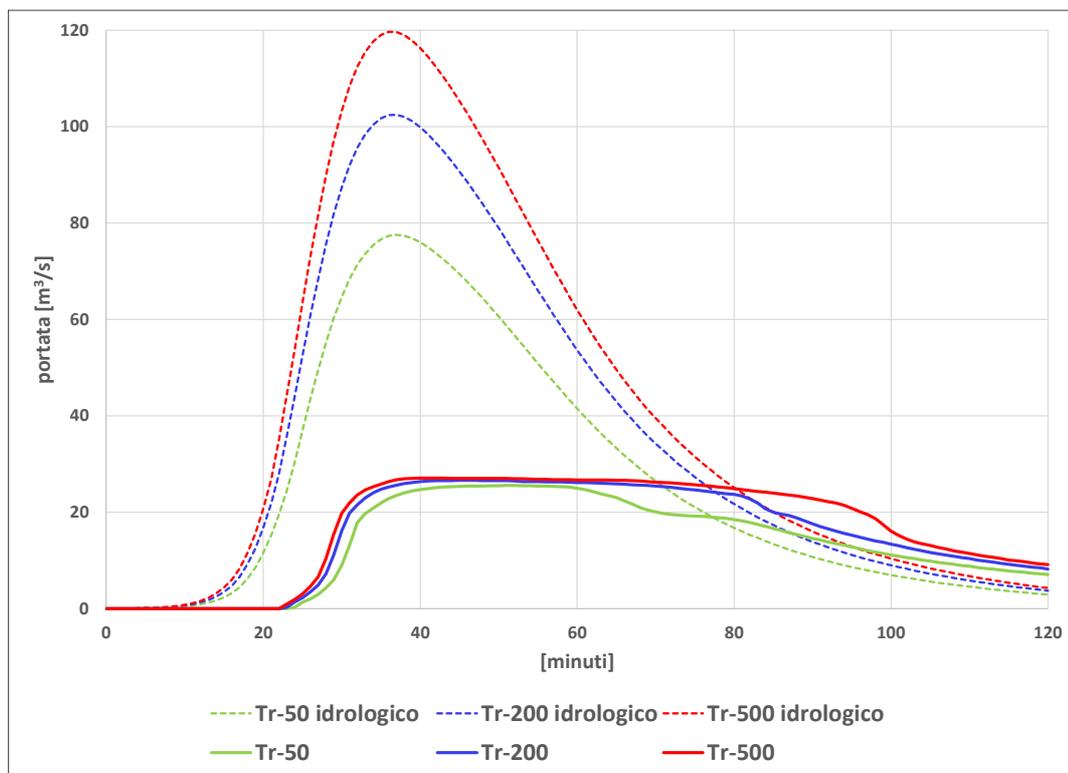


Figura 45 Idrogrammi da modello idrologico e quelli che realmente raggiungono la foce

5. MODELLO DI ALLAGAMENTO

5.1 Base topografica

Per la definizione della geometria del modello di allagamento sono disponibili diverse basi topografiche:

- CTR regionale 3D;
- CTR Comune di Genova 3D;
- DTM 1X1 m Ministero dell'Ambiente;
- DTM 1X1 m Comune di Genova;
- Rilievi topografici realizzati ad hoc nelle zone di maggior interesse.

Tutte le basi disponibili sono tra loro congruenti e con una buona descrizione del territorio, tra queste è comunque risultato più dettagliato nelle aree di interesse il DTM del Comune di Genova, che è stato utilizzato per la costruzione del modello 2D, integrato dai rilievi specificamente eseguiti nelle zone in cui la schematizzazione necessitava di un dettaglio non raggiunto dal DTM. È importante sottolineare come nelle zone dei rilievi di dettaglio l'errore massimo rispetto al DTM è risultato inferiore ai 10 cm.

5.2 Codice di calcolo HEC-RAS

Per la valutazione delle dinamiche di esondazioni per diversi tempi di ritorno è stato realizzato un modello basato sul codice di calcolo HEC-RAS 6.2⁶ (sviluppato dall'US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) nella sua modalità bidimensionale.

Dalla versione 5 il noto codice di calcolo statunitense alla classica modellazione 1D aggiunge la possibilità di schematizzare parte o tutto il dominio di calcolo con approccio bidimensionale.

In 2D HEC-RAS discretizza il dominio di calcolo con griglie non strutturate con celle fino ad 8 lati e le equazioni di De Saint Venant sono risolte con la tecnica dei vo-

⁶ <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

lumi finiti, che garantisce la conservazione della massa anche nelle fasi di *flood and dry*.

La specificità della modellazione 2D con HEC-RAS è legata al fatto che il software è in grado di considerare nel calcolo un'informazione topografica (DTM) più dettagliata rispetto alla griglia di calcolo che utilizza. Questa prerogativa lo differenzia in maniera netta rispetto a tutti gli altri software di modellazione 2D, dove l'informazione topografica è al più sui nodi di calcolo.

Infatti, pur mantenendo un solo punto di calcolo all'interno di ogni cella della griglia e quindi calcolando un solo livello, il pre-processore del software per ogni cella determina, sulla base del DTM sotteso dalla cella:

- la relazione livello-volume invasato nella cella, che utilizza nella soluzione dell'equazione di continuità,
- la relazione livello area di deflusso per ogni contorno di scambio tra 2 celle, che utilizza nella soluzione dell'equazione del moto.

Questa tecnica permette quindi di considerare dettagli topografici non legati alla dimensione delle celle di calcolo, ma legati alla definizione del DTM di base.

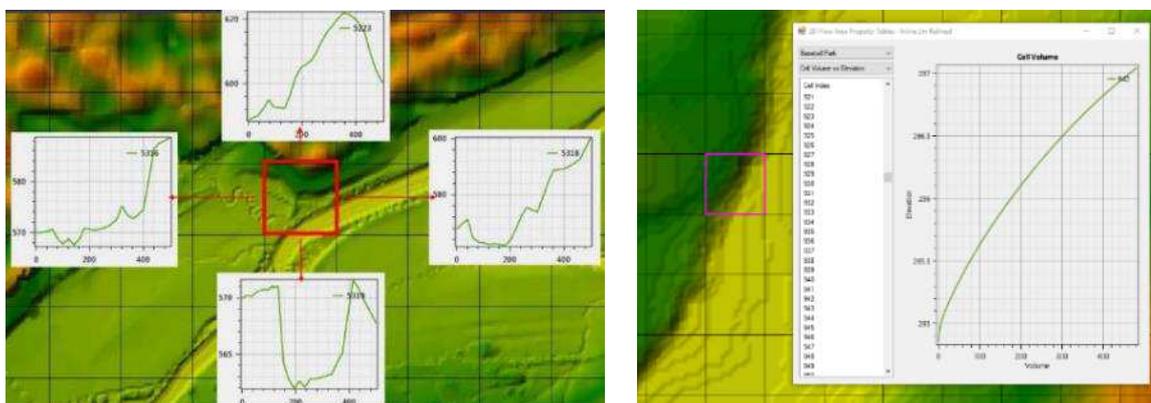


Figura 46 Esempio di DEM a sinistra estrazione dei profili lungo i confini delle celle, a destra curva livello-volume invasato

Anche il post-processore del software per identificare le aree allagate utilizza il DTM, quindi all'interno di una cella di calcolo considera allagati solo i pixel del DTM che hanno una quota inferiore a quella del livello idrico calcolato per la cella stessa.

5.3 Schematizzazione del modello

Il dominio di calcolo ha un'estensione di circa 0.64 km² e va dall'inizio dei tratti tombati all'area portuale, Figura 47. L'area è stata schematizzata con una griglia regolare di calcolo 4X4 m, poi maggiormente dettagliata nelle zone di interesse, Figura 48.

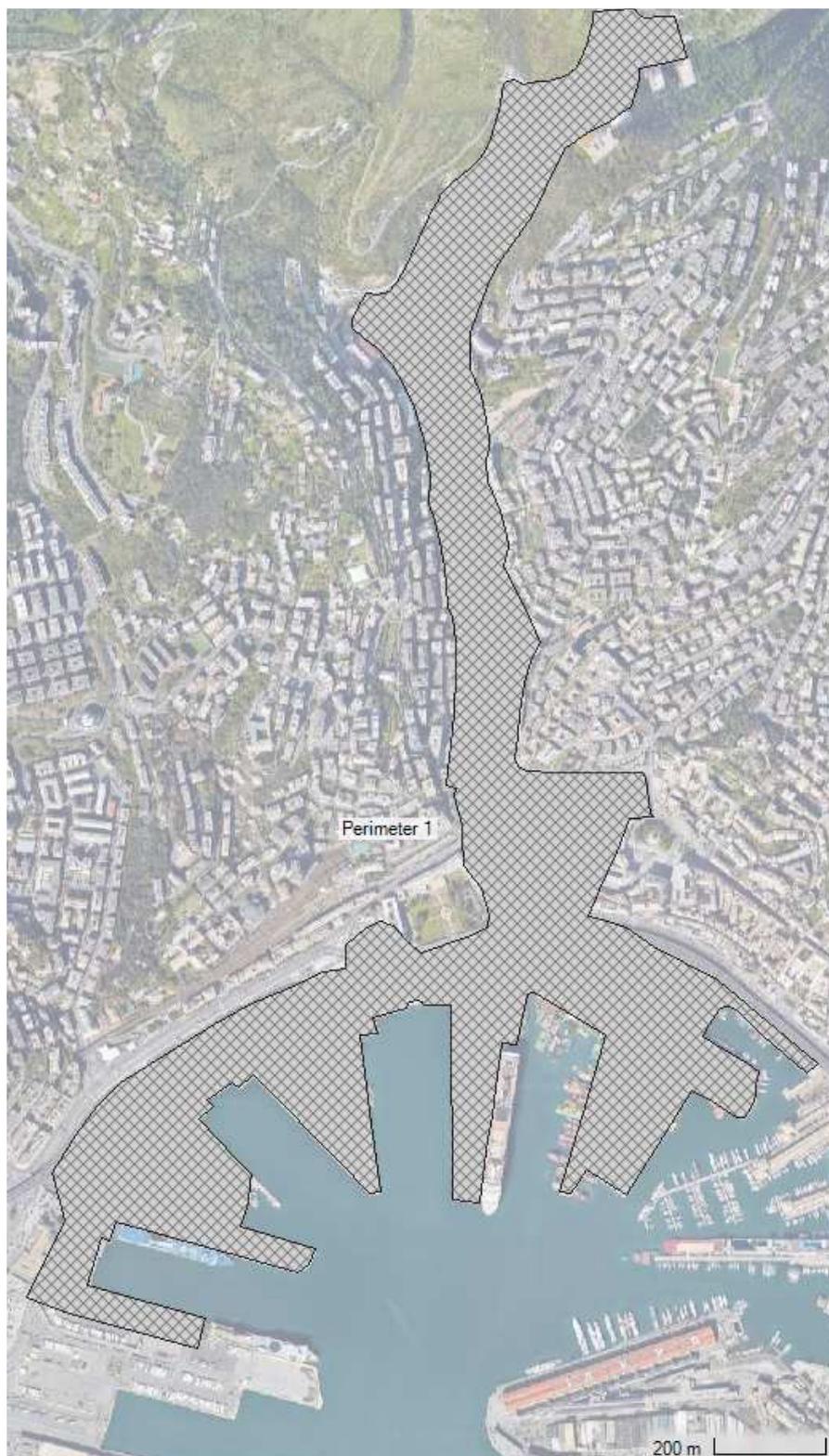


Figura 47 Estensione del dominio di calcolo

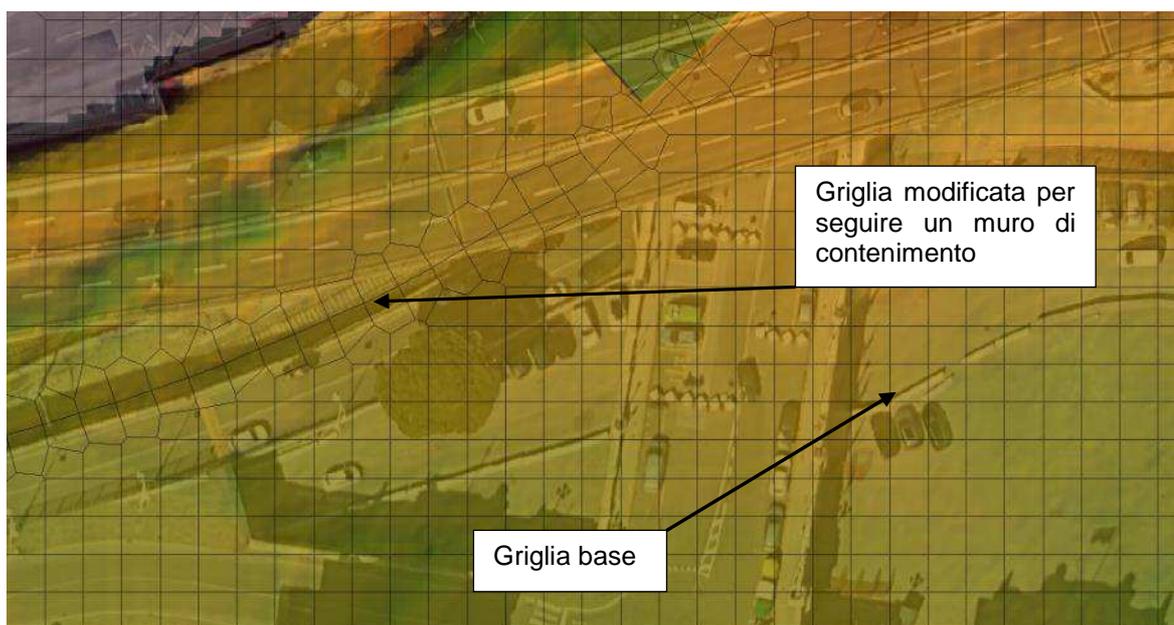


Figura 48 Diversa schematizzazione della griglia di calcolo

Nei paragrafi seguenti sono descritte nel dettaglio le modifiche apportate per una migliore schematizzazione del dominio di calcolo.

5.3.1 Zona della vecchia diga

In corrispondenza del tratto scoperto (cfr. Figura 21) in sinistra idraulica è presente un muro, che probabilmente è in corrispondenza della vecchia diga, Figura 49. Come si vede dalla foto il muro è costituito nella sua parte inferiore da blocchi cementati e nella parte superiore da mattoni, con scarsa tenuta all'eventuale spinta idraulica dovuta ad un eventuale allagamento. La sommità dei blocchi cementati è a quota circa 65.65 m s.l.m.m. mentre la sommità totale del muro è a 67.81 m s.l.m.m. Nel modello il muro è stato schematizzato con una *2D connection* a quota 67.81. In questa struttura, per simulare la non capacità della parte superiore del muro a reggere alla spinta dell'acqua, si apre una breccia di larghezza 10 m, fino all'altezza dei massi cementati, quando il livello dell'acqua arriva a 67.00 m s.l.m.m.



Figura 49 Muro in corrispondenza della vecchia diga

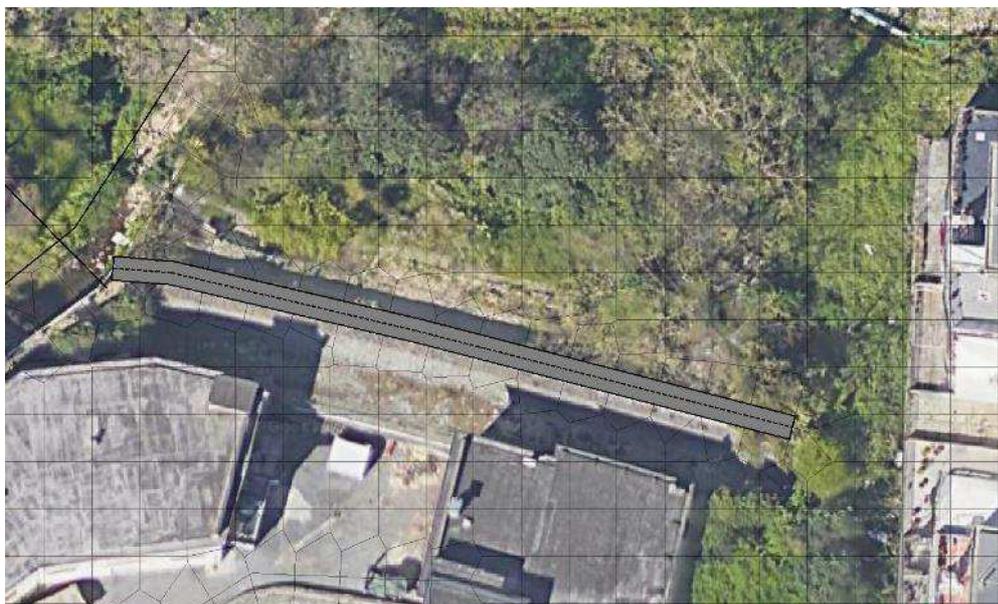


Figura 50 Schematizzazione del muro all'interno del modello

5.3.2 Ex caserma Gavoglio

Il complesso più a sud dell'ex caserma Gavoglio si trova in una depressione rispetto alla parte più a nord; questo fa sì che le esondazioni che arrivano in quella

zona, considerando gli edifici impermeabili non partecipanti al deflusso/esondazione come normalmente viene studiato, creano un accumulo che può superare gli 8 m di tirante prima di iniziare a defluire verso valle. Ovviamente questa situazione non è fisicamente ammissibile, infatti con ogni probabilità crollerebbe il muro dell'edificio; ben prima del muro però non resisterebbero le varie porte e finestre presenti. Per evitare questa situazione nel modello è stato inserito un varco identico a quello esistente nella parte più a sud, come evidenziato in Figura 51. Da sottolineare che tale schematizzazione modifica la tempistica della propagazione verso valle dei volumi di allagamento, non modificandone però l'entità che è l'elemento fondamentale ai fini delle aree allagate.



Figura 51 Schematizzazione nel modello della parte sud dell'ex caserma Gavoglio

5.3.3 Via del Lagaccio

L'acqua che supera l'area dell'ex caserma è convogliata lungo via del Lagaccio ed arriva in un punto depresso, prima che la via giri verso destra con angolo a 90°, Figura 52. In questo punto l'acqua si accumula fino a superare il muretto evidenziato in Figura 53, schematizzato con una *2D connection* a quota 21.04 m s.l.m.m. come da rilievo topografico svolto. L'acqua che supera il muretto si riversa all'interno dell'area della stazione di Porta Principe.

5.3.4 Stazione Piazza Principe

L'acqua che supera il muretto di via del Lagaccio si trova in un'intercapedine tra il muretto stesso e l'edificio delle FS, Figura 54. L'intercapedine è costituita da un terrazzo interno dell'edificio in cui sono presenti delle bocche di lupo collegate agli scantinati, non considerate nella schematizzazione. Tale terrazzo è limitato da un muretto che dà verso un ulteriore edificio intercluso prima di aprirsi sui marciapiedi nord della stazione di Piazza Principe, Figura 55.

La schematizzazione di quest'area riprodotta nel modello è riportata in Figura 56.

Come si vede nella Figura 55 sul marciapiede è presente l'ingresso di un sottopasso di servizio che, attraversando tutti i binari, porta al marciapiede a sud della stazione, non sono presenti uscite nei marciapiedi ai binari, Figura 57. A questo sottopasso sono collegati gli scantinati dell'edificio FS, Figura 58.

Nel modello 2D quest'area è stata schematizzata come illustrato nella Figura 59. Per definire l'imbocco e l'uscita del sottopasso è stato modificato il DTM alla quota del piano calpestabile del sottopasso, alla stessa quota è stata imposta al rettangolo che simula la presenza dello scantinato. Il sottopasso è schematizzato con un culvert che collega le due aree. Sempre con un cuvert è schematizzato il collegamento tra l'imbocco del sottopasso e lo scantinato. Le aree di imbocco e uscita del sottopasso sono contornate su tre lati da *2D connection* che schematizzano i muretti che delimitano gli ingressi al sottopasso.

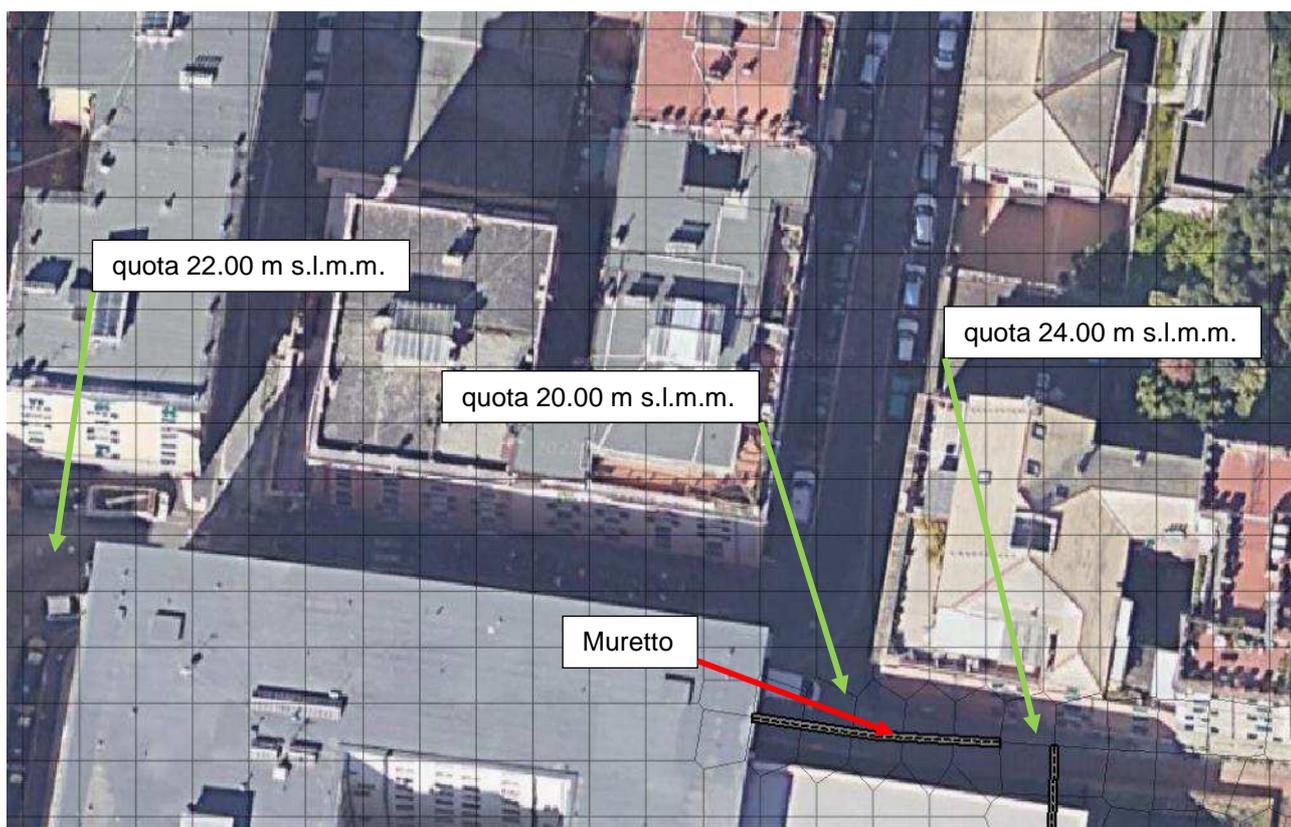


Figura 52 Schematizzazione via del Lagaccio

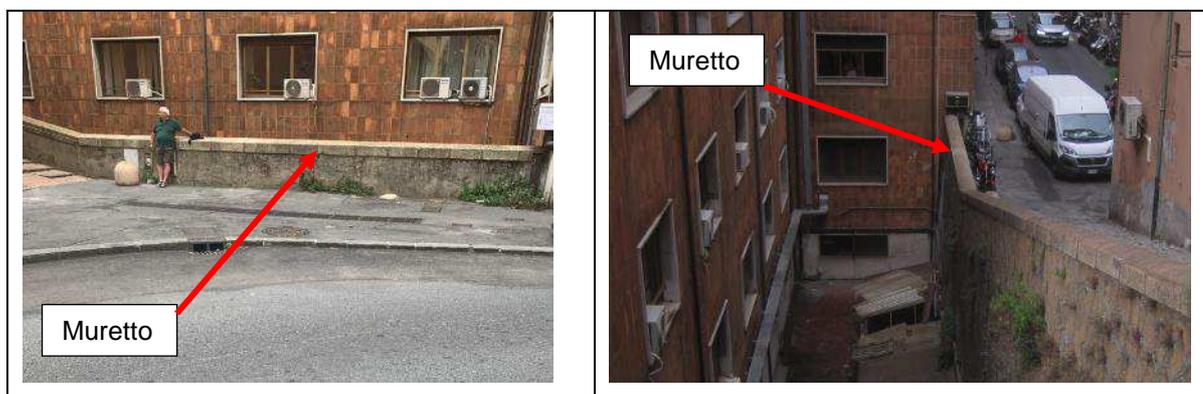


Figura 53 Muretto visto da via del Lagaccio (sx), e dalla salita a via Avezzana (dx)



Figura 54 Intercapedine tra muretto e edificio FS



Figura 55 Muretto via del Lagaccio e edificio FS visti da stazione Piazza Principe

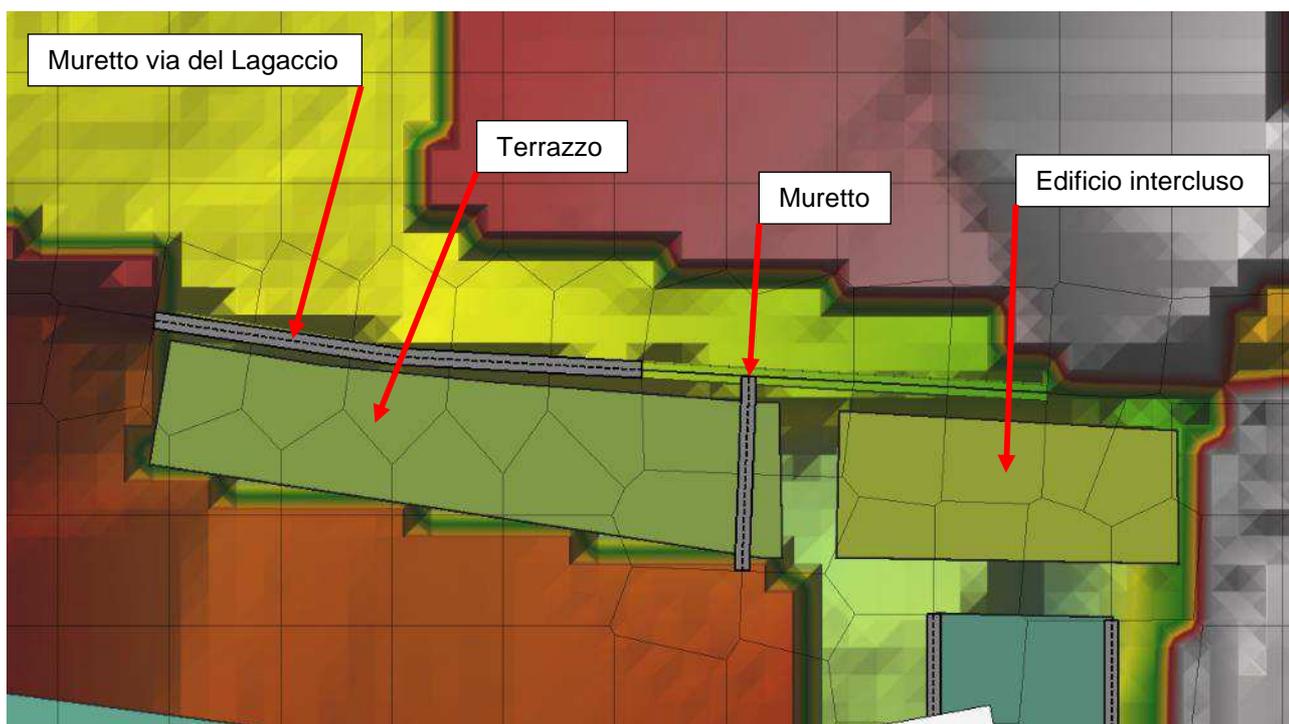


Figura 56 Schematizzazione dell'intercapedine nel modello 2D



Figura 57 Sottopasso della stazione

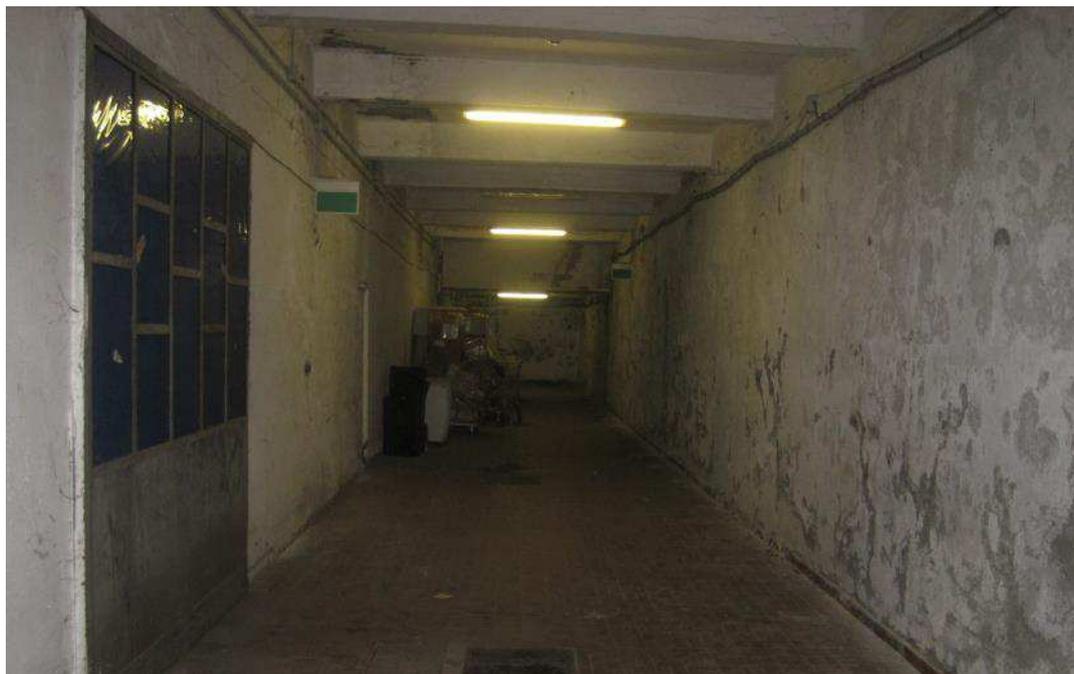


Figura 58 Scantinati dell'edificio collegati al sottopasso

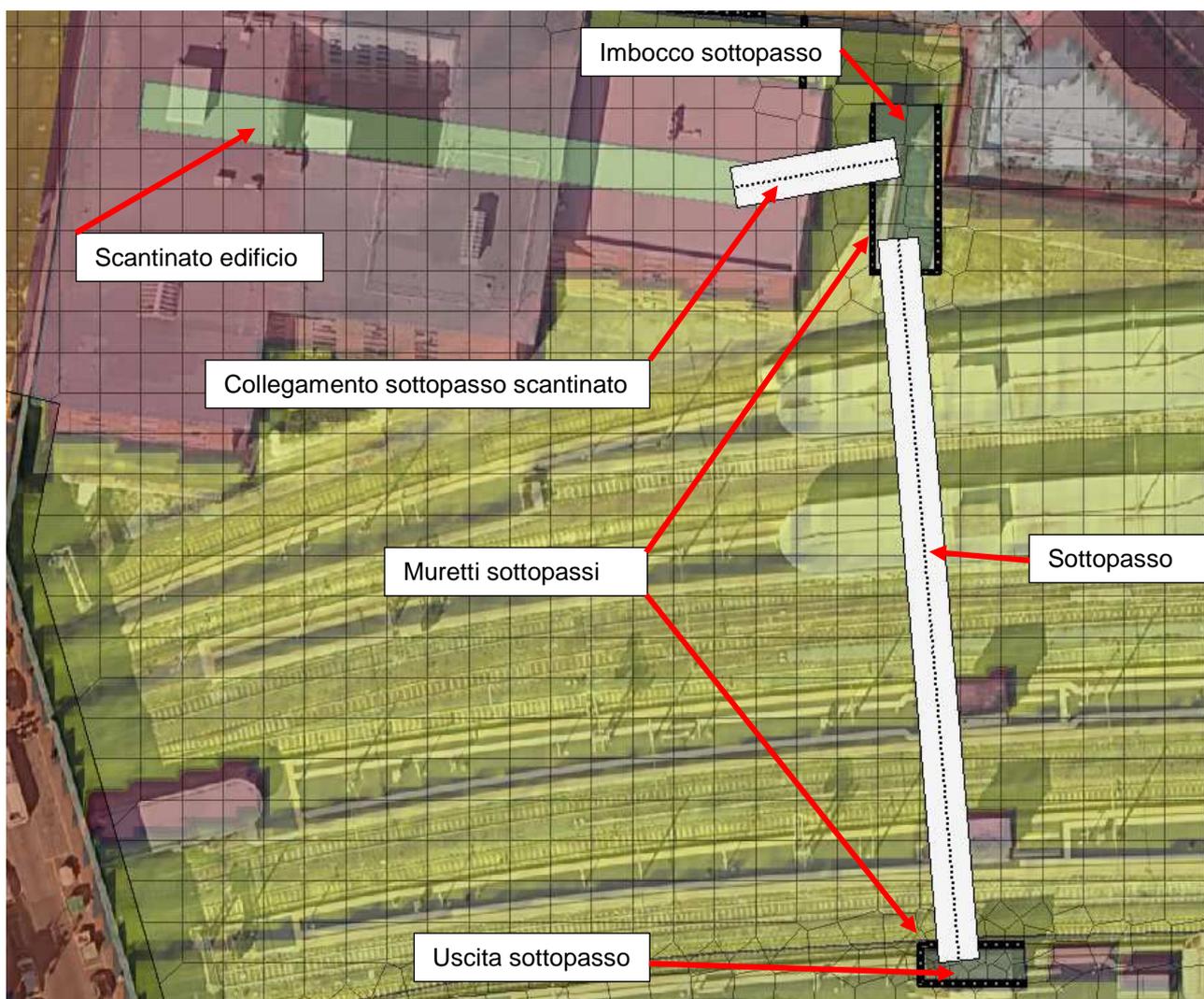


Figura 59 Schematizzazione nel modello 2D del sottopasso della stazione e degli scantinati dell'edificio FS

5.3.5 Zona via Mura Zingari

Come visto nella schematizzazione del modello SWMM (cfr. paragrafo 4.4) sono presenti ben tre punti di fuoriuscita: porta sezione 234, chiusino sezione 236 e chiusino derivazione depuratore, per cui un'accurata schematizzazione di questa zona è indispensabile. Innanzitutto, al di sotto di via Fanti d'Italia sono presenti due ampie aperture che collegano le zone a cavallo della strada, nella Figura 60 è illustrato quello più a nord. A separare la zona con quella di pertinenza FS è pre-

sente un muretto, Figura 61, schematizzato nel modello come *2D connection*. Lo schema riprodotto nel modello è riportato nella Figura 62.



Figura 60 Passaggio sotto via Fanti d'Italia



Figura 61 Muretto di separazione con area FS

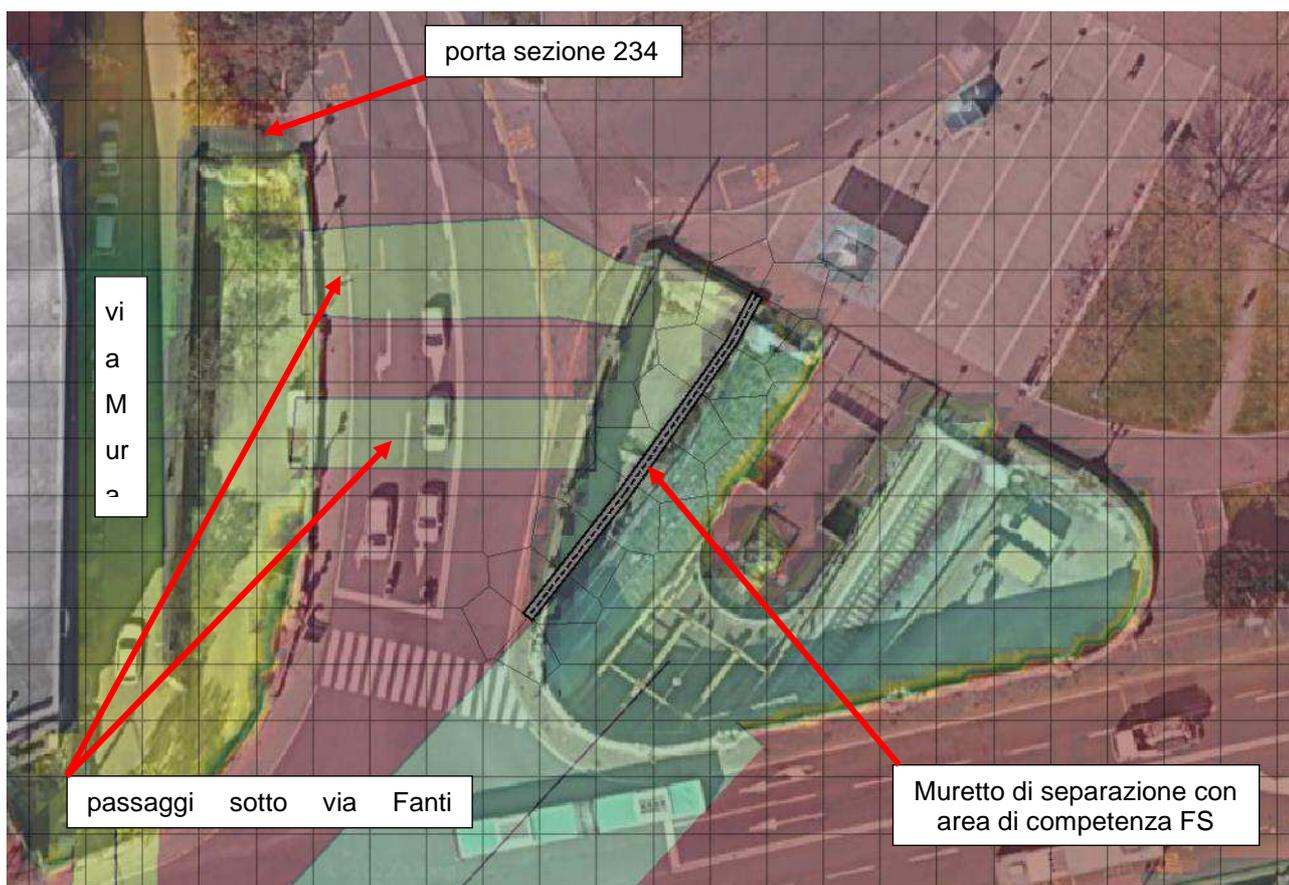


Figura 62 Schematizzazione nel modello 2D dell'area di via Mura Zingari

5.3.6 Muretto di separazione area competenza FS con la zona portuale

L'area di competenza FS, che corre parallela alla sopraelevata, è delimitata verso sud da un muretto continuo (Figura 63), a parte alcune interruzioni, che funge da contenimento dei volumi esondati nella zona di via Mura Zingheri. Il muretto è stato interamente rilevato con apposita strumentazione topografica vista la sua fondamentale importanza nella definizione degli allagamenti nella zona portuale e si estende, pur con diverse tipologie, verso monte anche nella prima campata lato mare di sostegno del Ponte dei Mille ove sono presenti depositi di materiale di vario genere che ne impediscono la sua caratterizzazione di dettaglio. Il muretto è stato schematizzato all'interno del modello mediante *2D connection*, Figura 64. A sud del muretto descritto esistono altre linee di contenimento, ma non risultano

continue e spesso costituite da moduli New Jersey (quindi mobili) e non sono pertanto state prese in considerazione nella schematizzazione.

5.4 Condizioni al contorno

Le portate che entrano nel dominio di calcolo sono quelle generate nel bacino residuo naturale (cfr. Figura 2) e quelle che fuoriescono dal modello del tratto tombato del Lagaccio (paragrafo 4.6).

L'idrogramma definito dal modello idrologico per il bacino residuo naturale (Figure Figura 5, Figura 6 e Figura 7) è stato distribuito lungo i contorni del modello inclusi nel bacino, simulando il ruscellamento lungo i versanti.

Le fuoriuscite dei chiusini sono state imposte come immissioni sulle celle corrispondenti ai chiusini, gli idrogrammi sono riportati nelle Figure del paragrafo 4.6.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno di "valle", cioè di fuoriuscita dal dominio di calcolo, oltre alla condizione a mare sono state definiti altri tre contorni in corrispondenza delle linee ferroviarie. I volumi d'acqua che si riversano all'interno dell'area della stazione ferroviaria di Porta Principe defluiscono anche all'interno delle gallerie ad Est ed Ovest, seguire questi allagamenti esula dalle finalità del presente studio, per cui in corrispondenza dell'inizio delle gallerie è posta una condizione di deflusso di moto uniforme con pendenza 1‰. Analogamente per la linea ferroviaria parallela alla sopraelevata, in corrispondenza all'inizio della galleria è stata posta una condizione di deflusso di moto uniforme con pendenza 1‰.

La definizione delle diverse condizioni al contorno è riassunta nella Figura seguente.



Figura 63 Muretto di separazione zona FS area portuale



Figura 64 Schematizzazione del muretto all'interno del modello

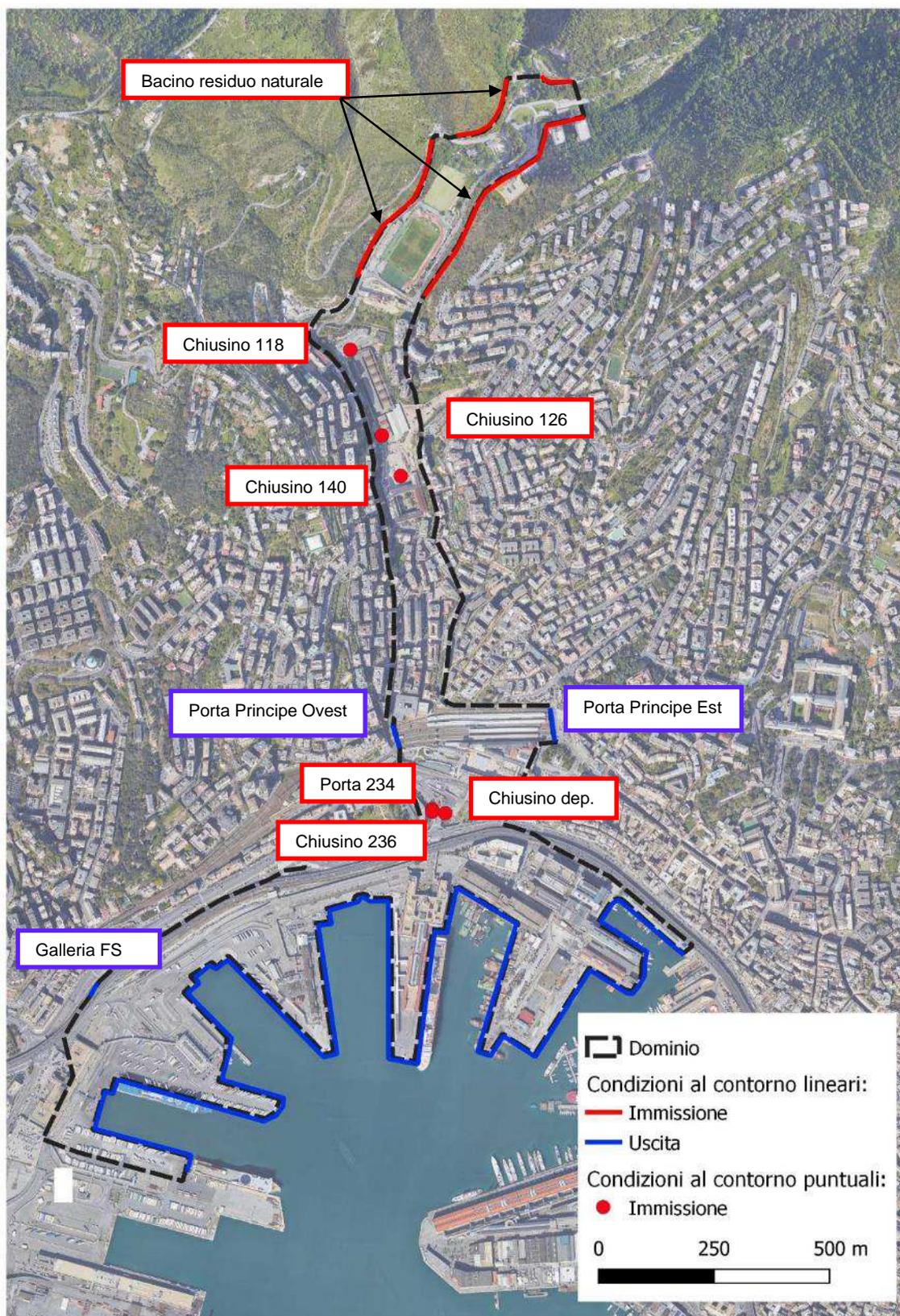


Figura 65 Definizione delle condizioni al contorno

5.5 Risultati del modello

La dinamica degli allagamenti, a parte i valori dei tiranti d'acqua, è del tutto simile per i tre tempi di ritorno analizzati, nelle figure seguenti sono riportati i risultati per Tr-200.

Il ruscellamento dal bacino residuo naturale (cfr. Figura 2) defluiscono lungo le strade e si accumulano nell'area degli impianti sportivi che storicamente costituiva il "lagaccio" formato dalla diga, Figura 66. A parte alcune zone depresse, i tiranti sono dell'ordine dei 10-30 cm.

I volumi d'acqua proseguono verso valle raggiungendo la zona della vecchia diga, superandola (cfr. paragrafo 5.3.1) e raggiungendo l'area dell'ex caserma Gavoglio. In questa zona si aggiungono le fuoriuscite dai chiusini presenti nell'area. Si ha un forte accumulo legato alla presenza dell'edificio principale (cfr. paragrafo 5.3.2) con tiranti che superano i 2 m (Tr-200), Figura 67.

L'esondazione procede lungo via Lagaccio, e vie limitrofe, fino a raggiungere, superando il muretto di divisione (cfr. paragrafo 5.3.3), la zona della stazione Piazza Principe (cfr. paragrafo 5.3.4). Al termine di via Lagaccio i tiranti superano i 2 m (Tr-200) essendo un punto basso dove si ha accumulo finché i livelli non consentono di superare il muretto di divisione. I tiranti all'interno della zona della stazione sono dell'ordine dei 20-40 cm, Figura 68, ma sono allagati i sottopassi di servizio e scantinati collegati (cfr. paragrafo 5.3.4). Gli allagamenti conseguenti alle fuoriuscite di monte terminano sostanzialmente in questa zona, dove il volume di invaso disponibile impedisce una loro propagazione verso valle.

Le esondazioni di valle sono causate dalle fuoriuscite nella zona di via Mura Zingari (cfr. paragrafo 5.3.5) dove si raggiungono tiranti dell'ordine di 1.5 m. L'acqua fuoriuscita si incanala lungo la linea ferroviaria e la limitrofa via Mura Zingari delimitata a nord da via Adua, che è in rilevato rispetto alla ferrovia, e a sud da un muretto che delimita l'area di pertinenza FS (cfr. paragrafo 5.3.6). All'interno dell'area ferroviaria i tiranti sono inferiori a 1 m, mentre nell'area portuale variano da pochi cm ad un massimo di 30 cm, Figura 69.

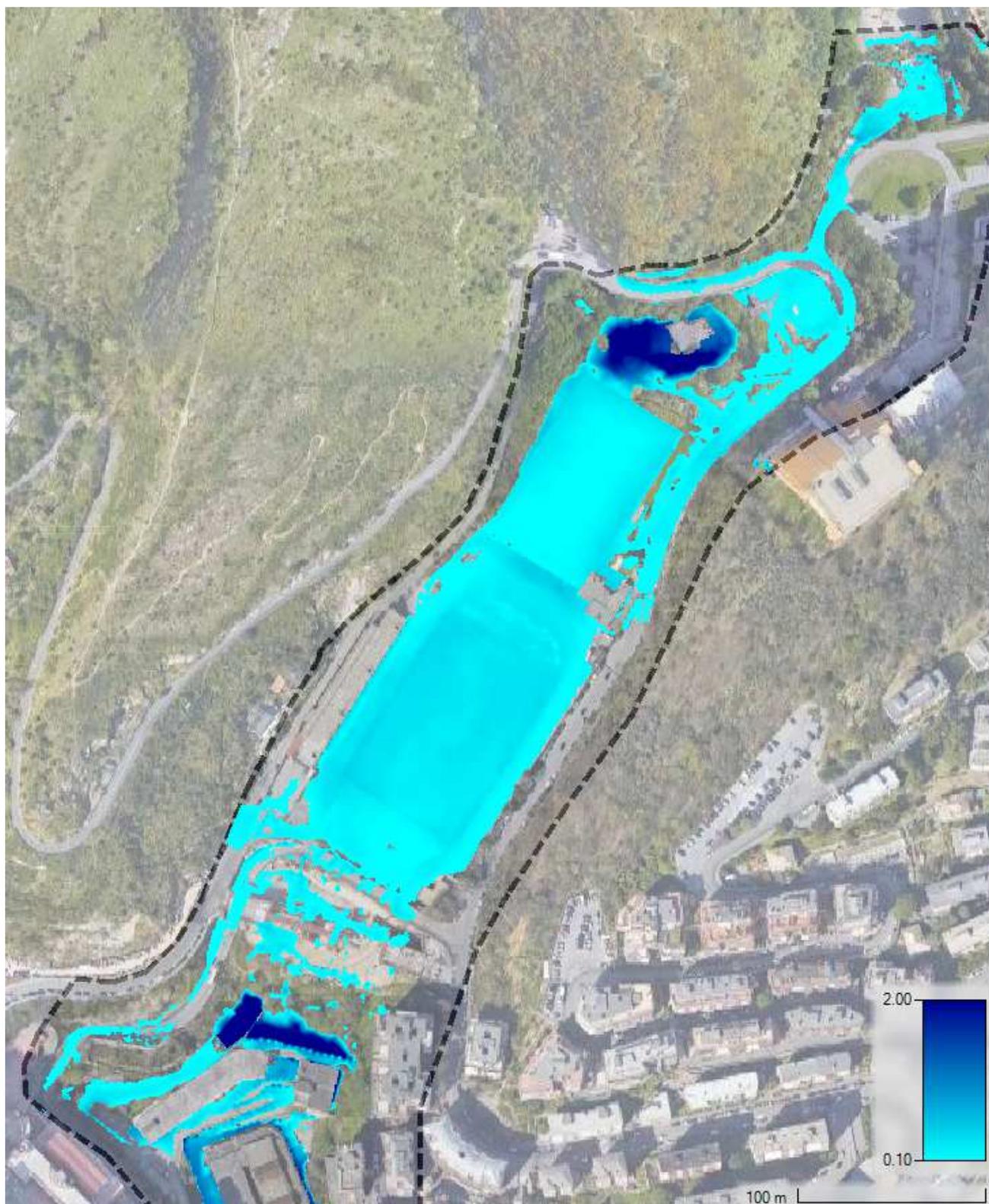


Figura 66 Tiranti d'acqua Tr-200 nell'area degli impianti sportivi

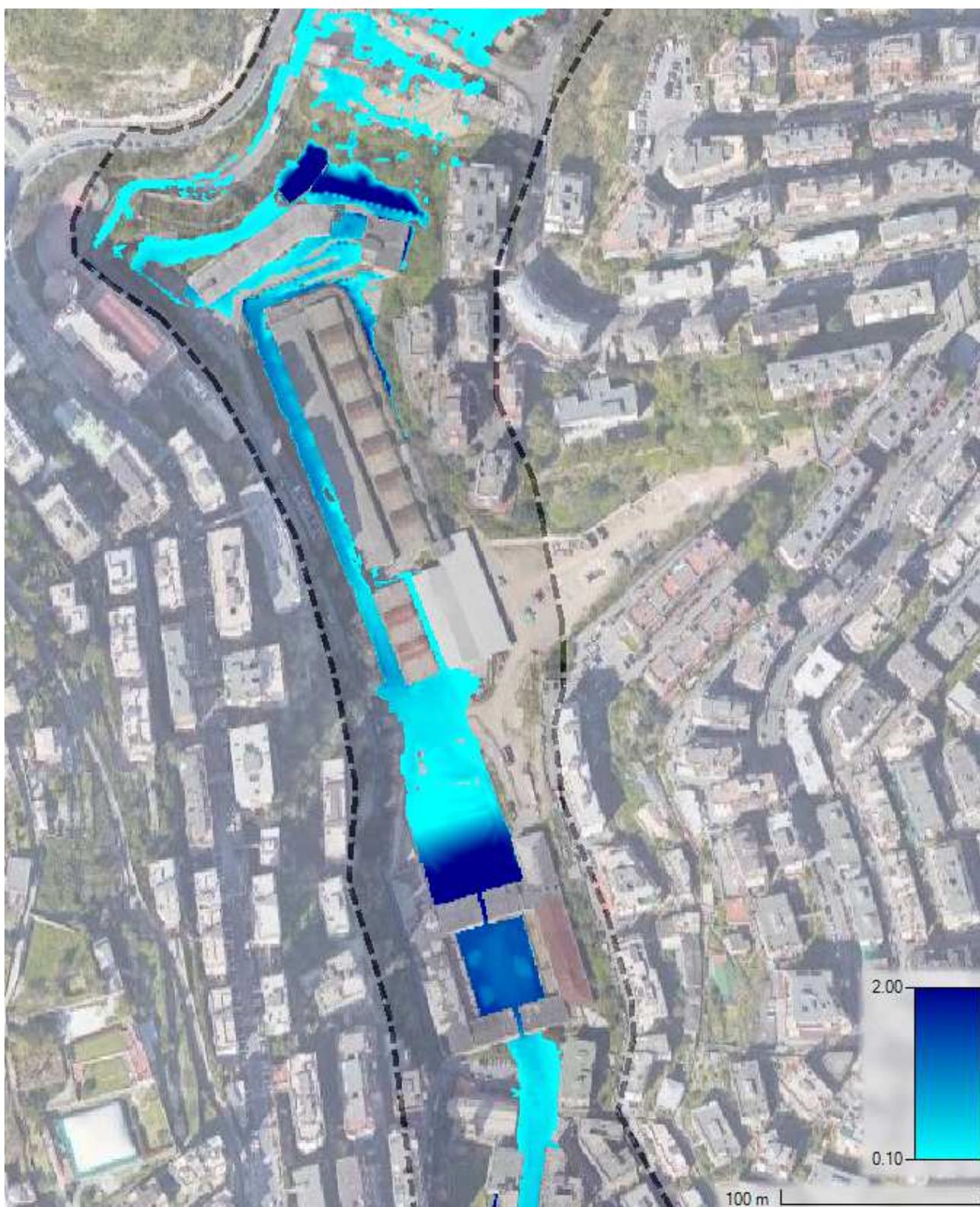


Figura 67 Tiranti d'acqua Tr-200 nell'area dell'ex caserma Gavoglio



Figura 68 Tiranti d'acqua Tr-200 lungo via Lagaccio e all'interno della stazione Porta Principe



Figura 69 Tiranti d'acqua Tr-200 nella zona portuale

6. SCENARI DI INTERVENTO

6.1 Approccio progettuale per la mitigazione e messa in sicurezza idraulica

A seguito dall'analisi sullo stato di fatto di cui ai precedenti paragrafi sono stati analizzati possibili interventi finalizzati alla mitigazione e messa in sicurezza idraulica del territorio.

Il quadro di attuale criticità del rio Lagaccio, correlato alle attuali situazioni di insufficienza diffusa delle sezioni di deflusso nonché alla morfologia del territorio, ha fin da subito evidenziato l'impossibilità di perseguire obiettivi di mitigazione con attuazione di interventi puntuali o a scala locale, anche al fine di conseguire migliori condizioni di deflusso con incremento in termini di officiosità idraulica e quindi diminuzione degli allagamenti pur traguardando in prima fase tempi di ritorno inferiori alla T200.

Considerato infatti il forte sottodimensionamento delle sezioni di deflusso rispetto alle portate afferenti ai sottobacini e bacini in esame, come si evince da quadro di pericolosità risultante dall'analisi T50 di stato di fatto, per il conseguimento di un effettivo beneficio in termini di sicurezza idraulica del territorio risulta imprescindibile l'attuazione di interventi a scala complessiva di corso d'acqua in grado di alleggerire significativamente i contributi di portata afferenti al tratto specie terminale del Rio, ovvero specificatamente quello che si sviluppa dalla caserma Gavoglio fino allo sbocco a mare che di fatto ha da tempo sostanzialmente perso ogni carattere di naturalità configurandosi, di fatto, come fognatura urbana.

Tali interventi, pur rilevanti in quanto difficilmente frazionabili in un'ottica di graduale raggiungimento degli obiettivi di messa in sicurezza, risultano tuttavia attuabili, sostenibili e pienamente giustificati dal punto di vista ambientale, cantieristico oltre che finanziario in relazione sia alle caratteristiche del contesto urbano in esame, oggi esposto ad una condizione di elevato rischio, sia agli importanti interventi ed iniziative di riqualificazione urbana pubblica e privata già in atto o in fase di programmazione da parte di diversi Enti, a partire dal Comune stesso.

6.2 Possibilità di intervento, Studi pregressi e possibili ottimizzazioni

6.2.1 Premessa

Resta inteso che, in relazione alle attuali condizioni di insufficienza del Rio, l'ipotesi di un risezionamento in sede e pressoché complessivo del corso d'acqua, specie nel tratto urbano a valle dalla ex-caserma Gavoglio verso valle, risulta di fatto non perseguibile in relazione a diversi aspetti: effettivi spazi di inserimento nel contesto urbano di sezioni idrauliche di larghe dimensioni, cantierizzazione ed impatti sul territorio in fase esecutiva, elevati costi.

In questo quadro sono stati quindi analizzati e valutati criticamente i recenti studi di sistemazione effettuati per il corso d'acqua, con particolare riferimento ai preliminari "*Studio di fattibilità delle alternative progettuali dello scolmatore del rio Lagaccio*" elaborati dal Comune di Genova - Direzione Infrastrutture e Difesa del Suolo _ Settore Attuazione Opere Idrauliche - nel periodo 2019-2020, ricontestualizzando gli scenari di intervento ivi contenuti agli approfondimenti sviluppati in questa sede sulle caratteristiche idrologiche ed idrauliche del corso d'acqua, sul comportamento e criticità dello stato di fatto e sulle dinamiche di esondazione e propagazione degli allagamenti.

In particolare tali *Studi* prevedevano la realizzazione di una galleria di derivazione in grado di captare le portate di piena attraverso due opere di presa localizzate sul rio Lagaccio, a monte del piazzale Telecom, e sul rio Granarolo, secondo una tipologia costruttiva (pozzi a vortice) nota e già sviluppata dagli scriventi nell'ambito delle progettazioni delle opere di messa in sicurezza per il torrente Fereggiano (opera realizzate e funzionante) e rivi minori Rovare e Noce (opere di imminente appalto).

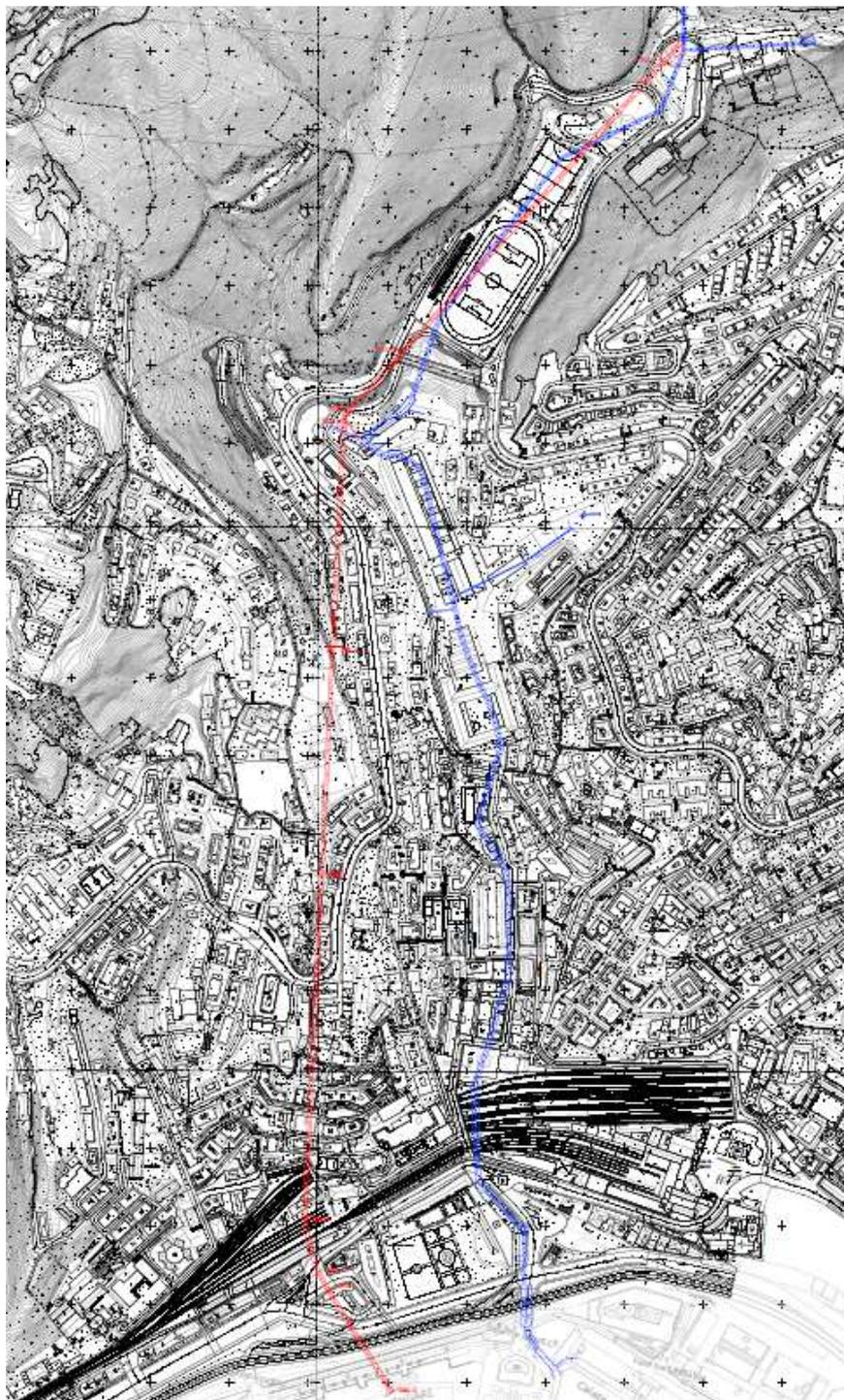


Figura 70: Comune di Genova - Direzione Infrastrutture e Difesa del Suolo _ Settore Attuazione Opere Idrauliche - Studio di fattibilità delle alternative progettuali dello scolmatore del rio Lagaccio

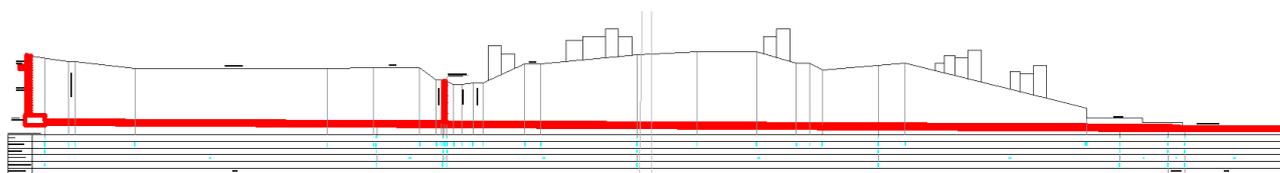


Figura 71: Comune di Genova - Direzione Infrastrutture e Difesa del Suolo _ Settore Attuazione Opere Idrauliche - Studio di fattibilità delle alternative progettuali dello scolmatore del rio Lagaccio

L'analisi di tale progettualità pur preliminare sviluppata dal Comune in correlazione alle risultanze degli approfondimenti in questa sede condotti porta sostanzialmente a confermare il quadro di intervento previsto negli Studi 2019-2020 quale unico possibile per il conseguimento degli obiettivi di effettiva mitigazione o messa in sicurezza idraulica del territorio, pur con possibili affinamenti ed ottimizzazioni che potranno essere approfonditi anche in relazione ai principi e criteri di dimensionamento che si valuterà di adottare, ovvero ai gradi di sicurezza impiegati nella scelta di parametri di base della progettazione, tenendo a riferimento le norme di Piano di Bacino ma anche in relazione a concrete ed analoghe progettualità già attuate sul territorio tra cui quelle sopra richiamate, peraltro direttamente seguite anche dagli scriventi. Il tutto in correlazione, ovviamente alle disponibilità economiche di finanziamento.

Con riferimento quindi al contesto territoriale, alle insufficienze rilevate a scala globale per il corso d'acqua in esame, alle caratteristiche di "fognatura urbana" del Lagaccio nel tratto dall'ex caserma Gavoglio a mare, l'assetto sistematorio da privilegiare è quello che prevede la realizzazione di un deviatore del Rio in grado di captare interamente i contributi di piena del bacino sostanzialmente naturale di monte, "declassando" l'esistente tombinatura del Lagaccio a ramo della rete urbana, secondo lo schema che, oltre che essere maggiormente razionale e confacente all'attuale funzionamento del sistema, è stato concretamente perseguito anche per vari rami del reticolo, oggi non più inclusi nel reticolo idrografico regionale di cui alla D.G.R. N. 507 del 21/06/2019.

6.2.2 Aspetti geologici

Come in precedenza accennato la galleria idraulica individuata dallo Studio del Comune prevede a monte un'opera di presa e un pozzo a vortice verticale profondo circa 105 m che termina in una vasca di dissipazione; da qui ha origine il cana-

le in direzione Sud, realizzato al disotto del fianco orientale del versante orografico destro, a profondità variabili da 60 m rispetto al p.c. verso monte, 60 m da p.c. nel tratto centrale (zona della seconda opera di presa presso il rio Granarolo, immediatamente a valle dell'esistente tratto a cielo aperto del Lagaccio in area ex-caserma), ed oltre 100m da p.c. nel tratto meridionale, fino a giungere nel settore litoraneo ove il canale attraverserà la ferrovia sopraelevata in quota circa 17÷18 m rispetto al fondo scavo che, nel tratto finale sarà attestato circa alla quota del mare, dunque sottoposto 5-6m rispetto al piano campagna locale (Via Mura degli Zingari).

In via prettamente preliminare possono essere riassunte le seguenti considerazioni.

i. Aspetti geologico-applicativi

Il pozzo all'imbocco dello scolmatore e la quasi totalità del tracciato interesseranno l'ammasso roccioso a profondità ragguardevoli e dunque è lecito immaginare una sua condizione di conservazione più che discreta.

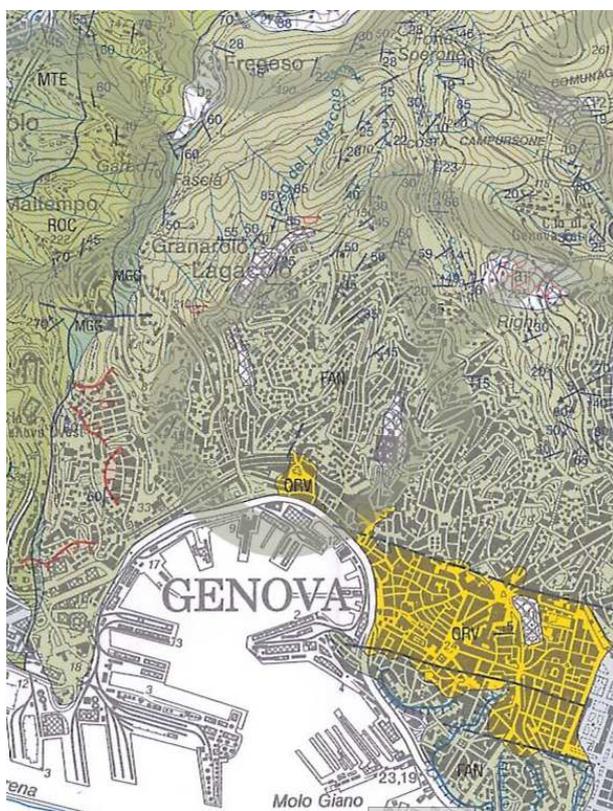


Figura 72: Carta geologica ISPRA progetto CARG

Si osserva tra l'altro che la cartografia ufficiale (Piano di Bacino e ISPRA – progetto CARG -) non denunciano la presenza di elementi strutturali significativi (faglie). E' tuttavia da sottolineare che la giacitura media di strato potrà generare nel corso degli scavi condizioni di stabilità eterogenee, più conservative lato Ovest e più confortanti lato Est e, conseguentemente, sollecitazioni diversificate sui due fianchi della struttura strutture.

In prossimità del litorale le problematiche saranno sostanzialmente geotecniche stante l'interferenza con materiali di riporto e, alla base, depositi marini.

ii. Aspetti geomorfologici - idrogeologici

In considerazione della permeabilità della Formazione dei Calcari di M. Antola, nel corso degli scavi sono da prevedere condizioni di permeabilità, anche in ragione di possibili meccanismi pseudocarsici.

Nelle more dei necessari accertamenti geognostici volti a ricostruire con la massima precisione il modello geologico-idrogeologico del territorio ai sensi del D.M. 17/01/2018 (NTC) sulla base dei dati al momento disponibili si può immaginare che, stante la profondità del canale, il drenaggio della acque non dovrebbe determinare effetti significativi in superficie.

Relativamente agli aspetti geomorfologici correlati alle condizioni idrogeologiche del territorio, pare utile fornire qualche considerazione sul possibile trasporto solido "anomalo" lungo il corso d'acqua a monte dell'imbocco.

A tale proposito, richiamando le cartografie proposte nei precedenti paragrafi, non si ravvisano condizioni di particolare pericolo salvo colamenti di coltri medio-sottili dai versanti nell'eventualità di eventi meteorologici particolarmente intensi.

Saranno invece da valutare le condizioni di confinamento/stabilità dei riporti presenti a monte dell'imbocco per escludere, eventualmente attraverso propedeutici interventi di consolidamento, scollamento degli stessi e temute debris-flow destinate a inficiare l'efficacia del canale scolmatore.

6.2.3 *Aspetti idraulici*

In relazione agli aspetti più prettamente idraulici, in particolare dall'analisi dello Studio di Fattibilità sviluppato dal Comune si evidenzia:

- a. la necessità di approfondire l'ubicazione dell'opera di presa prevista a monte al fine di garantire l'effettiva captazione di tutti i bacini a tergo di essa, dalle caratteristiche pressoché extraurbane, ed attualmente afferenti ai rami del rio Lagaccio, rio Guaglino e rio Banchette;
- b. la necessità di approfondire, oltre quanto sopra evidenziato, le effettive possibilità di captazione dell'interbacino extraurbano compreso tra i rivi di cui sopra ed il tratto "a cielo aperto" in caserma ex-Gavoglio, che attualmente determina situazioni di allagamento non per insufficienza del reticolo quanto per la mancanza di punti di captazione ed accesso in rete;

- c. l'opportunità, anche in correlazione alle disponibilità ed ottimizzazione delle risorse economiche secondo quanto sopra richiamato, di procedere all'unica realizzazione, quantomeno in prima fase, del tratto che si sviluppa a valle dell'esistente tratto a cielo aperto in area Gavoglio, ovvero dall'immissione del rio Granarolo fino allo sbocco a mare. In questo schema la nuova galleria fungerebbe da opera in derivazione in grado di captare i contributi del bacino extraurbano di monte, ovvero di quelli che ad oggi mantengono caratteristiche di naturalità, mentre l'esistente tombinatura del Lagaccio a valle dell'area ex-caserma assumerebbe le caratteristiche di dorsale di collettamento della rete urbana, dovendo quindi garantire il deflusso dei contributi di piena valutati per tempi di ritorno inferiori a T200 e stimabili dell'ordine dei 10 anni come normalmente avviene per le fognature.

Gli approfondimenti numerici mediante modello SWMM condotti nell'ipotesi di perseguire l'impostazione progettuale di cui al precedente "punto c" hanno evidenziato la capacità di contenimento, da parte delle esistenti sezioni della tombinatura dalla caserma Gavoglio fino alla foce, della portate di riferimento con tempo di ritorno 10 anni con franchi variabili ma sempre positivi, pur ridotti nelle sezioni "ribassate" da via mura degli Zingari fino allo sbocco a mare.

Prevedendo quindi un'unica opera di presa ed avvio in galleria di scolmo localizzata poco a valle dell'attuale tratto a cielo aperto in zona ex-Gavoglio, e considerando altresì la realizzazione, immediatamente a monte di tale presa, di opere puntuali ma strategiche per il contenimento dei deflussi (es: chiusura e consolidamento del muro della ex diga e della sponda sx del tratto a cielo aperto) al fine di garantire l'intercettazione dei volumi esondati a monte secondo quanto evidenziato al precedente "punto b" ed attualmente afferenti, come evidenziato dalle dinamiche di propagazione restituite da modellazione numerica, proprio al tratto a cielo aperto, si conseguirebbe la completa messa in sicurezza idraulica dei territori urbani di valli maggiormente sensibili.



Figura 73: Scenario di mitigazione del rischio con unici allagamenti residuali T200 limitati alla parte di monte, e con area valle della ex-caserma fino allo sbocco priva di qualsiasi situazione di allagamento

Le preliminari valutazioni in relazione alla progettazione idraulica di tale opera di captazione e scolmo portano nella sostanza a confermare i dimensionamenti prefigurati nello Studio di Fattibilità del Comune, ovvero la realizzazione di un pozzo di presa a vortice, con camera di dissipazione al fondo, per successivo convogliamento in galleria a sezione circolare, o policentrica equivalente, di diametro netto interno pari a 5 m in grado di convogliare con livelleta del 5‰, il contributo T200 dei bacini extraurbani di monte pari a ca. 75 mc/s con gradi di riempimento di poco inferiori al 60% e contenimento della cinetica all'interno della sezione, per uno sviluppo in galleria di 1120 m circa.

In relazione alla morfologia dell'ultimo tratto si conferma anche la necessità di realizzazione degli ultimi 150 m ca. prima dello sbocco a mare con abbassamento della livelleta al 1.6 ‰ e manufatto scatolare di dimensioni b x h pari a 5.7 x 4.5 m, in modo da garantire lo sbocco a mare con ubicazione già individuata secondo

Studio 2019-2020 ed estradosso della sezione terminale prossimo allo zero medio mare.

Ciò con eventuale successiva possibilità di affrancare da allagamenti anche le aree di monte, a minor pregio urbanistico (impianti sportivi Giorgio Arnaldi e Felice Ceravolo, ecc...) da residui contributi fuoriusciti, o meglio non recapitati in rete, e per i quali nello scenario di mitigazione di cui sopra permarrebbero tiranti massimi T200 dell'ordine dei 30 cm attuando, in aggiunta alle opere sopra delineate, ulteriori opere complementari, da definire in relazione ai necessari approfondimenti topografici e progettuali, e riconducibili, oltre che alla riconsiderazione e razionalizzazione di idonei punti di captazione nell'esistente reticolo, alla realizzazione di nuovi rami in grado di regimare i deflussi superficiali riconducendoli ad un naturale punto di raccolta a valle rappresentato, come in precedenza richiamato, proprio dal tratto a cielo aperto.

7. CONCLUSIONI

Lo *Studio idraulico di dettaglio del rio Lagaccio in comune di Genova* è finalizzato alla definizione del quadro della pericolosità idraulica del piano di bacino dell'Ambito 14 collegata al rio Lagaccio, nonché all'individuazione di scenari di mitigazione del rischio a livello di fattibilità tecnica.

La presente relazione costituisce la relazione tecnica che illustra le attività svolte, i dati utilizzati e gli approfondimenti idrologici e idraulici effettuati ai fini della definizione dell'attuale quadro di pericolosità.

A tal fine sono state individuate le aree inondabili per i diversi tempi di ritorno di interesse per la pianificazione di bacino di livello regionale ($T = 50, 200$ e 500 anni) con le relative entità di tiranti idrici massimi e velocità di scorrimento massime, sulla base dei criteri regionali di cui alla DGR 91/2013.

In particolare si richiama come ai fini della presente analisi sia stato adottato uno schema modellistico con modellazione idraulica monodimensionale in moto vario dell'alveo (tombinato), combinata con una modellistica bidimensionale per la definizione della dinamica dell'esondazione nelle aree perifluviali.

In questo quadro, tenuto conto dell'estensione e caratteristiche di insufficienza del tratto coperto, l'individuazione delle aree inondabili è stata effettuata a partire dall'analisi dello stato dei luoghi e dati topografici disponibili, considerando scenari di esondazione valutati in correlazione alle caratteristiche idrauliche locali della corrente (ad es. carichi totali), alle caratteristiche geometriche e strutturali della tombinatura (ad esempio tratti con ricoprimento ridotto o strutturalmente potenzialmente critici) ed in correlazione con eventi storici e criticità effettivamente riscontrati.

In relazione invece alla valutazione delle aree di esondazione sono state considerate le linee di contenimento fondamentali (in termini di estensione, continuità, consistenza) condizionanti i fenomeni di propagazione. Tali elementi sono stati valutati a partire dall'analisi dei dati cartografici e topografici disponibili, verificati in occasione dei numerosi sopralluoghi effettuati ed oggetto di specifici rilievi topografici integrativi. Tuttavia, anche in relazione ad stato dei luoghi che, oltre che a essere particolarmente complesso in virtù delle condizioni di urbanizzazione ed in-

frastrutturazione, con elementi territoriali potenzialmente condizionanti i fenomeni di propagazione che spesso presentano caratteri di precarietà, si presenta in continua evoluzione ed oggetto di frequenti modifiche in correlazione ad interventi a scala di modifica locale o trasformazione urbanistica a larga scala, nell'ambito dello Studio sono state effettuate analisi di sensitività al fine di analizzare l'entità delle variazioni, in termini di estensione delle aree e entità dei tiranti massimi, correlate a tali variazioni di assetto territoriale.

I risultati finali di tali elaborazioni, tenuto conto di quanto sopra, sono riportati negli elaborati in allegato cui si rimanda nei quali, come di consueto, non vengono rappresentati gli allagamenti con tirante inferiore a 10 cm vista il grado di affidabilità degli strumenti utilizzati nonché lo scarso interesse delle potenziali conseguenze.

In ultimo nell'ambito del presente Studio sono stati valutati i possibili scenari di intervento finalizzati alla mitigazione ed alla messa in sicurezza idraulica del territorio. Tali scenari sono stati sviluppati e quindi verificati a partire dall'attuale quadro di pericolosità desunto dall'analisi di stato di fatto, tenendo conto di studi e progettazioni pregresse messe a disposizione dall'Amministrazione, con particolare riferimento al preliminare *Studio di fattibilità delle alternative progettuali dello scolmatore del rio Lagaccio* elaborato dal Comune di Genova - Direzione Infrastrutture e Difesa del Suolo - Settore Attuazione Opere Idrauliche nel periodo 2019-2020.

Tali elementi sono stati valutati criticamente ed analizzati dal punto di vista geologico oltre che idraulico, con spunti di ottimizzazione anche in un'ottica di massimizzazione dei benefici idraulici, in relazione a possibili disponibilità economiche per la realizzazione dei necessari interventi strutturali ed ai prioritari obiettivi di messa in sicurezza idraulica delle aree oggi caratterizzate da un maggior grado di rischio.

8. ELENCO ELABORATI

ELABORATI DESCRITTIVI

1. RELAZIONE

RLAG 0.01

Rev 00	Rev 01	Rev 02	Rev 03
	X		

ELABORATI GRAFICI

	Scala:	Tavola:
1. CARTA DEGLI ALLAGAMENTI T50	1:2'000	RLAG 0001
2. CARTA DEGLI ALLAGAMENTI T200	1:2'000	RLAG 0002
3. CARTA DEGLI ALLAGAMENTI T500	1:2'000	RLAG 0003
4. CARTA DEI TIRANTI T200 (funzionale agli ambiti)	1:2'000	RLAG 0004
5. CARTA DELLE VELOCITA' T200 (funzionale agli ambiti)	1:2'000	RLAG 0005

Rev 00	Rev 01	Rev 02	Rev 03
X			
X			
X			
X			
X			