Comune di Genova

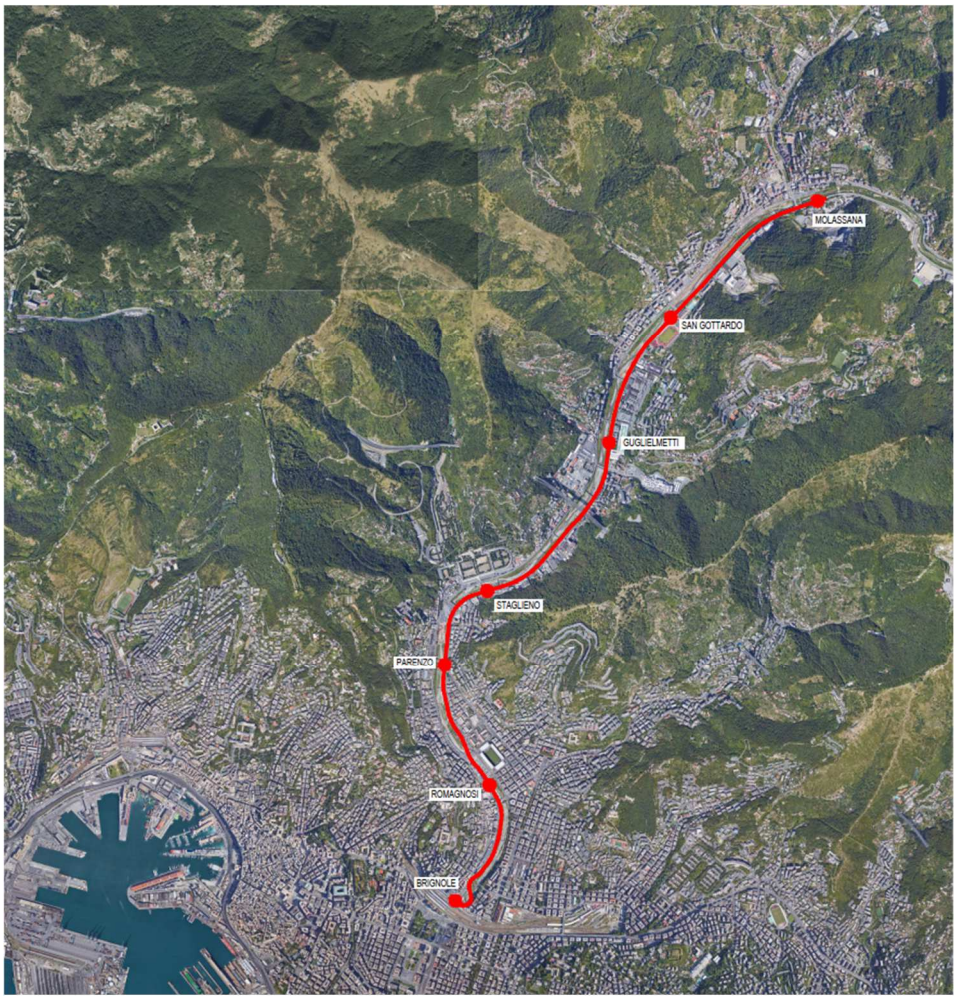
SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

(D.lgs. n. 36 / 2023)



STUDI E INDAGINI
IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione Idrologica

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	PR	LV	IDR	COM	R	002	00	B

Rev.	Descrizione	Nome		Data
A	Emissione	Redatto	N. Gilardi	10/10/2023
		Verificato	D. Cerlini	10/10/2023
		Approvato	D. Nave	10/10/2023
		Autorizzato	P. Marchetti	10/10/2023
B	Aggiornamento a seguito dei commenti ricevuti nel corso della CdS	Redatto	N. Gilardi	07/12/2023
		Verificato	D. Cerlini	07/12/2023
		Approvato	D. Nave	07/12/2023
		Autorizzato	P. Marchetti	07/12/2023
C				
D				

Comune di Genova

INDICE

1.	**PREMESSA**	**5**
2.	**INQUADRAMENTO TERRITORIALE**	**7**
2.1	**PREMESSA**	**7**
2.2	**PIANO DI BACINO DEL BISAGNO**	**10**
2.2.1	ALLAGAMENTI FASCE FLUVIALI	10
2.2.2	PIANO DEGLI INTERVENTI	12
2.2.3	AGGIORNAMENTO DEL PIANO DI BACINO A SEGUITO DEGLI INTERVENTI REALIZZATI	13
2.2.4	PERIMETRAZIONE PREVENTIVA A SEGUITO DEGLI INTERVENTI IN CORSO	14
2.3	**PIANO DI BACINO DEL BISAGNO (RIO MERMI)**	**15**
2.3.1	ALLAGAMENTI E FASCIE FLUVIALI	16
2.4	**BACINI IDROGRAFICI**	**17**
3.	**CARATTERISTICHE DEI BACINI**	**18**
3.1	**PREMESSA**	**18**
3.2	**DESCRIZIONE DELLA RETE IDROGRAFIC INERFERITA**	**21**
3.2.1	RIO AQUILA	21
3.2.2	RIO TAGLIATE	21
3.2.3	RIO 1 (RIO CASTAGNA)	21
3.2.4	RIO SCIORBA	22
3.2.5	RIO MERMI	22
3.2.6	RIO TORRE (O BISAGNETTO)	22
3.2.7	RIO LAIASSA	23
3.2.8	RIO VOLPARA	23
3.2.9	RIO 2	23
3.2.10	RIO DEL CANTO (O TORTONA)	24
3.2.11	RIO DEL MIRTO	24
3.3	**LINEE SEGNALATRICI DI POSSIBILIÀ PLUVIOMETRICA**	**25**
3.4	**IDROLOGIA DI PIENA DEI RIVI MINORI**	**27**
3.4.1	PREMESSA	27
3.4.2	METODO CIMA	28
3.4.3	METODO CIMA – RISULTATI DEL PIANO DI BACINO	29
3.4.4	FORMULA RAZIONALE	29
3.4.5	LA CURVA INVILUPPO DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA	31
3.4.6	SINTESI DELLE PORTATE DI PIENA	33
4.	**APPROFONDIMENTI IDROLOGICI SUI RIVI MINORI NON STUDIATI**	**34**
4.1	**PREMESSA**	**34**
4.2	**STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA**	**34**

4.2.1 MODELLO CINEMATICO 38
4.2.2 MODELLO CN-SCS 39
4.3 ANALISI DEI RISULTATI E DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO 40
5. CONCLUSIONI 47

1. PREMESSA

La presente relazione analizza gli aspetti idraulici nell'ambito della progettazione di fattibilità tecnico economica connessi al progetto Skymetro.

La tratta in progetto costituisce il prolungamento della linea metropolitana di Genova esistente. La nuova tratta comprende sei nuove stazioni ed è lunga circa 6,9 km.

La diramazione dall'esistente avviene ad est della stazione di Brignole, all'inizio dell'attuale tronchino di inversione dei treni. Qui è previsto l'inserimento dei due deviatoi che si distaccano dalla linea attuale, che è previsto proseguirà verso la stazione di Martinez attualmente in corso di realizzazione. La linea si porta quindi lungo la Val Bisagno portandosi per un brevissimo tratto in sponda sinistra e passare poi con un'opera di scavalco del Torrente alla sponda destra. Qui proseguirà fino alla stazione Romagnosi, per poi portarsi di nuovo in sponda sinistra attraversando di nuovo il Torrente in corrispondenza della copertura esistente del Bisagno, sfruttando l'ingombro delle strutture già realizzate. Da qui in poi la linea si tiene in sponda sinistra dove è prevista l'ubicazione delle stazioni Romagnosi, Parenzo, Staglieno, Guglielmetti, San Gottardo e Molassana.

Le stazioni hanno una distanza media fra loro di circa 1 km ed al termine della linea è previsto un tronchino per inversione dei treni, ma anche per far sostare i rotabili durante la notte.

In relazione agli aspetti idrologici connessi alla realizzazione del progetto, si evidenzia come la nuova infrastruttura si collocherà nell'ambito delle aree afferenti al bacino e sottobacini del T. Bisagno.

Si rimanda agli altri elaborati del presente progetto per la descrizione delle opere previste.

Nell'ambito della progettazione della nuova linea si rileva la necessità di approfondire lo stato, e la potenziale interferenza, dei bacini minori rispetto alla infrastruttura e del relativo reticolo di scolo.

Fra questi si richiamano, in questa sede, da Nord verso Sud, il rio Aquila, il rio Tagliate, Rio Castagna (Rio 1), il rio Sciorba, il rio Mermi, il Rio Torre, il rio Laiassa, il rio Volpara, un secondo rio privo di nome, il Rio del Canto (o Tortona), il rio del Mirto. A questi si aggiungono alcuni interbacini urbani, tutti recapitanti nel torrente Bisagno. Allo stato attuale l'area si presenta ancora caratterizzata da una elevata condizione di criticità idraulica, secondo quanto rilevato nella documentazione di Piano (pur con il livello di dettaglio della pianificazione a scala di bacino) e testimoniato da eventi alluvionali anche recenti.

Nell'ambito del presente documento, a partire dalla caratterizzazione idrologica dei bacini secondo quanto indicato dal Piano di Bacino, vengono quindi valutati tali aspetti, approfondendo il contesto idrologico nel quale si colloca la nuova linea metropolitana, individuando e caratterizzando i principali elementi di vincolo.

Nel presente PFTE, in una prima fase, sono stati analizzati solo i bacini afferenti ai rii, mentre, in una seconda fase vengono presentati i risultati ottenuti dall'applicazione di ulteriori metodologie per entrambe le tipologie di bacino (rii minori ed aree urbane/extraurbane).

I bacini idrografici già studiati nell'ambito del Piano di Bacino o da altri soggetti non sono analizzati ulteriormente in questa sede, ma si provvederà a riportane i risultati. I bacini in questione sono quelli relativi al rio Sciorba, rio Mermi, rio Torre e rio Tagliate.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 PREMESSA

L'area oggetto di studio, che ingloba il tracciato della futura linea metropolitana, è costituita da una fascia di territorio che si sviluppa in direzione N – S su circa 5 km^2. È delimitata a sud dalla presenza della rete ferroviaria che attraversa ortogonalmente il T. Bisagno e si estende, da Sud a Nord, lungo la destra idrografica del Torrente Bisagno dalla stazione di Genova Brignole allo Stadio Luigi Ferraris per poi proseguire lungo la sponda in sinistra idrografica fino alla futura stazione di Molassana, attraversando i quartieri di Molassana, Staglieno, Marassi e San Fruttuoso.

La zona d'intervento si inserisce all'interno di un comparto interamente urbanizzato in cui i lineamenti morfologici originari sono stati completamente modificati ed alterati nel tempo.

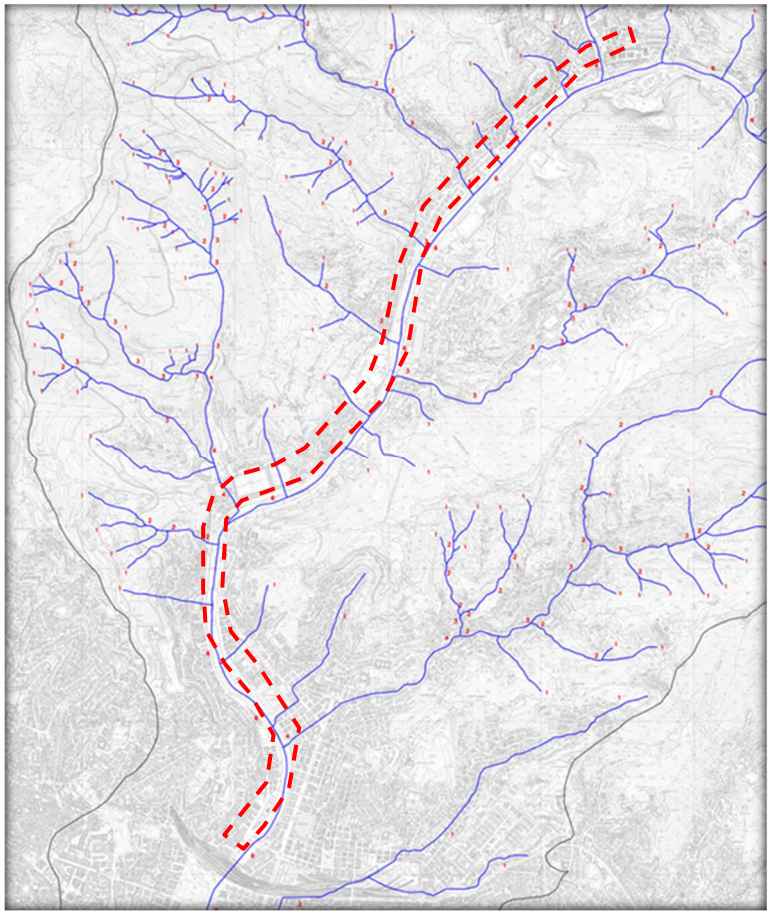


Figura 1. Stralcio cartografico della Carta del reticolo idrografico estratta dal P.d.B. del Torrente Bisagno con ubicazione dell'area in esame

La zona di intervento ricade all'interno del Piano di Bacino del Torrente Bisagno approvato con D.C.P. n° 62 del 04/12/2001 e ss.mm.ii., con ultima variante approvata tramite "Decreto del Direttore Generale n. 5575 del 20/09/2021" e "Decreto del Direttore Generale n. 33 del 19.04.2023 EFFICACIA SOSPESA condizionata alla completa realizzazione, collaudo e verifica degli

interventi idraulici previsti (scolmatore)". Si rimanda alla relazione idraulica, Paragrafo § 3.2 (Elaborato MGE1PRLVIDRCOMR002-00_A) per una disamina più dettagliata della problematica.

Il torrente Bisagno, presenta un bacino di dimensioni medio-piccole, con superficie complessiva di circa 95 km^2 come riportato nella Relazione Generale di Piano. Il suo bacino imbrifero è delimitato a Nord dallo spartiacque Bisagno-Scrivia; ad Ovest dallo spartiacque Bisagno-Polcevera; ad Est dallo spartiacque Bisagno-Lavagna ed a Sud dallo spartiacque Bisagno-torrenti Sturla, Nervi, Poggio e Sori. L'area del Bacino del Bisagno ricade all'interno nei territori del Comuni di Genova, Davagna e Bargagli, e interessa parzialmente anche i Comuni di Sant'Olcese, Lumarzo, Sori e Bogliasco.

Il bacino ha una forma complessa ed articolata, sviluppata in due direzioni principali N-S ed E-W.

In riferimento alle criticità idrauliche il Piano di bacino del Torrente riporta:

"Le verifiche idrauliche e gli studi idrologici effettuati individuano lungo l'asta principale del torrente Bisagno, nel tratto terminale coperto (dallo sbocco a mare al ponte ferroviario di Brignole) ed in quello scoperto compreso fra il ponte ferroviario e la confluenza con il rio Fereggiano le principali criticità idrauliche del bacino con particolare riferimento al rischio di inondazione. Il tronco più critico è quello terminale a causa della grave insufficienza del tratto canalizzato e coperto per il quale la portata di piena con periodo di ritorno 200-ennale è stimata in 1300 m^3/s, valore che supera ampiamente la sua attuale capacità di smaltimento, calcolata in 500 m^3/s in fase di progetto; valore superabile con periodo di ritorno 20-ennale-50-ennale e superato più volte, sia nel corso di questo secolo, sia in precedenza.

L'elevato rischio di esondazione per superamento della capacità di smaltimento del tronco canalizzato e coperto comporta pericolosi effetti di rigurgito a monte. Tali effetti si ripercuotono fino alla confluenza del rio Fereggiano e sono amplificati dalla presenza di ulteriori manufatti di attraversamento e/o strutture interferenti con l'alveo."

L'area di studio trova il suo sviluppo a monte delle criticità rilevate a livello di Piano. Dalla consultazione della Carta del Reticolo Idrografico del Geoportale della Regione Liguria aggiornato al 2019, l'area di intervento interferisce, in sinistra idrografica, con i seguenti rii minori: rio Sciorba nei pressi dell'impianto sportivo Sciorba, il rio Mermi, il rio Torre, il rio Volpara, il rio del Mirto, rio Castagna, rio 2, il rio Aquila, il rio Tagliate, il rio Laiassa, il rio del Canto (o rio Tortona). Gli ultimi quattro non sono stati rappresentati nella cartografia di Piano.

La rete idrografica è caratterizzata da una forte antropizzazione, soprattutto nei tratti a valle di attraversamento delle aree urbanizzate. Il rio Mermi presenta, ad esempio, dei tratti tombati in via Ponte Carrega e il rio Torre diventa tombato al Passo Ponte Carrega.



Figura 2. Rio Merimi, tratto tombato - Via Ponte Carrega



Figura 3. Rio Torre, tratto tombato Passo Ponte Carrega

Tutti i corsi d'acqua sopra indicati afferiscono direttamente od indirettamente, attraverso tratti tombati, al T. Bisagno. La ricostruzione del suddetto reticolo minore è stata effettuata su base documentale. Non si esclude, pertanto, che le parti tombate dei rivi e della rete meteorica possano assumere in realtà percorsi e collegamenti diversi da quanto ricostruito in questa sede.



Figura 4. Immissione rio Aquila in sponda sinistra Bisagno



Figura 5. Immissione rio Mermi in sponda sinistra Bisagno



Figura 6. Immissione rio Torre in sponda sinistra Bisagno



Figura 7. Immissione rio Laiassa in sponda sinistra Bisagno

2.2 PIANO DI BACINO DEL BISAGNO

Il piano di Bacino del torrente Bisagno è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n.62 del 04/12/2001 aggiornato con varianti successive.

In particolare, analizzando gli ultimi anni:

1. Decreto del Direttore Generale n. 2204 del 07/04/2020 **ad efficacia sospesa** a seguito della realizzazione degli interventi di rifacimento della copertura nel tratto terminale del Bisagno e scolmatore del Fereggiano;
2. Decreto del Direttore Generale n. 5575 del 20/09/2021: *Efficacia della riperimetrazione delle fasce di inondabilità del tratto terminale del torrente Bisagno e rio Fereggiano a seguito della realizzazione degli interventi idraulici previsti [rifacimento della copertura nel tratto terminale del Bisagno e scolmatore del Fereggiano].*
3. Decreto del Direttore Generale n. 33 del 19.04.2023 **ad efficacia sospesa** a seguito della realizzazione dello Scolmatore del Bisagno.

2.2.1 ALLAGAMENTI FASCE FLUVIALI

All'Art. 12 c.2 delle Norme di Attuazione sono descritte le caratteristiche delle Fasce di Inondabilità individuate dalla cartografia di bacino di riferimento. Tali fasce sono identificate da un codice alfabetico e sono ampiamente descritte in seguito.

Come già evidenziato al paragrafo precedente relativo alle Norme di Attuazione del Piano di bacino il tracciato rientra nei tratti di fascia A, B, C (comprensiva anche delle aree ex inondabili) e degli Ambiti BB e B0. Relativamente alla tematica di determinazione e gestione della fascia B vale la pena ricordare alcune puntualizzazioni di seguito.

- DETERMINAZIONE DEGLI AMBITI NORMATIVI DI FASCIA B

Come già anticipato in precedenza, all'interno della fascia B possono essere individuate, sulla base delle caratteristiche dell'inondazione a T=200 anni, come già previsto dai criteri ex DGR 250/2005, aree a "minor pericolosità relativa", B0, nelle quali sia consentito procedere ad interventi di nuova edificazione e di ristrutturazione urbanistica con la messa in opera di accorgimenti tecnico-costruttivi efficaci per il non aumento del rischio accompagnati dalle adeguate misure di protezione civile. Sulle restanti aree, BB, rimane appropriata la normativa generale di fascia B.

Condizioni essenziali per l'ammissibilità di nuove edificazioni nell'ambito B0 sono l'adozione di misure ed accorgimenti tecnico costruttivi per la protezione passiva dagli allagamenti e la riduzione della vulnerabilità dei fabbricati, ed il parere positivo dell'ufficio regionale competente.

Resta fermo che, in ogni caso, **la quota del piano abitabile e/o agibile delle nuove edificazioni deve essere posta ad un livello almeno 0,5 m superiore a quello del tirante idrico associato alla piena duecentennale.** Le eventuali strutture interrate, che possono essere realizzate solo in aree con tiranti idrici massimi non superiori a 30 cm, devono prevedere accessi posti ad una quota superiore al tirante anzidetto maggiorato di almeno 0.50 metri ed essere completamente stagne e non collegate direttamente con le reti di smaltimento bianche e nere.

Laddove non si proceda alla individuazione degli ambiti normativi BB e B0, la disciplina di fascia B, prevede in ogni caso per le c.d. "aree a minor pericolosità" la possibilità di nuova edificazione e ristrutturazione urbanistica in tessuto urbano consolidato o da completare, previo parere dell'ufficio regionale competente da esprimere caso per caso.

Fermi restando gli interventi comunque ammessi nella fascia B, indipendentemente dall'entità di tiranti e velocità, tenuto conto che studi locali o limitati a ristrette aree interessate dalla previsione di nuove edificazioni non possono dare garanzie di affidabilità pari a quello di uno studio complessivo (per cui si ricadrebbe nella fattispecie del punto 1.) per la definizione di aree a minor pericolosità si fa riferimento alla **soglia massima di 30 cm** per il massimo tirante idrico, purché sia comunque verificato, anche con stime speditive, che l'entità delle velocità massime sia inferiore ai 2 m/s.

In continuità con quanto previsto nei criteri ex DGR 250/2005, le aree B0 sono individuate con il criterio di cui alla Figura 8 e Tabella 1 seguenti.

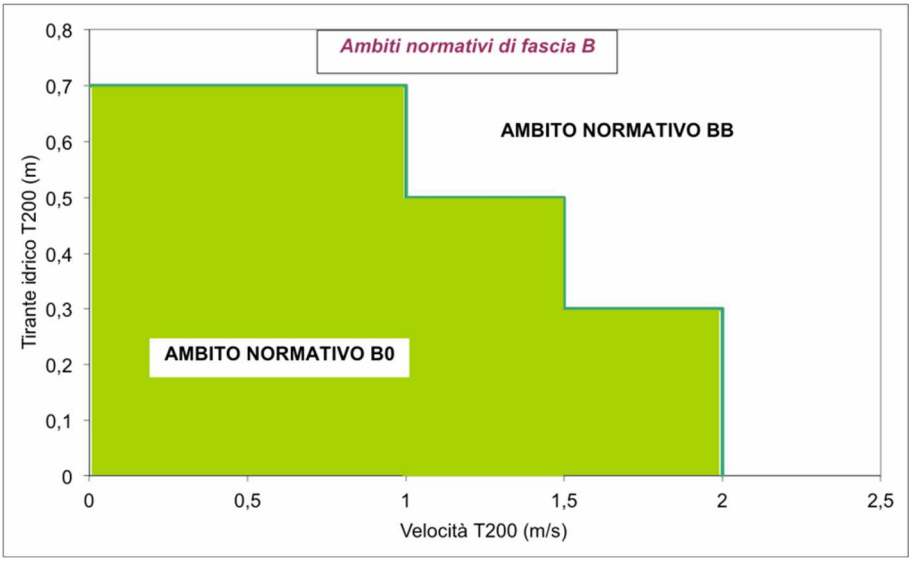


Figura 8. Ambiti normativi di fascia B

Tabella 1: Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale h200 condizionato alla velocità locale della corrente v200 ai fini della definizione degli ambiti normativi in fascia B

Condizioni di velocità di scorrimento	Condizioni di tirante idrico
0 m/s < v < 1 m/s	h ≤ 0,70 m
1 m/s < v < 1,5 m/s	h ≤ 0,50 m
1,5 m/s < v < 2 m/s	h ≤ 0,30 m

L'applicazione della metodologia di individuazione cartografica degli ambiti normativi qui delineata deve, in ogni caso, basarsi su risultati di studi idraulici di dettaglio, che permettano di determinare affidabilmente, oltre alla perimetrazione delle aree inondabili, le entità dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento che vi si realizzano. A tale proposito si richiama, tra l'altro, il disposto dell'allegato 2 alla DGR 16/2007. Tali studi dovranno prendere in considerazione l'intero corso d'acqua, o, in caso di bacini di rilevanti dimensioni, tratti significativi di corso d'acqua e/o l'area inondabile interessata nella sua interezza.

2.2.2 PIANO DEGLI INTERVENTI

Il Piano di bacino, nelle linee generali di intervento, affronta il problema della riduzione del rischio proponendo una serie di interventi riportati nell'omonima relazione e all'interno di supporti cartografici. La "Carta degli interventi" individua in modo puntuale i principali interventi di attuazione a seguito delle problematiche emerse dalle analisi del Piano di bacino, sia a livello geomorfologico che idraulico. Gli interventi di sistemazione idraulica del tratto terminale del corso d'acqua sono in primo luogo rappresentati da due interventi fra loro complementari, che nel loro

insieme consentiranno di ricondurre il rischio a livello inferiore per la portata corrispondente ad un tempo di ritorno pari a duecento anni. Si tratta in particolare di:

- realizzazione del canale scolmatore del torrente Bisagno, che deve tenere in conto anche della necessità di risolvere contestualmente le criticità idrauliche del tratto terminale del torrente Fereggiano nonché dei rivi Noce, Rovare;
- recupero funzionale della copertura del torrente e ampliamento delle sezioni e miglioramento delle condizioni di deflusso al di sotto della stessa nel tratto terminale compreso tra Via Canevari e la Foce.

Lo scolmatore del Fereggiano è ormai ultimato mentre lo scolmatore di Bisagno, Rovare e Noce sono in corso di realizzazione. Anche il recupero funzionale della copertura è completato.

A questi si aggiungono interventi di stimazione dei principali affluenti del Bisagno, tra questi gli interventi che coinvolgono l'area di studio sono quelli previsti per il rio Castagna ed il Rio Torre descritti in Relazione Idraulica (Elaborato MGE1PRLVIDRCOMR002-00_A). Il raggiungimento della completa messa in sicurezza del tratto di Bisagno prospiciente le opere cui al presente progetto potrà poi avvenire attraverso l'adeguamento di alcuni manufatti di attraversamento insufficienti o con franco ridotto (es. Ponte ~~Cappelletti~~ Campanella, Ponte Castelfidardo e Passerella Firpo) ovvero locale modifica del profilo di fondo dell'alveo qualora, per ragioni vincolo monumentale/paesaggistico, il manufatto risulti non modificabile (è il caso, ad esempio, del ponte Carrega che potrebbe essere mitigato arretrando verso monte il salto di fondo presente sotto al ponte).~~.~~

2.2.3 AGGIORNAMENTO DEL PIANO DI BACINO A SEGUITO DEGLI INTERVENTI REALIZZATI

Alla luce del fatto che sono ultimate importanti interventi di mitigazione del rischio idraulico nel bacino del torrente Bisagno, tra cui il Recupero funzionale della copertura del tratto terminale del torrente Bisagno, e la realizzazione della galleria scolmatrice del Torrente Fereggiano, con il Decreto del Direttore Generale sottoscritto in data 07/04/2020 si è proceduto alla riperimetrazione preventiva della fascia fluviale a monte della ferrovia in località Brignole tenendo appunto conto di tali interventi come se fossero completati.

In particolare, si può osservare come:

- L'area in fascia A sia identificata dall'ambito BB ("aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena a tempo di ritorno T=200 anni a "maggior pericolosità relativa" rispetto ai massimi tiranti idrici e velocità di scorrimento");
- L'area che era in ambito BB passa all'ambito B0 ("aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena a tempo di ritorno T=200 anni a "minor pericolosità relativa" rispetto ai massimi tiranti idrici e velocità di scorrimento corrispondenti alla piena duecentennale").

Trattandosi di una "riperimetrazione preventiva", essa anticipa l'approvazione dello scenario di pericolosità residua conseguente alla realizzazione degli interventi previsti. La sua efficacia è

diventata effettiva in relazione al completamento degli interventi con Decreto del Direttore Generale n. 5575 del 20/09/2021: *Efficacia della riperimetrazione delle fasce di inondabilità del tratto terminale del torrente Bisagno e rio Fereggiano a seguito della realizzazione degli interventi idraulici previsti.*

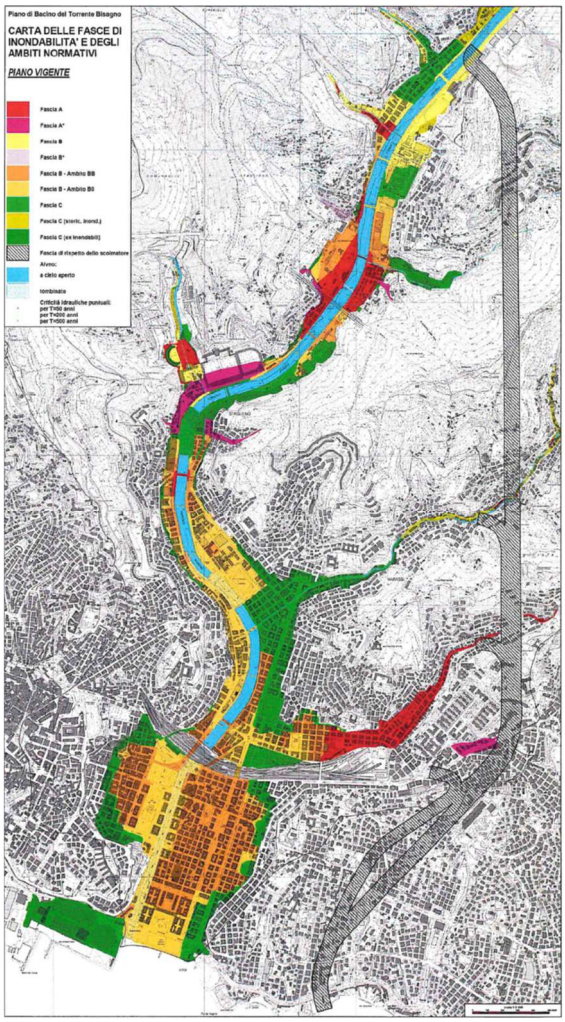


Figura 9. Estratto dalla Carta delle fasce di inondabilità vigente

2.2.4 PERIMETRAZIONE PREVENTIVA A SEGUITO DEGLI INTERVENTI IN CORSO

Alla luce del fatto che è in corso di realizzazione anche l'ultima opera importante prevista quale la galleria scolmatrice del Torrente Bisagno, a servizio del Bisagno stesso e dei torrenti Noce e Rovare, con il Decreto del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale n. 33 del 19/04/2023*: Approvazione della riperimetrazione preventiva delle fasce di inondabilità del torrente Bisagno. EFFICACIA SOSPESA, condizionata alla completa realizzazione, collaudo e verifica degli interventi idraulici previsti (scolmatore),* Adozione con D.S.G. n. 108 del 14/12/2022 si è proceduto alla riperimetrazione preventiva della fascia fluviale a monte della ferrovia in località Brignole tenendo appunto conto di tali interventi come se fossero completati.

Trattandosi di una “riperimetrazione preventiva”, essa anticipa l’approvazione dello scenario di pericolosità residua conseguente alla realizzazione degli interventi previsti. La sua efficacia è sospesa e i relativi elaborati costituiranno effettiva modifica al piano vigente solo all’atto della completa realizzazione, collaudo e verifica degli interventi idraulici previsti.

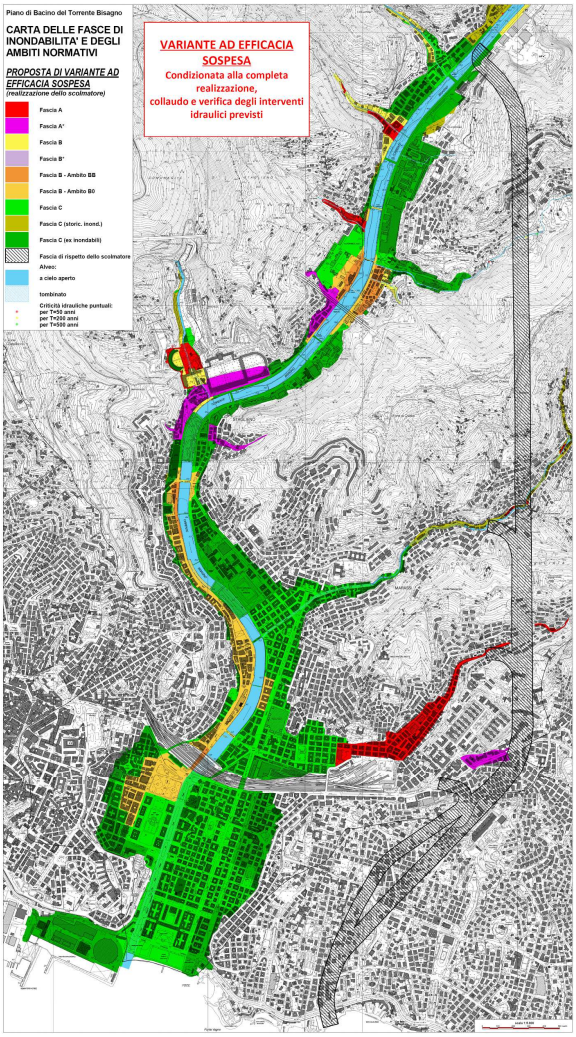


Figura 10. Estratto dalla Carta delle fasce di inondabilità ad efficacia sospesa

2.3 PIANO DI BACINO DEL BISAGNO (RIO MERMI)

Il rio Mermi è uno dei principali affluenti del Torrente Bisagno nel tratto d’interesse per la presente progettazione. Il tratto di monte attraversa in tombino una zona recentemente urbanizzata; poi, dopo un tratto in cui scorre in alveo naturale, ritorna nuovamente ad essere arginato e interessato da vari attraversamenti fino allo sbocco nel Bisagno. Quest’ultimo tratto è stato interessato da un progetto di riqualificazione che ha condotto alla sistemazione idraulica dell’intero tratto di corso d’acqua che ha consentito l’adeguamento del rio allo smaltimento della portata duecentennale nell’intero tratto. Il progetto complessivo ha previsto il consolidamento e l'adeguamento delle difese arginali presenti, l'adeguamento delle sezioni di deflusso e

l'abbandono della tombinatura di monte con conseguente allargamento della sezione idraulica di un bypass attualmente presente e che assumerà la funzione di corso d'acqua, di cui al parere del Comitato Tecnico n. 1/2012.

2.3.1 ALLAGAMENTI E FASCIE FLUVIALI

A seguito degli interventi con la Delibera n. 11 del 11 Marzo 2015 del Consiglio Metropolitano per la Città metropolitana di Genova ha presentato una richiesta di riperimetrazione delle fasce di inondabilità permettendo il passaggio dell'area prossima al rio Mermi da Fascia B e parzialmente Fascia C, ad area solamente di Fascia C con sottocategoria "Area ex Inondabile". Essendo stata modificata l'area di appartenenza per le fasce di inondabilità, è stata anche aggiornata la cartografia del rischio idraulico tramite la quale l'area è stata identificata da un grado di rischio pari ad R2. La perimetrazione è divenuta parte integrante del piano di bacino del Bisagno. In Figura 11 è riportata la variante cartografica per il rio Mermi. (vedi capitolo 3.3 della Relazione Idraulica MGE1PRLVIDRCOMR002-00_A)

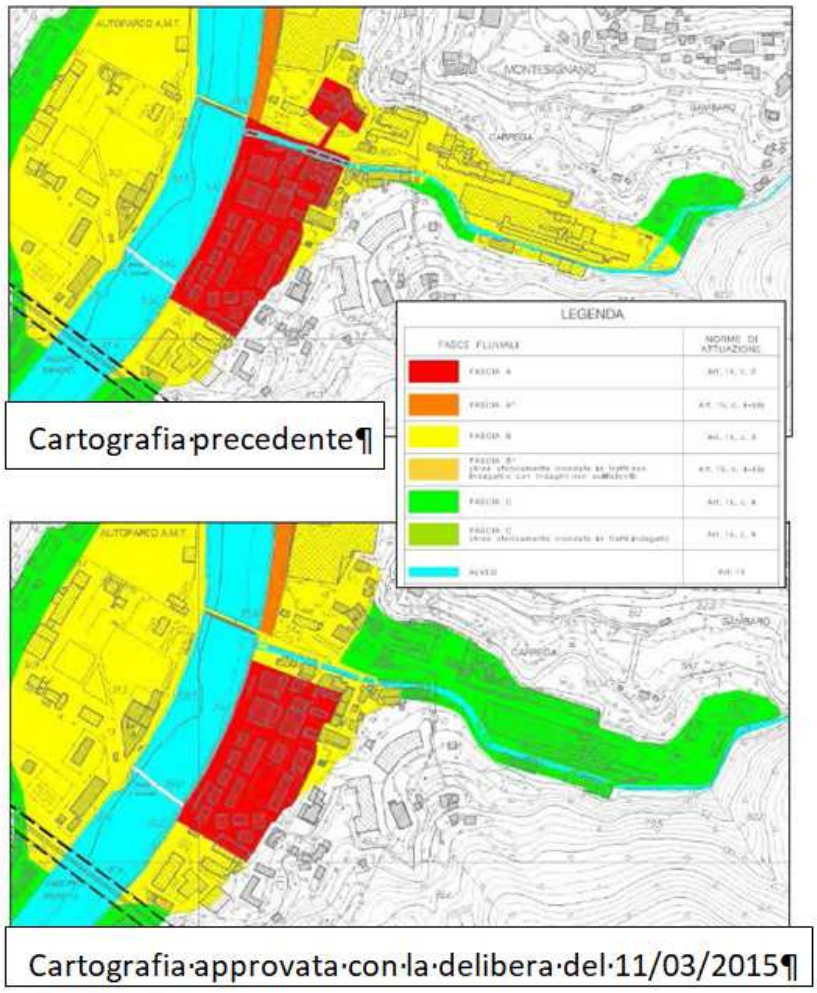


Figura 11. Estratto dalla Carta delle fasce di inondabilità presente nella variante approvata il 11/03/2015 per il rio Mermi

2.4 BACINI IDROGRAFICI

L'area di studio si sviluppa inizialmente per poco in sinistra idraulica poi sulla destra idrografica dalla stazione di Genova Brignole andando verso nord fino allo Stadio Luigi Ferraris e poi prosegue per tutto il restante percorso sulla sponda in sinistra idrografica fino alla stazione di Molassana. È quindi di interesse per questo studio la determinazione delle portate dei rii che si immettono sul T. Bisagno nelle relative sponde di transito della nuova infrastruttura.

Sulla sponda in destra idrografica non vi sono tratti di rii che insistono lungo il tracciato, mentre andando verso nord, in sinistra idrografica, si incontrano lungo il percorso 11 rii di dimensioni e caratteristiche diverse: rio del Mirto, rio del Canto (o rio Tortona), rio Volpara, rio Laiassa, rio Torre, rio Mermi (rio Gambari), rio Castagna, rio Sciorba, rio Tagliate, rio Aquila ed uno rio il cui nome è incognito (Definito rio 2).

Dall'individuazione dei bacini idrografici sottesi alle sezioni di chiusura, sono emersi alcuni interbacini a carattere urbano che a loro volta potenzialmente possono interferire con la nuova rete metropolitana.

Si evidenzia inoltre la presenza della cava Montanasco, cava in attività situata in località Molassana, il cui bacino sotteso si suppone essere idraulicamente indipendente dal T. Bisagno. Per l'area della cava di Montanasco il Piano di Bacino segnala possibili interferenze con la strada in sponda sinistra.

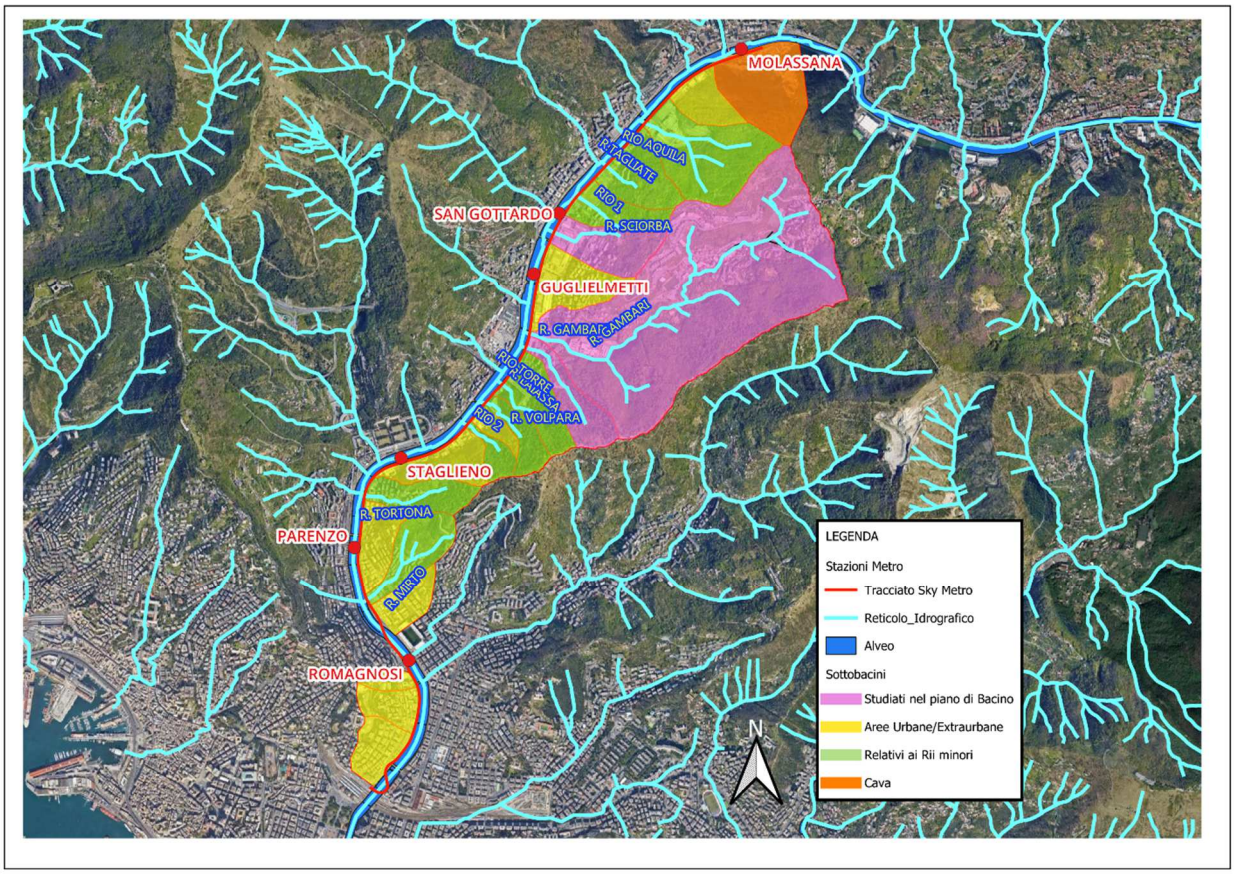


Figura 12. Sottobacini dell'aria di studio

3. CARATTERISTICHE DEI BACINI

3.1 PREMESSA

Il territorio nel quale si inserisce il progetto della linea di metropolitana da Brignole fino a Molassana, è caratterizzato dalla presenza di bacini di piccole dimensioni recapitanti nel T. Bisagno, ad esclusione del Bacino del rio Mermi che raggiunge i 2 km^2.

I bacini ad elevata pendenza sottesi a corsi d'acqua minori oggetti di studio mantengono caratteri di naturalità nel tratto montano, mentre risultano fortemente urbanizzati nel tratto di valle, afferendo nella totalità dei casi a canali tombati recapitanti nel T. Bisagno. Anche per questa ragione l'esatta identificazione delle linee di spartiacque tra bacini adiacenti risulta spesso difficoltosa, in particolare nei settori più modificati da interventi urbanistici ed infrastrutturali.

Il regime dei corsi d'acqua è torrentizio con forti acclività. Ma il vero elemento dominante è l'intensa antropizzazione per lo più in corrispondenza dei tratti terminali dei bacini. Detta antropizzazione, relativa all'urbanizzazione associata all'espansione della città di Genova, ha fortemente modificato i caratteri morfologici dei versanti e del deflusso naturale dei corsi d'acqua. I tratti tombinati, la scarsa manutenzione rilevata negli ultimi decenni per alvei e arginature hanno fatto sì che il territorio in prossimità del torrente Bisagno e dei suoi principali affluenti fosse soggetto a frequenti fenomeni di allagamento alluvionale.

Dopo una breve descrizione della rete idrografica minore, il presente capitolo analizzerà la risposta idrologica dei suddetti bacini per diversi tempi di ritorno applicando diverse metodologie. Dall'analisi saranno esclusi i bacini già studiati: Il rio Tagliate (il cui progetto è in fase di reperimento presso il Comune), Il rio Castagna, il rio Sciorba, il rio Mermi ed il rio Torre.

Ogni corso d'acqua minore sarà identificato da un acronimo secondo la tabella seguente:

Tabella 2: Rete idrografica minore e relativo codice identificativo

Identificativo Rio	Rio minore	Studiato nell'ambito del Piano di Bacino del T. Bisagno o altro
AQ1	Rio Aquila	
TR1	Rio Tagliate	x
RI1	Rio 1 (Rio Castagna)	x
SC1	Rio Sciorba	x
ME1	Rio Mermi	x
TO1	Rio Torre	x
LA1	Rio Laiassa	
VO1	Rio Volpara	
RI2	Rio 2	
DC1	Rio del Canto	
DM1	Rio del Mirto	

Il Regolamento Regionale n.3 del 14 luglio 2011 classifica il reticolo idrografico nei seguenti livelli:
Articolo 3
Ai fini del presente regolamento valgono le seguenti definizioni:
Reticolo idrografico regionale: reticolo idrografico che comprende tutti i corsi d'acqua presenti sul territorio regionale, ovvero quelli già iscritti agli ex elenchi delle acque pubbliche e quelli per i quali la declaratoria di pubblicità è intervenuta con l'entrata in vigore del Sito esternoD.P.R. 18 febbraio 1999, n. 238 (Regolamento recante norme per l'attuazione di talune disposizioni della Sito esterno legge 5 gennaio 1994, n. 36 in materia di risorse idriche). Il reticolo idrografico è articolato nei seguenti livelli:

1. *reticolo idrografico di primo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso con superficie maggiore di 1 Km^2;*
2. *reticolo idrografico di secondo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 1 e 0,25 Km^2;*

3. *reticolo idrografico di terzo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 0,25 e 0,1 Km^2;*
4. *reticolo idrografico minuto: porzione del reticolo idrografico regionale comprendente le aste fluviali non appartenenti alle articolazioni definite alle lettere precedenti. A fini applicativi della disciplina del presente regolamento, laddove relativa a tale articolazione, si fa riferimento alla gerarchizzazione del reticolo idrografico secondo il criterio di Horton-Strahler, associando ad ogni tratto fluviale la normativa relativa all'area sottesa al primo nodo di confluenza a valle del tratto stesso.*

Articolo 4

A fini di tutela e miglioramento dell'ambiente naturale delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua e di contestuale garanzia di mantenimento di aree di libero accesso agli stessi per l'adeguato svolgimento delle funzioni di manutenzione degli alvei e delle opere idrauliche nonché delle attività di polizia idraulica e di protezione civile, sono stabilite fasce di tutela.

1. *Per i corsi d'acqua ricadenti nel reticolo idrografico di primo, secondo e terzo livello è stabilita una fascia di inedificabilità assoluta pari a 10 metri.*
2. *Per i corsi d'acqua ricadenti nel reticolo minuto è stabilita una fascia di inedificabilità assoluta dai limiti dell'alveo pari a 3 metri.*

Nell'ambito della presente progettazione le suddette fasce di rispetto assolute sono state individuate sulla base del rilievo topografico appositamente svolto per il presente progetto nella fascia di interferenza coi rivi stessi in prossimità del loro sbocco in Bisagno.

I bacini idrografici naturali ed urbani che sono presentati al capitolo successivo, chiusi alle sezioni di interesse individuate, sono riportati nella tavola di Corografia dei Bacini allegata al progetto (Elaborati: MGE1PRLVIDRCOMT001-00, MGE1PRLVIDRCOMT002-00).

3.2 DESCRIZIONE DELLA RETE IDROGRAFIC INERFERITA

3.2.1 RIO AQUILA

Il rio Aquila drena una superficie complessiva di 0.4 km^2 fino alla sua confluenza con il Torrente Bisagno.

Esso ha origine in zona Molassana a quota di circa 280 m s.l.m., non risulta sottoposto ad interventi di tombamento e raggiunge lo sbocco sul Torrente Bisagno con una direzione SudEst-NordOvest.

Il bacino del rio Aquila è delimitato a Nord dallo spartiacque con il bacino idrologico relativo alla cava Molassana e a Sud dal bacino del rio Tagliate.

Il bacino è caratterizzato da un complesso urbanizzato di destinazione industriale e commerciale.

È caratterizzato inoltre da pendenze dei versanti mediamente elevate in corrispondenza dell'origine del rio mentre la parte media e bassa del bacino, ad elevato livello di urbanizzazione, presenta caratteristiche di acclività più modeste.

3.2.2 RIO TAGLIATE

Il rio Tagliate drena una superficie di circa 0.148 km^2 fino alla sua confluenza con il Torrente Bisagno. Lo sbocco sul Torrente Bisagno avviene in corrispondenza del ponte Ugo Gallo, a Nord dello Stadio Sciorba.

Il rio ha origine a quota di circa 118 m s.l.m. ed è completamente ricoperto.

Il Bacino del rio Tagliate è delimitato a Nord dal bacino del rio Aquila e a sud dal bacino del rio Castagna (rio 1).

Il bacino è caratterizzato da pendenze dei versanti mediamente elevate, la cui media è prossima al 22% corrispondente alla classe 3 delle Raccomandazioni Regionali che individuano le classi di acclività e che sono state riprese anche dal Piano di bacino del Bisagno.

3.2.3 RIO 1 (Rio Castagna)

Tale rio è naturale non segnalato come tombato in alcun tratto. Il rio nasce a circa 100 m s.l.m. e scorre in direzione SudEst-NordOvest con sbocco sul torrente Bisagno a sud dello Stadio Sciorba.

Il Bacino del rio 1 copre una superficie complessiva di circa 0.198 km^2 ed è delimitato a nord dal bacino del rio Tagliate e a sud dal bacino del rio Sciorba. Il bacino presenta una pendenza media del 15% circa ricavata dall'analisi del modello DTM.

3.2.4 RIO SCIORBA

Il rio Sciorba è un piccolo affluente in sponda sinistra del torrente Bisagno nei pressi dell'area occupata dal Macello Civico di piazzale Bligny.

L'area del bacino del rio Sciorba sottesa alla confluenza è pari a circa 0.2 km^2. Il tratto più a monte del corso d'acqua scorre a cielo libero e presenta le caratteristiche di alveo torrentizio con sistemazioni con salti di fondo; successivamente attraversa un tratto tombinato non ispezionabile; poi lungo la strada che separa l'ex canile municipale dal Mattatoio presenta una sezione rettangolare di dimensioni interne pari a 2x2 m nel tratto iniziale per ridursi a 1.3x1.4 m fino allo sbocco nel torrente Bisagno.

Il bacino del rio Sciorba è delimitato a Nord dal bacino del Rio Castagna e a Sud dal bacino del rio Mermi. Esso è caratterizzato da pendenze dell'ordine del 17% in media, tale valore si inserisce all'interno della classe 2 di acclività del Piano di bacino.

Nell'ambito dei lavori di realizzazione dello scolmatore del Bisagno è prevista la captazione anche del rio Sciorba all'interno della nuova galleria; in tal senso quindi trattasi di un rio studiato.

3.2.5 RIO MERMI

Il rio Mermi è un affluente in sinistra idraulica del torrente Bisagno che ha origine presso S. Eusebio a circa 280 m s.l.m. e confluisce nel T. Bisagno in prossimità di ponte Carrega. La parte terminale del corso è segnalata in alcune cartografie con il nome di rio Gambari.

Il rio Mermi riceve anche un contributo dal rio Serra che ha origine nella località omonima.

Con un'area sottesa alla confluenza pari a circa 2 km^2, il bacino del rio Mermi si presenta come il bacino più esteso fra quelli analizzati da questo studio. L'asta principale ha una lunghezza di circa 1.8 km, con una pendenza media dell'11 % circa, mentre la pendenza media del bacino è di circa 22% a cui corrisponde una classe 3 di acclività in media.

Il tratto di monte è stato tombinato per attraversare una zona recentemente urbanizzata; poi, dopo un tratto in cui scorre in alveo naturale, ritorna nuovamente ad essere arginato e interessato da vari attraversamenti, a partire dalla "ex Cementifera" e fino allo sbocco nel Bisagno. Quest'ultimo tratto è stato interessato da un progetto di riqualificazione che ha condotto alla sistemazione idraulica dell'intero tratto di corso d'acqua; in tal senso quindi trattasi di un rio studiato nell'ambito del piano di bacino.

3.2.6 RIO TORRE (O BISAGNETTO)

Il rio Torre o rio Torre di Quezzi o Bisagnetto è sotteso da un bacino di circa 0.17 km^2, di forma stretta e allungata con orientamento prevalente SudEst-NordOvest. Il Bacino è delimitato a Nord dal bacino del rio Mermi e a sud dal bacino del rio Laiassa.

L'asta principale del corso d'acqua ha una lunghezza di circa 0.7 km con una pendenza del 22% circa a cui corrisponde come per il Rio Mermi una classe 3 di acclività.

Il tratto terminale è caratterizzato da due lunghi tratti coperti separati da un breve tratto a cielo aperto.

Trattasi di rio studiato nell'ambito del Piano di Bacino del T. Bisagno.

3.2.7 RIO LAIASSA

Il rio Laiassa drena una superficie complessiva pari a circa 0.135 km^2 fino allo sbocco nel Torrente Bisagno. Il rio Laiassa ha origine a quota 175 m s.l.m. circa, e raggiunge la confluenza seguendo un percorso con direzione prevalente SudEst-NordOvest. Il suo percorso risulta essere tombato solo in corrispondenza del tratto terminale in prossimità del Viadotto Bisagno dell'Autostrada.

Il bacino del rio Laiassa è delimitato a Nord dal bacino del rio Torre e a sud dal bacino del rio Volpara.

Il bacino è caratterizzato da pendenze dei versanti mediamente del 22% (classe 3 di acclività). La parte bassa del bacino, in corrispondenza con la confluenza è caratterizzata in maniera analoga agli altri rii dell'area di studio da un elevato livello di urbanizzazione.

3.2.8 RIO VOLPARA

Il rio Volpara drena una superficie complessiva pari a circa 0.099 km^2 fino allo sbocco nel Torrente Bisagno. Il rio ha origine a quota 172 m s.l.m. circa, e raggiunge la confluenza seguendo un percorso con direzione prevalente SudEst-NordOvest. Il suo percorso risulta essere tombato solo in corrispondenza del tratto terminale in prossimità del Ponte Bezzecca. Il tratto tombinato coincide con l'attraversamento di una zona urbanizzata a destinazione industriale.

Il bacino del rio Volpara è delimitato a Nord dal bacino del rio Laiassa e sud dal bacino di un rio privo di codifica di riferimento che in seguito verrà definito "rio 2". Mediamente la pendenza all'interno dell'area del bacino è di circa 25% corrispondente ad alla classe 3 di acclività riportata nella Relazione Generale del Piano di Bacino con livelli più elevati in corrispondenza della parte alta del bacino.

3.2.9 RIO 2

Nel database presente all'interno del Geoportale della regione Liguria non è segnalato un nome che lo codifichi pertanto in questo studio è identificato con "rio 2".

Il Rio 2 è un rio naturale segnalato come completamente tombato e che scorre in direzione nord-ovest. Nasce a circa 151 m s.l.m. e confluisce nel torrente Bisagno tra Ponte Giulio Monteverde e Ponte Bezzecca.

Il bacino del rio copre una superficie complessiva di circa 0.063 km^2 ed è delimitato a nord dal bacino del rio Tagliate e a sud dal bacino del rio Sciorba. Esso presenta delle caratteristiche analoghe a quelle dei bacini limitrofi: nel settore a monte del bacino si identificano aree con acclività più alte mentre in corrispondenza della parte basse esse vanno progressivamente riducendosi.

3.2.10 RIO DEL CANTO (O TORTONA)

Il rio del Canto drena una superficie complessiva di 0.16 km^2 fino alla sua confluenza con il Torrente Bisagno.

Esso ha origine in località Staglieno a quota di circa 139 m s.l.m. e scorre da Est verso Ovest. Il rio risulta tombato per un tratto di circa 520 m in prossimità della confluenza con il Bisagno.

Il bacino del rio del Canto è delimitato a Nord dallo spartiacque con il bacino del "rio 2" e a sud dal bacino del rio del Mirto.

Il bacino è caratterizzato da pendenze dei versanti mediamente elevate, circa 21% (Classe 3 di acclività).

La parte media e bassa del bacino è caratterizzata da un complesso urbanizzato a destinazione residenziale.

3.2.11 RIO DEL MIRTO

Il rio del Mirto drena una superficie complessiva di 0.185 km^2 fino alla sua confluenza con il Torrente Bisagno. Esso ha origine in località Staglieno ad una quota di circa 165 m s.l.m. e scorre in direzione NE-SO. È prevalentemente tombato fin dall'attraversamento della località Marassi.

Il bacino del rio del Mirto è delimitato a Nord dallo spartiacque con il bacino del rio del Canto e a sud dal bacino del rio del Vento non interessato da questo studio. È caratterizzato da pendenze medie di circa il 18% che si inseriscono all'interno della Classe 2 di acclività. Il bacino è prevalentemente occupato da un complesso urbanizzato di destinazione residenziale a tessuto denso.

Come già detto a seguito dell'alluvione del 2011 si è reso disponibile un primo importante finanziamento con cui è stata realizzata l'opera di presa e la galleria del rio Fereggiano recuperando in buona parte la vecchia galleria già iniziata negli anni '90 al medesimo scopo. Tale intervento è già funzionale dal 2018 è ora ultimato. Nel medesimo appalto in corso relativo al Fereggiano sono già stati realizzati la galleria di collegamento del Rovare e parte della relativa opera di presa; tale intervento, insieme alla galleria e manufatto di presa del Noce, sarà di prossima realizzazione e completamento. L'opera idraulica agisce sui rii Rovare e Noce che sono esclusi dalla zona di studio, non interferendo con il nuovo tracciato metropolitano.

3.3 LINEE SEGNALATRICI DI POSSIBILIÀ PLUVIOMETRICA

Per stimare le portate di piena defluenti nei corsi d'acqua di interesse sono stati utilizzati modelli di trasformazione afflussi-deflussi che, a partire da precipitazioni puntuali note, forniscono il corrispondente andamento nel tempo delle portate.

L'applicazione di tali modelli necessita quindi della conoscenza del regime delle precipitazioni di forte intensità nel territorio di interesse. Come è noto tale regime si sintetizza nelle cosiddette Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) che esprimono il legame esistente tra l'altezza di pioggia *h* e la sua durata *d*, per assegnato tempo di ritorno *T*, attraverso l'espressione (3.1):

$$h = a_T \cdot d^n \qquad (3.1)$$

dove a_T ed *n* sono parametri che vengono stimati a partire dalle elaborazioni di serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di durata assegnata.

Di seguito viene riportata la metodologia statistica utilizzata nel presente lavoro per la definizione delle LSPP puntuali per le stazioni pluviometriche più prossime all'area di interesse; in particolare si sono considerate le stazioni di Genova Università, Genova Servizio Idrografico e Genova Castellaccio di cui la **Tabella 3** riassume alcune caratteristiche principali.

Tabella 3: Caratteristiche delle stazioni pluviometriche considerate

Stazione	Bacino	Tipo strumento	Quota [m s.l.m.]	Anno inizio osservazioni	Numerosità del campione
Genova Università	tra Polcevera e Bisagno	pluviometro registratore	21	1833	56
Genova Sezione Idrografica	Bisagno	pluviometro registratore	2	1951	27
Genova Castellaccio	tra Polcevera e Bisagno	pluviometro registratore	379	1914	24

La metodologia impiegata utilizza come informazione idrologica di base i massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata, pertanto, il primo passo per la determinazione delle LSPP è stato il reperimento delle serie storiche delle massime altezze annue di pioggia di assegnata durata (d=1, 3, 6, 12, 24 ore) pubblicate sugli Annali Idrologici per le tre stazioni pluviometriche considerate. Si evidenzia che in considerazione dei tempi di risposta dei bacini sarebbero stati utili dati di pioggia di durata inferiori all'ora, che tuttavia non risultano disponibili nel caso in esame.
Le serie dei massimi annuali di assegnata durata così ottenute si possono considerare come campioni di dimensione N (con N pari al numero di anni di osservazione) di una variabile casuale e pertanto, attraverso le tecniche delle inferenze statistiche, si può ricercare la funzione di probabilità più adatta ad interpretarli e stimarne i parametri. Per il caso in esame è stata utilizzata la distribuzione di probabilità di Gumbel che interpreta in maniera soddisfacente le osservazioni campionarie.

Per il calcolo dei coefficienti a_T e n si utilizza quindi la seguente procedura:

Calcolo della media (μ_d) e dello scarto quadratico medio (σ_d) della serie storica:

Per ogni durata di pioggia vengono calcolate le statistiche delle serie storiche; tali grandezze risultano necessarie per la stima dei due parametri della distribuzione.

Calcolo dei parametri caratteristici della distribuzione di Gumbel:

Tra i parametri che definiscono la distribuzione di probabilità di Gumbel e i parametri statistici relativi alla serie storica (μ_d e σ_d), sussistono le seguenti relazioni:

$$\alpha_d = \frac{1.283}{\sigma_d}$$
$$u_d = \mu_d - 0.45 \cdot \sigma_d \qquad (3.2)$$

Calcolo dell'altezza di pioggia $h_d(T)$:

Nel caso in cui si ipotizzi che la distribuzione di probabilità delle altezze di pioggia *h* sia, per tutte le durate, quella di Gumbel, come accade nel caso in esame, è possibile scrivere una relazione diretta che esprima *h* in funzione della durata e del tempo di ritorno. Secondo tale legge l'altezza di precipitazione $h_d(T)$ di durata d è legata al tempo di ritorno *T* dalla relazione:

$$h_d(T) = u_d - \frac{1}{\alpha_d} \cdot \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \qquad (3.3)$$

Determinazione della curva di possibilità climatica:

Come si è detto in precedenza, la curva di possibilità climatica lega l'altezza *h*, la durata *d* della pioggia e il tempo di ritorno *T* tramite l'espressione:

$$h_d(T) = a_T \cdot d^n \qquad (3.4)$$

o equivalentemente:

$$\log h_d(T) = \log a_T + n \cdot \log d \qquad (3.5)$$

con $h_d(T)$ altezza di precipitazione espressa in mm, corrispondente alla durata *d* (ore) e al tempo di ritorno *T* (anni).

Considerando quindi, per ogni tempo di ritorno, le 5 coppie di valori [d, h_d] per d = 1, 3, 6, 12, 24 ore si calcolano le corrispondenti coppie [log d, log h_d] e con il metodo dei minimi quadrati si individua la retta interpolante i punti sperimentali; tale retta ha per coefficiente angolare il parametro *n* e ordinata all'origine *log a*, da cui si ricava il valore del parametro *a*.

La Tabella 4 riporta i valori dei parametri delle LSPP calcolati con la metodologia esposta per le stazioni pluviometriche di Genova Università, Genova Servizio Idrografico e Genova Castellaccio per i tempi di ritorno di interesse della pratica idrologica:

Tabella 4: Valori dei parametri delle LSPP per le stazioni di interesse

Stazione	Valori di a [mm] per i seguenti tempi di ritorno T [anni]									n
	2	5	10	20	30	50	100	200	500	
GE Univ.	45.21	65.72	79.30	92.33	99.82	109.19	121.82	134.41	151.02	0.334
GE Sez. Idro.	42.07	59.77	71.50	82.74	89.21	97.30	108.20	119.07	133.41	0.344
GE Cast.	43.45	63.96	77.54	90.57	98.07	107.44	120.07	132.66	149.27	0.341
Media	*43.58*	*63.15*	*76.11*	*88.55*	*95.70*	*104.64*	*116.70*	*128.71*	*144.57*	*0.340*

3.4 IDROLOGIA DI PIENA DEI RIVI MINORI

3.4.1 PREMESSA

Il Piano di bacino adotta il metodo CIMA per il calcolo delle portate del T. Bisagno e di alcuni degli affluenti principali del Torrente (rii: Sciorba, Mermi e Torre) e per i corsi d'acqua minori nonché per gli affluenti dei torrenti principali con bacino inferiore a 2 km^2, prevede all'Allegato 2 delle Norme di Attuazione l'uso del metodo della curva di inviluppo.

Nel presente rapporto, la risposta idrologica di ogni bacino oggetto di studio sarà calcolata applicando oltre alle metodologie del Piano anche il metodo razionale. In sintesi i metodi analizzati sono:

1. Metodo CIMA
2. Metodo razionale;
3. Metodo della curva di inviluppo.

La portata al colmo è ottenuta per i tempi di ritorno desiderati di 5 anni,10 anni,30 anni, 50 anni, 100 anni, 200 anni e 500 anni.

Il metodo CIMA è stato sviluppato dall'Università di Genova - Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale (CIMA) nell'ambito di una convenzione stipulata con la Regione Liguria relativa alla "Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena dei bacini liguri". Lo studio fornisce i valori al colmo di piena relativi a diversi periodi di ritorno dei corsi d'acqua con foce sul litorale tirrenico.

I restanti otto bacini idrografici minori saranno studiati con i tre metodi idrologici.

Le sezioni di chiusura, in corrispondenza delle quali calcolare la portata di piena di progetto dei bacini, sono state individuate in corrispondenza dell'intersezione con la nuova linea di metropolitana. Una volta definite le sezioni di interesse sono stati tracciati i relativi bacini idrografici utilizzando come cartografia di base la Carta Tecnica Regionale in scala 1:5'000.

Per il calcolo dei parametri caratteristici dei bacini e delle aste fluviale, quali ad esempio le pendenze medie, si è utilizzato il modello DTM fornito dal Geoportale della regione Liguria.

I bacini del T. Mermi, Sciorba e Torre non faranno oggetto di studio con il metodo razionale e della curva di inviluppo data la loro approfondita trattazione nel Piano di Bacino del T. Bisagno. I risultati ottenuti dal Piano sono comunque presentati al Paragrafo § 3.4.3.

3.4.2 Metodo CIMA

Per la determinazione della portata al colmo di piena la metodologia proposta dal CIMA si basa sull'applicazione della seguente legge monomia:

$$Q = K_T \cdot c(T_{indice}) \cdot A^{0.75} \quad (3.6)$$

dove A, misurato in km^2, è la superficie del bacino chiuso alla sezione di interesse, K_T è il fattore di frequenza relativo al tempo di ritorno ed è riportato in Tabella 5, in ultimo $c(T_{indice})$ è un parametro tabellato, che varia a seconda del tratto di corso d'acqua considerato.

Tabella 5: Valori assunti dal fattore di frequenza KT in funzione del tempo di ritorno T

T [anni]	5	10	30	50	100	200	500
K_T	1.295	1.788	2.90	3.74	4.25	5.02	6.04

L'espressione (3.6) viene inoltre aggiornata in funzione della superficie dei bacini idrografici, definendo due diverse formulazioni per bacini con superficie compresa tra 2 e 5 km^2 e per bacini con superficie inferiore ai 2 km^2.

Per i bacini aventi superficie minore di 2 km^2, come quelli in studio, la portata di massima piena associata a diversi periodi di ritorno viene calcolata adottando un contributo unitario, funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica. Il contributo è pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi un'area drenata pari a 2 km^2, secondo la seguente formula:

$$Q = K_T \cdot A \cdot U_{A=2} \quad (3.7)$$

All'interno della precedente formula: A, misurato in km^2, è la superficie del bacino chiuso alla sezione di interesse, K_T è il fattore di frequenza riportato nella (3.7), e $U_{A=2}$ è il contributo unitario per area pari a 2 km^2 funzione della longitudine del baricentro del bacino e del valore medio sul bacino assunto dal parametro CN.

Il valore di CN, può assumere un valore all'interno dell'intervallo 0÷100, ed esprime la capacità di assorbimento del suolo secondo lo schema proposto dal *Soil Conservation Service* (vedi Tabella 6); il CIMA propone una classificazione dei bacini regionali in quattro principali tipologie in funzione del diverso grado di urbanizzazione e dell'estensione delle aree impermeabili:

Tabella 6: Valori del CN secondo la classificazione CIMA per i bacini liguri

CN	**Tipo di bacino**	**Descrizione**
92	Tipo A	elevato grado di urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili superiore al 60%
87	Tipo B	medio grado di urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili compresa tra 30% e 60%
75	Tipo C	basso grado di urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili compresa tra 5% e 30%

67	Tipo D	estesa copertura arborea ed estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%

Applicando la metodologia CIMA ai corsi d'acqua di interesse, calcolando il valore di $U_{A=2}$ in funzione della longitudine dell'area (8°58'48") e assumendo un valore di CN pari a 92 (classe dei bacini di Tipo A) per i bacini che presentavano un elevato grado di urbanizzazione, e un valore patri a 87 (classe dei bacini di Tipo B) quando il bacino presentava un grado di urbanizzazione inferiore. Si ricavano le portate al colmo riportate in **Tabella 7**:

Tabella 7: Portate al colmo calcolate con la metodologia CIMA

Sezione	Q_5	Q_{10}	Q_{30}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
AQ1	4.13	5.71	9.26	11.94	13.57	16.03	19.28
TA1							
RI1*							
LA1	1.92	2.65	4.31	5.55	6.31	7.45	8.97
VO1	1.05	1.45	2.36	3.04	3.46	4.08	4.91
RI2	0.65	0.90	1.47	1.89	2.15	2.54	3.05
DC1	1.66	2.29	3.71	4.79	5.44	6.43	7.73
DM1	1.90	2.62	4.26	5.49	6.24	7.37	8.87

*Valori corretti riportati nella *Relazione Generale del progetto esecutivo redatto in data Ottobre 2023 da ITEC – Engineerin, per conto del Comune di Genova*

3.4.3 Metodo CIMA – Risultati del Piano di bacino

In riferimento alle indicazioni presenti nel Piano di Bacino del torrente Bisagno sono disponibili le informazioni di portata al colmo per il rio Sciorba (SC1), il rio Mermi (ME1) e il rio Torre (TO1) per diversi tempi di ritorno. I dati sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 8: Portate al colmo [m3/s] per il rio Sciorba, il rio Mermi e il rio Torre allo sbocco presenti nel piano di Bacino del torrente Bisagno

Piano di Bacino	Q_{10}	Q_{25}	Q_{50}	Q_{200}	Q_{500}
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
SC1**	-	-	5.9	8.5	10.3
ME1**	18	23	33	55	76
TO1**	-	-	4.1	6.8	9.3

** *Dal Piano di Bacino*

3.4.4 Formula razionale

Come accennato in precedenza, si è utilizzato anche il metodo razionale per il calcolo delle portate al colmo per diversi periodi di ritorno nei bacini oggetto di approfondimento idrologico. Tale formulazione prevede:

$$Q(T) = \frac{\phi \cdot A \cdot h(T, t_c)}{t_c} \tag{3.8}$$

nella quale A, misurato in km^2, è la superficie del bacino chiuso alla sezione di interesse, ϕ è il coefficiente di afflusso, t_c, misurato in ore, rappresenta il tempo di corrivazione del bacino e h, misurato in mm, l'altezza critica di precipitazione.

Nelle valutazioni è stato assunto un valore del coefficiente ϕ ottenuto dalla media ponderata delle aree urbanizzate, per le quali si è ritenuto opportuno considerare ϕ pari a 0.8, e per le aree prevalentemente occupate da suolo boschivo, ϕ pari a 0.5.

Per quanto riguarda il tempo di corrivazione è stata assunta la seguente formulazione:

$$t_c = \frac{L}{v} + \Delta t_c \tag{3.9}$$

nella quale Δt_c, rappresenta il tempo di introduzione in rete, assunto pari a 10 minuti, L è la lunghezza dell'asta e v, misurato in m/s, è la velocità media di percorrenza dell'asta, assunta pari a 1.5 m/s.

Infine, per i bacini appartenenti in esame, quali valori di riferimento per le precipitazioni sono stati assunti quelli risultanti dalle curve di probabilità pluviometrica della stazione di Genova Università, riportate nel Piano di Bacino Stralcio del Torrente Bisagno, e ricavate tramite il modello log-normale dissipativo espresso dalla (3.10).

$$h_T(t_c) = \frac{a_1^2}{\sqrt{a_2}} \cdot \exp\left[\sqrt{\ln\left(\frac{a_2}{a_1^2} \cdot t_c^{2(\varphi_2 - 1)n}\right)} \cdot \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \cdot t_c^{(2-\varphi_2)n} \tag{3.10}$$

T [anni]	5	10	20	50	100	200
Φ^{-1}(1-1/T)	0.842	1.282	1.645	2.054	2.326	2.576

Tabella 9: Fattore di frequenza delle LSPP in funzione del tempo di ritorno T

Stazione	**a_1**	**a_2**	**n**	**ϕ_2**
Genova Università	49.175	2944.692	0.331	1.002

Tabella 10: Parametri delle LSPP per la stazione pluviometrica di Genova Università

Applicando la metodologia esposta ai corsi d'acqua di interesse si ricavano le portate al colmo riportate in Tabella 11 :

*Valori corretti riportati nella *Relazione Generale del progetto esecutivo redatto in data Ottobre 2023 da ITEC – Engineerin, per conto del Comune di Genova*

Sezione	**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
AQ1	8.59	10.43	12.24	14.67	16.55	18.48
TA1						
RI1*						
LA1	4.72	5.73	6.73	8.06	9.09	10.15
VO1	2.56	3.11	3.65	4.37	4.93	5.50
RI2	1.65	2.00	2.35	2.82	3.18	3.55
DC1	4.14	5.02	5.90	7.07	7.97	8.90
DM1	4.32	5.25	6.16	7.39	8.33	9.30

Tabella 11: Portate al colmo calcolate con la Formula razionale secondo le indicazioni del Piano di bacino

3.4.5 La curva inviluppo delle portate al colmo di piena

Per la valutazione delle portate idrologiche il Piano di Bacino del Bisagno rimanda nell'allegato 2 delle norme tecniche di Attuazione ad un metodo di inviluppo delle portate: "*Per i corsi d'acqua minori nonché per gli affluenti dei torrenti principali con bacino inferiore a 2 km^2, salvo diversa indicazione prevista nel presente Piano, si assume una portata massima ottenuta utilizzando un contributo unitario pari a 40 m^3/s per ogni chilometro quadrato di superficie del bacino sotteso.*"

La curva inviluppo lega le massime portate di piena all'area del bacino sotteso, parametrizzando tale legame nella forma pseudo-iperbolica della (3.11), che descrive abbastanza bene l'andamento del contributo unitario di piena al variare della superficie di bacino idrografico sottesa.

$$q = q_0 + b \cdot S^{-n} \qquad (3.11)$$

dove q_0, b ed n sono tre parametri arbitrari, la cui stima si effettua imponendo alla (3.11) di assumere, per tre valori di superficie sottesa, i valori dei contributi unitari desunti dalle osservazioni.

Nel caso dei bacini liguri con foce al litorale tirrenico, la curva di inviluppo di riferimento è quella formulata dall'Ing. Cati (1970), che, utilizzando i dati relativi alle piene dell'Ottobre 1970 in alcuni bacini della Liguria, ha aggiornato la curva precedente, ferma agli eventi alluvionali del 1953.
Nonostante il suo uso consolidato nella pratica idrologica, va osservato però come la curva inviluppo presenti notevoli limitazioni, sia strutturali che concettuali. Senza considerare le incertezze relative ai dati di base dai quali è ricavata, due limitazioni in particolare suggeriscono un uso cauto di questo metodo di valutazione. La prima riguarda il limite inferiore di validità della (3.11), che fornisce valori irrealistici al diminuire della superficie contribuente S, soprattutto, quindi, per i bacini più piccoli. La seconda, non meno significativa, riguarda l'impossibilità di assegnare alla curva inviluppo, per come viene derivata, un significato statistico e, quindi, un livello di frequenza caratteristico degli eventi con essa calcolati, che possono, per un assegnato tempo di ritorno, tendere ora a sovrastimare il valore delle portate di piena, ora a sottostimarlo, a seconda delle osservazioni storiche alla base della costruzione della curva.
Moltiplicando il coefficiente di contributo unitario indicato nel Piano di Bacino per le superfici calcolate per i bacini di interesse si ricavano le portate di progetto duecentennali riportate in Tabella 12:

*Valori corretti riportati nella *Relazione Generale del progetto esecutivo redatto in data Ottobre 2023 da ITEC – Engineerin, per conto del Comune di Genova*

Sezione	A	$Q_{inviluppo}$
	[km^2]	[m^3/s]
AQ1	0.40	16.00
TA1		
RI1*		
LA1	0.19	7.43
VO1	0.099	3.96
RI2	0.06	2.53
DC1	0.16	6.41
DM1	0.18	7.20

Tabella 12: Portate al colmo calcolate con la curva inviluppo – Tr 200 anni

3.4.6 Sintesi delle portate di piena

In sintesi le metodologie studiate conducono ai seguenti valori di portata per il tempo di ritorno di riferimento di 200 anni:

*Valori corretti riportati nella *Relazione Generale del progetto esecutivo redatto in data Ottobre 2023 da ITEC – Engineerin, per conto del Comune di Genova*

Sezione	Metodo CIMA	Formula Razionale	Curva inviluppo*
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
AQ1	16.03	18.48	16.00
TA1			
RI1*			
LA1	7.45	10.15	7.43
VO1	4.08	5.50	3.96
RI2	2.54	3.55	2.53
DC1	6.43	8.90	6.41
DM1	7.37	9.30	7.20
SC1**	8.5	-	-
ME1**	55	-	-
TO1**	6.8	-	-

** *Dal Piano di Bacino*

Tabella 13: Portate al colmo [m3/s] calcolate per T=200 anni

I risultati ottenuti con il metodo CIMA sono confrontabili con quelli calcolati dalla Curva di Inviluppo, mentre le portate al colmo calcolate con la formula razionale sono quasi il doppio. Ciò è dovuto all'ipotesi penalizzante relativa al coefficiente di deflusso medio.

4. APPROFONDIMENTI IDROLOGICI SUI RIVI MINORI NON STUDIATI

4.1 PREMESSA

Ad ulteriore approfondimento delle valutazioni idrologiche analizzate precedentemente, sono stati condotti approfondimenti mediante applicazione di altre metodologie disponibili in letteratura andando a considerare non solo i bacini afferenti al reticolo minore indicati dal Piano già descritti ed analizzati al capitolo precedente, ma anche alcuni interbacini di valle, a carattere pressoché urbano, che interferiscono, più o meno direttamente, con la nuova infrastruttura.

Sono stati identificati n.9 bacini urbani identificati con le lettere dell'alfabeto dalla lettera A alla lettera I. I limiti dei suddetti sottobacini urbani sono stati tracciati con riferimento alla cartografia di base data la mancanza di informazioni disponibili relative al sistema di drenaggio urbano delle acque bianche/miste. Nei successivi livelli di progettazione si rileva quindi la necessità di procedere all'analisi dello stato attuale della rete di drenaggio urbano, verificando, se bisogno, i percorsi anche attraverso indagini di campo (rilievi e videoispezioni).

I bacini idrografici urbani e naturali chiusi alle sezioni di interesse individuate sono riportati nella tavola dei sottobacini.

I modelli di trasformazione afflussi-deflussi studiati in questo capitolo sono:

- Modello cinematico;
- Modello CN-SCS.

Per quanto riguarda i tempi di ritorno di interesse, nelle sezioni di chiusura che sottendono bacini naturali la stima della portata di piena è stata effettuata per tutti i tempi di ritorno di interesse nella pratica idrologica (T=2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 500 anni), mentre nel caso dei sottobacini urbani la determinazione delle portate di progetto è stata effettuata con riferimento ai tempi di ritorno per i quali vengono dimensionate le reti fognarie meteoriche (T=2, 5, 10, 20 anni).

4.2 STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA

La stima delle portate di piena in una determinata sezione di un corso d'acqua può essere condotta applicando differenti metodologie a seconda della tipologia e della quantità dei dati idrologici a disposizione.
Il caso più favorevole si ha quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo; in questo caso l'analisi statistica diretta di frequenza delle piene consente di determinare le stime richieste.

Poiché tale situazione si verifica raramente, in ragione del modesto numero di stazioni di misura esistenti e del ridotto periodo di osservazione disponibile per alcune di esse, nella maggior parte dei casi si è nelle condizioni di dover stimare i valori delle portate di piena con metodi indiretti, secondo le seguenti procedure:

- impiego di *modelli di regionalizzazione* del dato idrometrico, costruiti tramite l'analisi statistica dei dati idrologici disponibili relativi a una porzione di territorio

omogenea rispetto ai fenomeni di piena ("regione idrologica");

- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e impiego di *modelli afflussi-deflussi* per la trasformazione in portate.

Il primo metodo consiste nell'utilizzare l'intera informazione idrometrica disponibile all'interno di una regione idrologica omogenea. In tal modo si perviene a un campione di dati storici di dimensioni molto maggiori rispetto a quelle di una singola stazione; sulla base di tale campione si ottiene, mediante l'impiego di leggi di regressione statistica, la stima della distribuzione di probabilità delle portate di piena.
Il campo di validità dei modelli di regionalizzazione comprende i bacini idrografici di estensione variabile nell'intervallo definito dal valore di superficie minimo e massimo per i quali si dispone di serie storiche sufficientemente estese.

Nel caso in esame, stante la dimensione ridotta dei bacini di interesse, l'applicazione dei modelli di regionalizzazione più comunemente usati nella pratica idrologica (modello MG, modello VA.PI.) può condurre a margini di incertezza elevati, pertanto la stima delle portate al colmo di piena per i corsi d'acqua di interesse è stata effettuata mediante modelli di trasformazione afflussi-deflussi descritti nei paragrafi seguenti.

Per i bacini in studio, urbani e naturali, sono state definite tutte le grandezze geomorfologiche caratteristiche necessarie per le successive fasi della progettazione; in particolare sono stati definiti i seguenti parametri:

- Superficie del bacino A [km^2];
- Altezza massima H_{max} [m s.l.m.];
- Altezza minima in corrispondenza della sezione di chiusura H_0 [m s.l.m.];
- Altezza media H_{med} [m s.l.m.];
- Lunghezza dell'asta L [km];
- Tempo di corrivazione t_c [ore];
- Coefficiente di deflusso ϕ;
- Curve number CN.

Per quanto riguarda i parametri morfometrici A, H_{max}, H_0, H_{med}, L appare superfluo alcun approfondimento metodologico; per quanto riguarda invece il tempo di corrivazione t_c del bacino, esso può essere definito come l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale.

Tale grandezza è stata calcolata per tutti i bacini naturali tramite la formula empirica di Giandotti (4.1), valida per bacini montani e collinari, dove le grandezze assumono il significato visto, ad eccezione del parametro L che rappresenta la lunghezza del percorso più lungo del bacino misurata in km.
Per i sottobacini urbani il tempo di corrivazione è stato invece calcolato con la formula di Viparelli (4.2) nella quale t_i, rappresenta il tempo di ingresso in rete, assunto pari a 10 minuti, L è la lunghezza dell'asta e v, misurato in m/s, è la velocità media di percorrenza dell'asta, assunta pari a 1.5 m/s, come indicato dal Piano di Bacino.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{H_{med} - H_0}} \quad (4.1)$$

$$t_c = \frac{L}{v} + t_i \quad (4.2)$$

Il coefficiente di deflusso ϕ tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione che intercorre tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia. Un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita dalla letteratura scientifica come di seguito riportato:

Caratteristiche del bacino	ϕ
Superfici pavimentate o impermeabili	0.70-0.95
Suoli sabbiosi a debole pendenza	0.05-0.10
Suoli sabbiosi a media pendenza	0.10-0.15
Suoli sabbiosi a elevata pendenza	0.15-0.20
Suoli argillosi a debole pendenza	0.13-0.17
Suoli argillosi a media pendenza	0.18-0.22
Suoli argillosi a elevata pendenza	0.25-0.35

Tabella 14: Coefficiente di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers

La stima del valore appropriato del coefficiente di deflusso richiede la conoscenza del tipo di suolo e del suo uso, integrata ove possibile da dati e osservazioni sperimentali su eventi di piena nella regione idrologica di interesse. Nel caso in esame il coefficiente di deflusso è stato assunto per tutti i bacini ottenuto dalla media ponderata delle aree urbanizzate (ϕ pari a 0.8) e le aree prevalentemente occupate da suolo boschivo (ϕ pari a 0.5), in analogia con l'analisi presentata al Paragrafo § 3.4.4.

Infine, l'indice *CN* è un numero adimensionale compreso tra 0 e 100 che caratterizza la natura del suolo, il tipo di copertura vegetale e le condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione. Per la definizione del valore di *CN* vengono utilizzate le tabelle riportate di seguito, fornite dal SCS, in funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'evento.

Tipologie di uso del suolo	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Suoli coltivati	62-72	71-81	78-88	81-91
Pascoli	39-68	61-79	74-86	80-89
Parti	30	58	71	78
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	77	83
Boschi e foreste con buona copertura dall'erosione e sottobosco	25	55	70	77
Aree a parco di fruizione ricreativa: con copertura erbacea superiore al 75% con copertura erbacea da 5% al 75%	 39 49	 61 69	 74 79	 80 84
Aree commerciali (impermeabili per l'85%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con percentuale media impermeabile: 65% 38% 30% 25% 20%	 77 61 57 54 51	 85 75 72 70 68	 90 83 81 80 79	 92 87 86 85 84
Parcheggi, aree coperte (impermeabili)	98	98	98	98
Strade Asfaltate Inghiaiate	 98 76	 98 85	 98 89	 98 91
Tipo di suolo: *A: elevata infiltrazione, per suoli con strati sabbiosi profondi (diametro 0.002÷0.05 mm);* *B: infiltrazione moderata, per suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, quali limi sabbiosi;* *C: infiltrazione lenta, per suoli a tessitura fine, quali argille limose, deboli starti di limo sabbioso, suoli con debole contenuto organico;* *D: infiltrazione molto lenta, per argille plastiche e compatte.*				

Tabella 15: Valori di CN in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo

Dall'esame delle caratteristiche di uso del suolo dei terreni che costituiscono l'area in esame si è ricavato un valore di CN da assumere per i bacini extraurbani pari a 85 e per quelli urbani pari a 92.

Le caratteristiche geomorfologiche calcolate per i bacini idrografici in studio sono riportate in Tabella 16. Per quanto riguarda i tempi di ritorno di interesse, nelle sezioni di chiusura che sottendono bacini naturali la stima della portata di piena è stata effettuata per tutti i tempi di ritorno di interesse nella pratica idrologica (T=2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 500 anni), mentre nel caso dei sottobacini urbani la determinazione delle portate di progetto è stata effettuata con riferimento ai tempi di ritorno per i quali vengono dimensionate le reti fognarie meteoriche (T=2, 5, 10, 20 anni).

Sezione	A	L	H_0	H_{med}	t_c	ϕ	CN
	[km²]	[km]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[ore]	[-]	[-]
AQ1	0.40	0.79	40.0	193.40	0.37	0.55	85
TA1		0.38	38.0	118.90	0.33	0.59	85
RI1		0.26	36.0	102.23	0.30	0.61	85
LA1	0.19	0.44	27.0	123.45	0.30	0.56	85
VO1	0.099	0.38	25.0	168.48	0.19	0.53	85
RI2	0.06	0.29	25.0	155.42	0.16	0.53	85
DC1	0.16	0.61	17.0	110.83	0.32	0.61	85
DM1	0.18	0.80	14.0	96.80	0.40	0.60	85
A	0.20	-	-	-	0.28	0.74	92
B	0.045	-	-	-	0.21	0.60	85
C	0.17	-	-	-	0.27	0.60	85
D	0.13	-	-	-	0.27	0.72	92
E	0.12	-	-	-	0.25	0.80	92
F	0.053	-	-	-	0.20	0.80	92
G	0.10	-	-	-	0.25	0.80	92
H	0.13	-	-	-	0.24	0.80	92
I	0.13	-	-	-	0.22	0.57	85

Tabella 16: Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse

4.2.1 Modello cinematico

Tra le diverse metodologie utilizzate per la stima della portata al colmo di piena di assegnato tempo di ritorno *T* è stata utilizzata la formula razionale:

$$Q(T) = \phi \cdot A \cdot i_c(T) \qquad (4.3)$$

dove $Q(T)$, A e $i_c(T)$ indicano rispettivamente la portata al colmo di piena di tempo di ritorno T, l'area del bacino e l'intensità della precipitazione relativa al centro di scroscio di durata pari al tempo τ_c critico del bacino; $\phi = \phi_1 \phi_2 \phi_3$ è un coefficiente minore di 1 che tiene conto delle perdite per infiltrazione (ϕ_1), del ragguaglio delle piogge all'area (ϕ_2) e dell'effetto di laminazione del bacino (ϕ_3); il tutto come già descritto al paragrafo precedente.

La formula razionale può essere giustificata concettualmente assumendo uniforme nello spazio e nel tempo l'intensità di precipitazione e schematizzando il fenomeno di trasformazione afflussi–deflussi con un particolare modello cinematico.

I valori di portata al colmo per assegnato tempo di ritorno *T* ottenuti con il modello cinematico sono riportati nella tabella seguente:

Sezione	Q_2	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{30}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
AQ1	5.08	7.36	8.87	10.32	11.15	12.20	13.60	15.00	16.85
TA1									
RI1	2.45	3.54	4.27	4.97	5.37	5.87	6.55	7.22	8.11
LA1	2.75	3.98	4.80	5.58	6.03	6.60	7.36	8.11	9.11
VO1	1.95	2.83	3.41	3.96	4.28	4.68	5.22	5.76	6.47
RI2	1.37	1.98	2.38	2.77	3.00	3.28	3.66	4.03	4.53
DC1	2.49	3.62	4.36	5.07	5.48	5.99	6.68	7.37	8.28
DM1	2.46	3.56	4.29	4.99	5.40	5.90	6.58	7.26	8.15
A	4.25	6.16	7.42	8.64	9.33	10.21	-	-	-
B	0.91	1.32	1.59	1.85	1.99	2.18	-	-	-
C	2.85	4.13	4.98	5.80	6.26	6.85	-	-	-
D	2.76	4.00	4.83	5.61	6.07	6.63	-	-	-
E	2.79	4.04	4.87	5.66	6.12	6.69	-	-	-
F	1.48	2.15	2.59	3.01	3.25	3.56	-	-	-
G	2.37	3.43	4.13	4.81	5.20	5.68	-	-	-
H	3.13	4.53	5.47	6.36	6.87	7.51	-	-	-
I	2.31	3.34	4.03	4.69	5.06	5.54	-	-	-

Tabella 17: Valori di portata calcolati con il modello cinematico

4.2.2 Modello CN-SCS

Il metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS) si basa egualmente sulla formula di corrivazione, ma nel calcolo delle perdite si fa riferimento al parametro CN, indice della capacità del terreno di trattenere l'afflusso meteorico.
Il modello si basa sulla seguente formula per il calcolo della pioggia netta:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \tag{4.4}$$

dove *P* è la pioggia lorda caduta fino all'istante temporale considerato, *S* è il massimo volume specifico che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione ed I_a è il valore limite di pioggia che il terreno può trattenere senza che si abbia produzione di deflusso.
Il parametro I_a (misurato in millimetri) può essere stimato con la relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S \tag{4.5}$$

mentre *S* (misurato in millimetri) può essere determinato in base al valore di CN:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \tag{4.6}$$

Per la definizione del valore di CN sono state utilizzate le tabelle fornite dal SCS, in funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti

all'evento riportate in Tabella 15; il valore di CN assunto per i corsi d'acqua di interesse è pari a 92 per i bacini urbani e 85 per i bacini extraurbani.
I valori di portata al colmo per assegnato tempo di ritorno *T* ottenuti con il modello CN-SCS sono riportati nella tabella seguente:

Sezione	Q_2 [m^3/s]	Q_5 [m^3/s]	Q_{10} [m^3/s]	Q_{20} [m^3/s]	Q_{30} [m^3/s]	Q_{50} [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]	Q_{200} [m^3/s]	Q_{500} [m^3/s]
AQ1	2.19	4.80	6.80	8.85	10.07	11.64	13.81	16.02	19.01
TA1	1.11	2.50	3.56	4.65	5.31	6.15	7.31	8.50	10.11
RI2	0.84	1.92	2.75	3.61	4.12	4.78	5.70	6.63	7.90
LA1	1.06	2.40	3.43	4.50	5.14	5.96	7.10	8.26	9.84
VO1	0.61	1.50	2.20	2.94	3.38	3.96	4.76	5.59	6.71
RI2	0.39	0.98	1.46	1.96	2.27	2.67	3.22	3.80	4.58
DC1	0.90	2.02	2.88	3.77	4.30	4.99	5.93	6.90	8.21
DM1	0.99	2.16	3.05	3.96	4.50	5.20	6.16	7.14	8.46
A	2.50	4.61	6.10	7.58	8.44	9.53	-	-	-
B	0.27	0.65	0.95	1.26	1.45	1.69	-	-	-
C	0.97	2.24	3.22	4.23	4.84	5.63	-	-	-
D	1.66	3.06	4.05	5.03	5.61	6.33	-	-	-
E	1.49	2.76	3.66	4.55	5.07	5.74	-	-	-
F	0.74	1.40	1.87	2.34	2.61	2.96	-	-	-
G	1.26	2.33	3.10	3.86	4.30	4.86	-	-	-
H	1.65	3.06	4.07	5.07	5.66	6.40	-	-	-
I	0.74	1.77	2.58	3.42	3.92	4.58	-	-	-

Tabella 18: Valori di portata calcolati con il modello CN-SCS

4.3 Analisi dei risultati e definizione delle portate di riferimento

Di seguito (**Tabella 19** e **Tabella 20**) si riportano, per i soli tempi di ritorno di 100 e 200 anni, nel caso di bacini naturali (i tempi di ritorno considerati sono quelli di maggiore interesse nella pratica idrologica essendo i tempi di ritorno di riferimento per la progettazione delle opere di difesa idraulica del territorio, così come indicato dall'Autorità di Bacino competente) e per T=10 anni per i sottobacini urbani, i valori di portata al colmo di piena nelle sezioni di interesse calcolati con le metodologie presentate nei diversi capitoli e con i modelli di trasformazione afflussi-deflussi proposti, al fine di confrontate i risultati ottenuti con le diverse metodologie esposte.

Sezione	Portata al colmo [m^3/s] per T=100 anni calcolata con le seguenti metodologie				
	Modello cinematico	Modello CN-SCS	Metodo CIMA	Formula razionale	Curva inviluppo
AQ1	13.60	13.81	13.57	16.55	-
TA1	8.00	7.31	6.73	10.70	-
RI1	6.55	5.70	5.02	8.76	-
LA1	7.36	7.10	6.31	9.09	-
VO1	5.22	4.76	3.46	4.93	-
RI2	3.66	3.22	2.15	3.18	-

DC1	6.68	5.93	5.44	7.97	-
DM1	6.58	6.16	6.24	8.33	-

Tabella 19: Confronto fra le metodologie esposte: portata per T=100 anni - bacini naturali

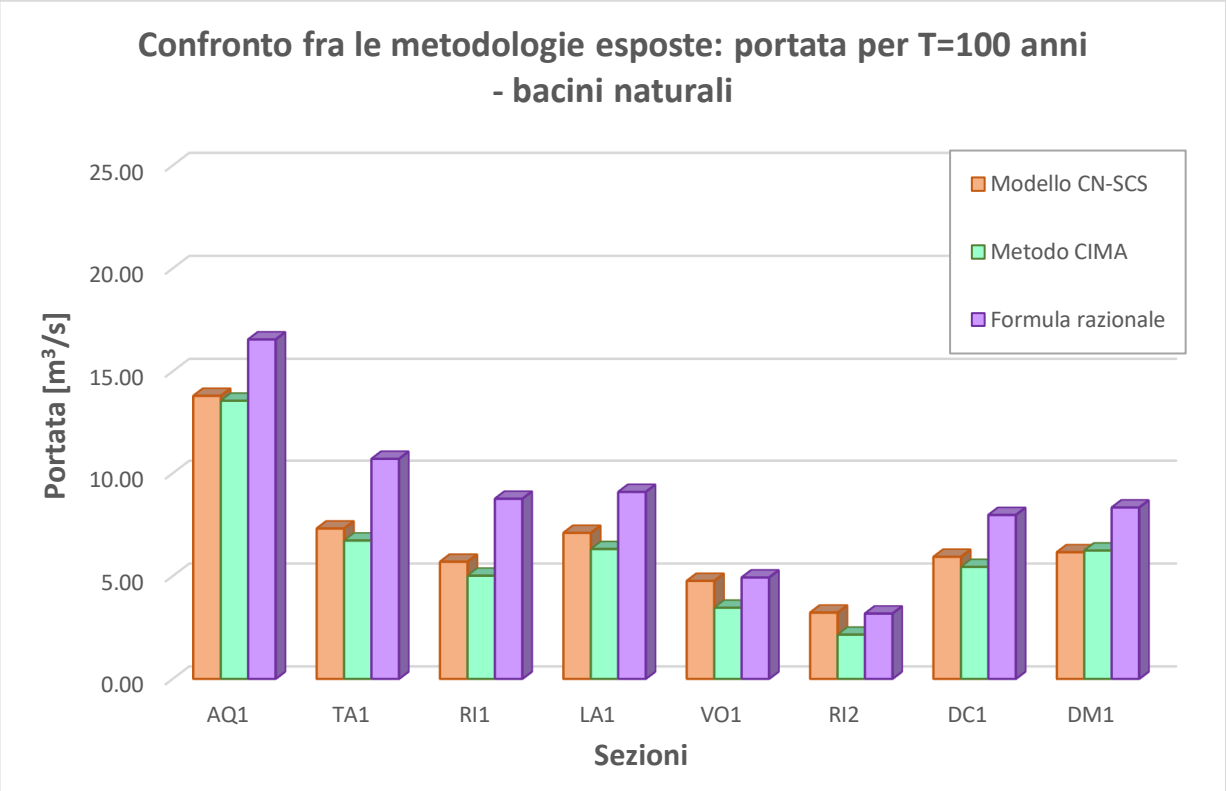


Figura 13. Confronto fra le metodologie esposte: portata per T=100 anni - bacini naturali

Sezione	Portata al colmo [m³/s] per T=200 anni calcolata con le seguenti metodologie				
	Modello cinematico	Modello CN-SCS	Metodo CIMA	Formula razionale	Curva inviluppo*
AQ1	15.00	16.02	16.03	18.48	15.98
TA1	8.82	8.50	7.95	11.95	7.93
RI1	7.22	6.63	5.93	9.78	5.91
LA1	8.11	8.26	7.45	10.15	7.43
VO1	5.76	5.59	4.08	5.50	4.07
RI2	4.03	3.80	2.54	3.55	2.53
DC1	7.37	6.90	6.43	8.90	6.41
DM1	7.26	7.14	7.37	9.30	7.35
** Empiricamente viene associato T=200 anni alla curva inviluppo.*					

Tabella 20: Confronto fra le metodologie esposte: portata per T=200 anni - bacini naturali

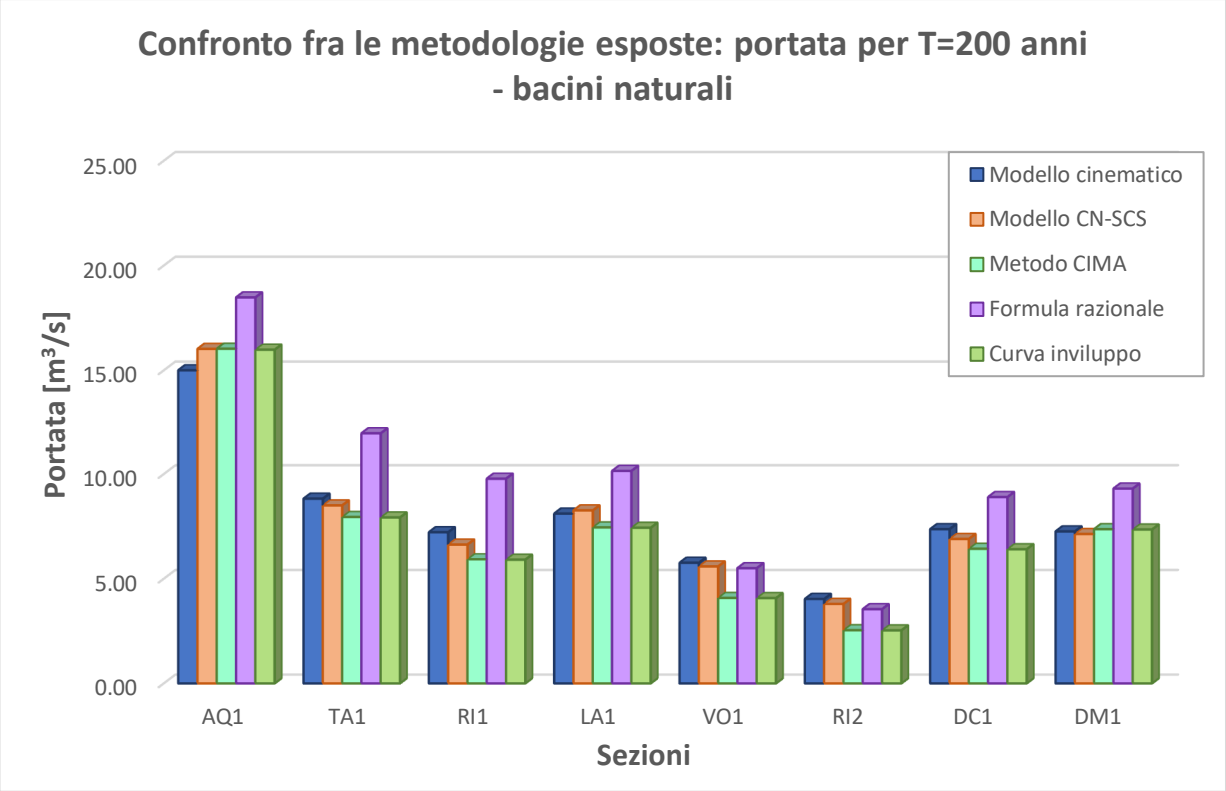


Figura 14. Confronto fra le metodologie esposte: portata per T=200 anni - bacini naturali

Sezione	Portata al colmo [m^3/s] per T=10 anni calcolata con le seguenti metodologie			
	Modello cinematico	Modello CN-SCS	Metodo CIMA	Formula razionale
A	7.42	6.10	3.48	7.75
B	1.59	0.95	0.65	1.66
C	4.98	3.22	2.40	5.20
D	4.83	4.05	2.30	5.04
E	4.87	3.66	1.99	5.09
F	2.59	1.87	0.91	2.71
G	4.13	3.10	1.68	4.32
H	5.47	4.07	2.16	5.72
I	4.03	2.58	1.79	4.21

Tabella 21: Confronto fra le metodologie esposte: portata per T=10 anni - sottobacini urbani

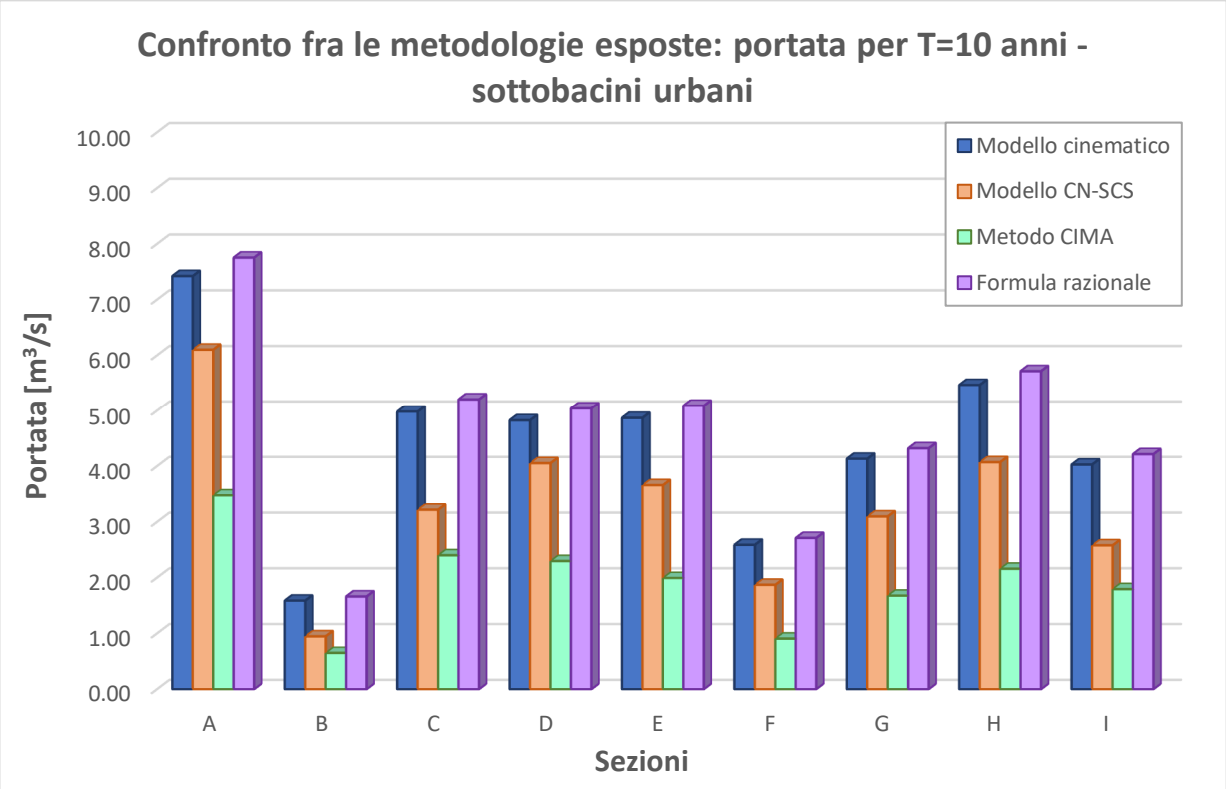


Figura 15. Confronto fra le metodologie esposte: portata per T=10 anni - sottobacini urbani

Le metodologie utilizzate, come si può notare, forniscono risultati fra loro confrontabili per bacini naturali, pur sovrastimando sempre il metodo razionale la portata al colmo di

circa il 42% in media rispetto al Metodo CIMA per un tempo di ritorno di 200 anni, e di circa il 50% per un tempo di ritorno di 100 anni.
Il metodo razionale per i bacini naturali sovrastima la portata al colmo di circa il 27% in media rispetto al metodo della curva di inviluppo per i 200 anni.
Tale incremento è da motivarsi nella scelta dei parametri che hanno permesso il calcolo del tempo di corrivazione: la velocità di deflusso in rete e il tempo fuori rete, entrambi molto penalizzanti per il calcolo delle portate al colmo.
Nel confronto dei risultati con tempo di ritorno pari a 10 anni per i bacini urbanizzati si osserva come il metodo CN-SCS, Metodo Razionale e Metodo Cinematico offrano risultati simili mentre il Metodo Cima, con portate al colmo nettamente inferiori, appare inadatto a descrivere la risposta idrologica di tali bacini. Il motivo è da ricercarsi nei parametri che permettono il calcolo delle portate: al contrario degli altri 3 metodi, il metodo CIMA non considera il tempo di corrivazione, molto sensibile ai parametri ipotizzati ma un contributo unitario variabile a seconda del grado di urbanizzazione del bacino e della longitudine.

Per i bacini individuati dalla presenza dei rii si conferma ciò che era stato individuato al Paragrafo § 3.4.6, ossia la sovrastima da parte del metodo razionale delle portate al colmo.

Nella successiva fase di approfondimento idraulico, a meno di informative da parte degli Enti Competenti (Regione Liguria – Difesa del Suolo, Comune di Genova) per i corsi d'acqua che sono stati oggetto di studio, si propone di assumere quali portate di progetto quelle derivanti dalla media dei risultati ottenuti con il modello cinematico e con il modello CN-SCS e il modello razionale, avendo cura di verificare anche le condizioni di funzionamento dei bacini dei corsi d'acqua considerati anche con le portate suggerite dal Piano di Bacino e stimate con il metodo CIMA.

Sezione	**Q_5**	**Q_{10}**	**Q_{20}**	**Q_{50}**	**Q_{100}**	**Q_{200}**
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
AQ1	6.92	8.70	10.47	12.84	14.65	16.50
TA1	4.13	5.17	6.21	7.60	8.67	9.76
RI1	3.34	4.18	5.02	6.14	7.00	7.88
LA1	3.70	4.65	5.60	6.87	7.85	8.84
VO1	2.29	2.91	3.52	4.34	4.97	5.62
RI2	1.54	1.95	2.36	2.92	3.35	3.79
DC1	3.26	4.09	4.91	6.01	6.86	7.72
DM1	3.35	4.20	5.04	6.16	7.02	7.90
A	5.72	7.09	8.44	-	-	-
B	1.11	1.40	1.68	-	-	-
C	3.55	4.47	5.38	-	-	-
D	3.74	4.64	5.52	-	-	-
E	3.66	4.54	5.40	-	-	-

Sezione	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}
	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m^3/s]
F	1.93	2.39	2.84	-	-	-
G	3.11	3.85	4.58	-	-	-
H	4.10	5.08	6.05	-	-	-
I	2.86	3.61	4.35	-	-	-

Tabella 22: Valori di portata derivanti dalla media dei due modelli proposti

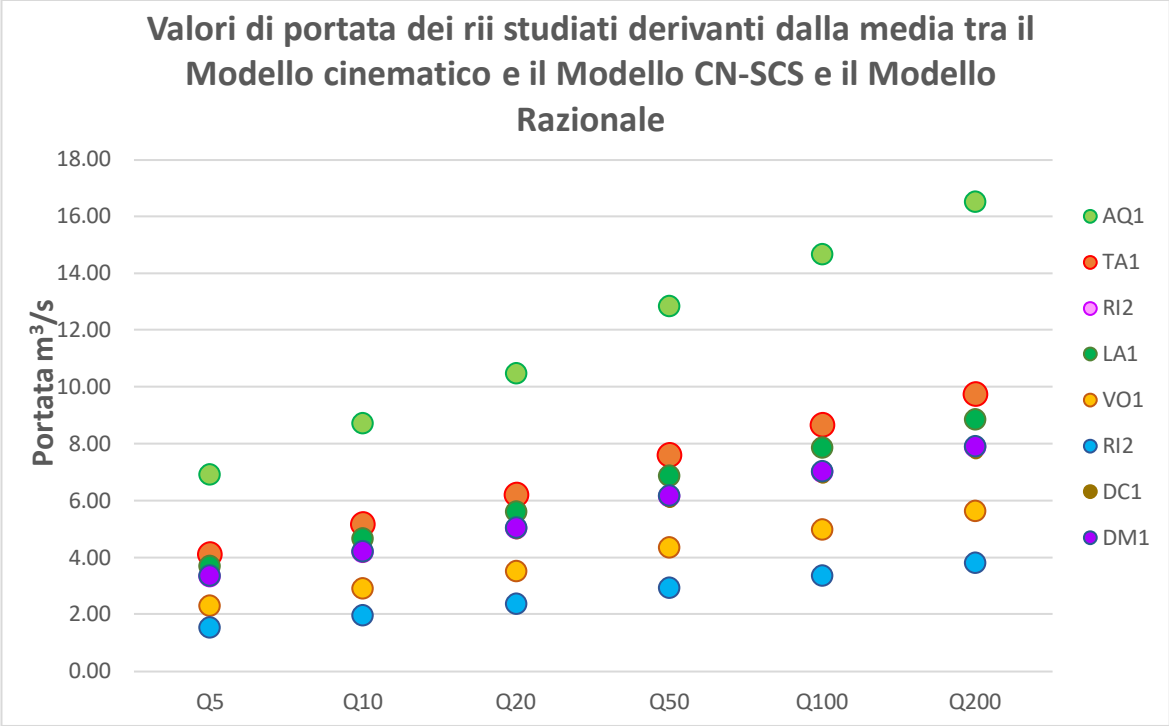


Figura 16. Valori di portata dei rii studiati derivanti dalla media dei tre modelli proposti

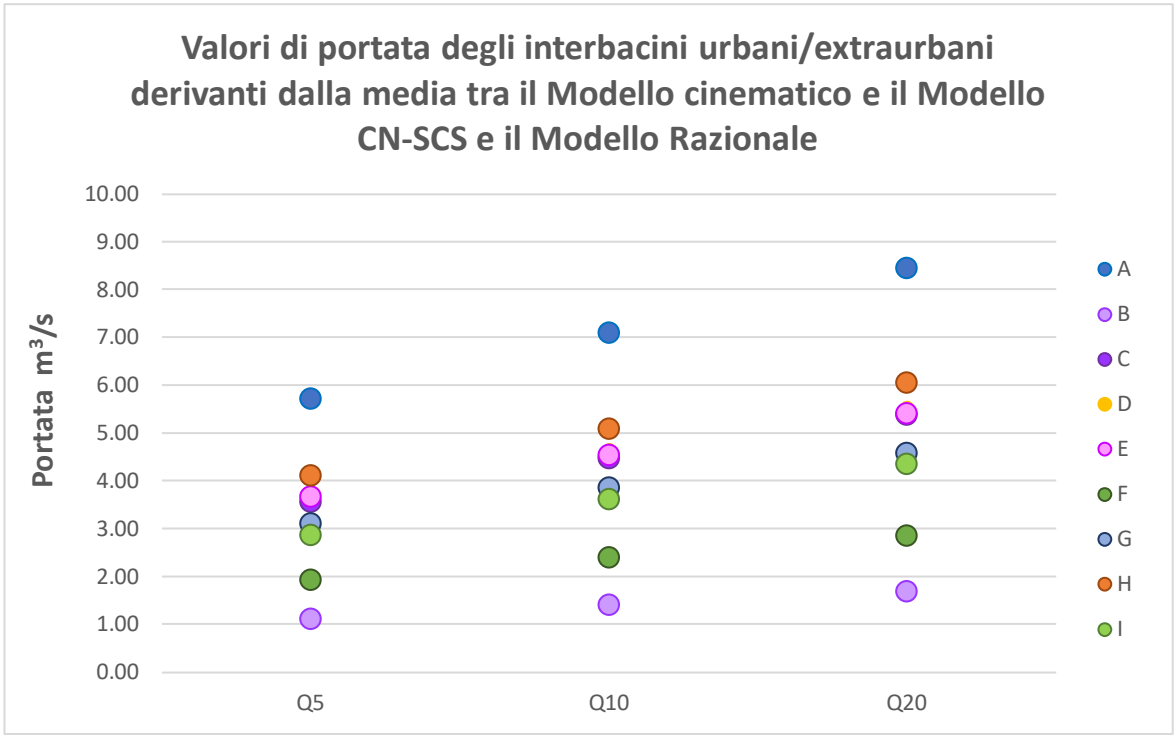


Figura 17. Valori di portata degli interbacini urbani/extraurbani derivanti dalla media dei tre modelli proposti

5. CONCLUSIONI

Alla luce dell'analisi effettuata nell'ambito dell'inquadramento dell'opera di cui al presente PFTE, sono stati attentamente analizzati tutti i rami del reticolo di scolo secondario. Il quadro che ne deriva rimanda ad un contesto di elevata complessità nell'ambito dell'interazione con le strutture previste dal progetto e gli elementi del reticolo idrografico a cui prestare particolare attenzione a causa della prossimità con fasce di inondabilità legate ad allagamenti per tempi di ritorno di 50 anni.

Le valutazioni effettuate in relazione all'esistente reticolo di scolo (rivi minori e reticolo meteorico urbano) hanno portato a evidenziare come la nuova infrastruttura non interferisca direttamente con gli esistenti rami di deflusso, in relazione ad un tracciato che si mantiene sostanzialmente sopraelevato rispetto al piano campagna.

In tale contesto idrologico e idraulico il progetto della linea della metropolitana da Brignole a Molassana dovrà tenere conto e raccordarsi opportunamente con gli interventi di riqualificazione e messa in sicurezza del reticolo da parte degli Enti competenti: Regione Liguria – Difesa del Suolo, Comune di Genova.