



# Regione Lombardia

OPERA FINANZIATA DA REGIONE LOMBARDIA CON FONDI PROGRAMMA  
2021-22 DI INTERVENTI URGENTI E PRIORITARI PER LA DIFESA DEL SUOLO E LA  
MITIGAZIONE DEI RISCHI IDROGEOLOGICI DEL TERRITORIO LOMBARDO - DGR  
n. XI/3671 del 13/10/2020

## MBIMSI\_SUD TORRENTE GARZA: MESSA IN SICUREZZA DELLA LOCALITÀ SAN POLO

CUP: C88B19000090002

fase: PROGETTO DEFINITIVO

Ente attuatore: Comune di Brescia



Settore Trasformazione Urbana  
via Marconi 12  
25128 Brescia  
tel: 030 2978603  
trasformazioneurbana@comune.brescia.it - www.comune.brescia.it  
Responsabile del settore: arch. Gianpiero Ribolla  
Referente: ing. Claudio Bresciani

Soggetto attuatore:



Brescia Infrastrutture s.r.l.  
Via Triumplina, n° 14 - 25123 Brescia  
t: +39 030 3061400 f: +39 030 3061401  
info@bresciainfrastrutture.it - www.bresciainfrastrutture.it  
Responsabile Unico Progetto: ing. Alberto Merlini

Progettista: Responsabile del progetto: ing. Giuseppe Rossi  
Gruppo di progettazione: geom. Alberto Torrisi  
Strutture: ing. Edoardo Iob  
Geologo: geol. dott. Rinaldo Bussola

Elaborato: MBIMSI\_SUD | D | 201 | AR 2.1 | R01 | P | Relazione idraulica

Scala: -

revisione:	REVISIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	DESCRIZIONE
	00	Ott 21	Rossi / Torrisi	ing. G. Rossi	PRIMA EMISSIONE
	01	Set 22	Rossi / Torrisi	ing. G. Rossi	SECONDA EMISSIONE
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-

## Sommario

1)	Premessa .....	3
2)	Ambito territoriale.....	4
3)	Infrastrutture della Metropolitana interessate dallo studio .....	8
4)	Analisi della situazione attuale .....	9
4.1)	Zonazione della pericolosità nelle mappe del PGRA .....	9
4.2)	Sintesi dello studio di approfondimento .....	12
4.2.1)	Procedimento di calcolo .....	12
4.2.2)	Individuazione e caratteristiche del tronco fluviale oggetto dello studio idraulico.....	12
4.2.3)	Individuazione delle aree allagabili oggetto dello studio idraulico .....	12
4.2.4)	Analisi idrologica.....	14
4.2.5)	Modellazione idraulica .....	15
4.2.6)	Esame dei risultati .....	16
5)	Criteri e ipotesi d'intervento .....	17
6)	Verifica idraulica del progetto .....	22
6.1)	Procedimento .....	22
6.2)	Opere previste .....	22
6.3)	Schema geometrico di calcolo.....	25
6.4)	Dati idrologici. Flussi in ingresso .....	29
6.5)	Verifica idraulica.....	31
6.5.1)	Simulazione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni (TR100) .....	31
6.5.2)	Simulazione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 10 anni (TR10).....	36
6.5.3)	Verifica degli effetti dell'intervento .....	38

## 1) Premessa

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 e successivamente dal Presidente del Consiglio dei Ministri con DPCM 27 ottobre 2016, contiene l'individuazione delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, e, all'interno di esse, classifica il grado di pericolosità in funzione della frequenza degli eventi alluvionali ed il grado di rischio al quale sono esposti gli elementi ivi presenti.

La mappatura delle aree inondabili, contenuta nel PGRA, integra il quadro conoscitivo del Piano per l'Assetto idrogeologico di bacino (PAI), con lo scopo di applicare all'interno delle predette aree, in funzione dei vari scenari di pericolosità e del rischio, una idonea normativa d'uso del suolo.

L'Autorità di Bacino del fiume Po, con deliberazione n. 5 del Comitato Istituzionale in data 7 dicembre 2016, ha pertanto adottato una Variante alle Norme di Attuazione del PAI, aggiungendo un Titolo V contenente *"Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)"*.

Regione Lombardia, al fine di dare attuazione ai contenuti del PGRA ai sensi dell'art. 58 delle Norme di Attuazione del PAI, come integrate dalla predetta variante, ha approvato le Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del PGRA nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, con Deliberazione della Giunta Regionale n. X/6738 in data 19 giugno 2017.

Il Comune di Brescia, ai sensi dell'art. 59 del nuovo Titolo V delle Norme di Attuazione del PAI e conformemente alle predette Direttive regionali, ha dato corso al procedimento di adeguamento della componente geologica del PGT al PAI coordinato con il PGRA, adottando la relativa variante con deliberazione della Giunta Comunale n. 34 del 16.04.2018, dopo l'acquisizione di specifici studi idrologici e idraulici di approfondimento locale, condotti all'interno degli ambiti del proprio territorio comunale interessati da possibili alluvioni.

Nell'ambito territoriale del torrente Garza a sud del centro cittadino, le esondazioni delle possibili piene del predetto corso d'acqua interessano i quartieri San Polo Case e San Polo Parco, ed in particolare la linea della Metropolitana e la Stazione San Polo Parco.

Al fine di individuare i possibili interventi di messa in sicurezza della Metropolitana, la Soc. Brescia Infrastrutture ha conferito un incarico professionale per la redazione di uno specifico studio e progetto di fattibilità, predisposto in data 1 ottobre 2018 ed approvato con deliberazione G.C. n. 54 del 06/02/2019.

L'intervento di messa in sicurezza della località San Polo, in comune di Brescia, proposto con il predetto studio e progetto di fattibilità, ha ottenuto il parere favorevole della U.O. regionale Difesa del suolo, ed inserito, per il finanziamento, nel "PROGRAMMA 2021 – 2022 DI INTERVENTI URGENTI E PRIORITARI PER LA DIFESA DEL SUOLO E LA MITIGAZIONE DEI RISCHI IDROGEOLOGICI DEL TERRITORIO LOMBARDO", approvato con D.G.R. n. 3671 del 13 ottobre 2020.

In questa relazione si illustra lo studio idraulico di approfondimento locale relativo alla situazione attuale e, successivamente, alla configurazione di progetto, per la verifica dell'efficacia dell'intervento, con riferimento alla simulazione degli eventi di piena del t. Garza con tempo di ritorno di 100 e 10 anni.

## **2) Ambito territoriale**

Il presente studio riguarda la parte del territorio comunale di Brescia, Zona Est – Quartiere San Polo Parco (Rif. Fig. 2.1.1 – Planimetria d'inquadramento).

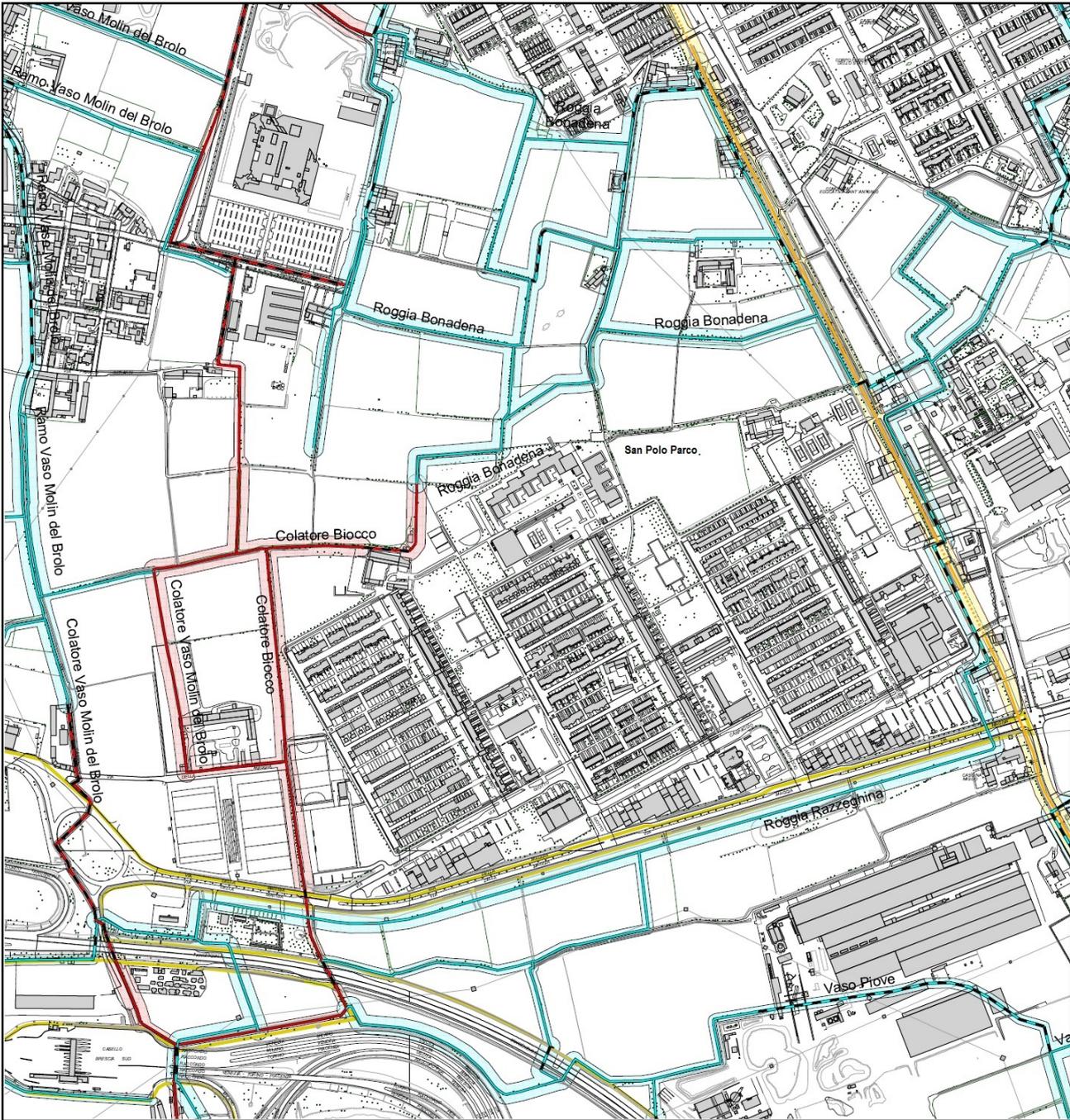
Il tronco del torrente Garza interessato è quello immediatamente seguente il percorso del canale artificiale nel centro cittadino, scavato anticamente per allontanare le piene provenienti dal proprio bacino montano, unitamente a quelle del Naviglio Grande Bresciano, verso la brughiera della pianura orientale bresciana.

Il territorio allo studio è inoltre interessato dalla rete idrografica minore dei vasi irrigui e di colo, in parte di competenza comunale ed in parte di competenza del consorzio di bonifica Chiese, come illustrato nella seguente figura 2.1.2 stralcio planimetrico del RIM.

Figura 2.1.1 - Planimetria d'inquadramento



Figura 2.1.2 - Stralcio planimetrico del RIM



**LEGENDA****RETICOLO IDROGRAFICO****CORSI D'ACQUA DI COMPETENZA REGIONALE**

-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA REGIONALE - TRATTI SCOPERTI NATURALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA REGIONALE - TRATTI COPERTI NATURALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA REGIONALE - TRATTI SCOPERTI ARTIFICIALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA REGIONALE - TRATTI COPERTI ARTIFICIALI

**CORSI D'ACQUA DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA "MEDIO CHIESE"**

-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA - TRATTI SCOPERTI NATURALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA - TRATTI COPERTI NATURALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA - TRATTI SCOPERTI ARTIFICIALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA - TRATTI COPERTI ARTIFICIALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA DEI QUALI E' PREVISTA LA DISMISSIONE NELL'AMBITO DELL'INTERVENTO DI URBANIZZAZIONE DEL PIANO DI ZONA A/21 SAN POLINO - TRATTI SCOPERTI ARTIFICIALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA DEI QUALI E' PREVISTA LA DISMISSIONE NELL'AMBITO DELL'INTERVENTO DI URBANIZZAZIONE DEL PIANO DI ZONA A/21 SAN POLINO - TRATTI COPERTI ARTIFICIALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA DEI QUALI E' PREVISTA LA REALIZZAZIONE NELL'AMBITO DELLE OPERE DI URBANIZZAZIONE DEL PIANO DI ZONA A/21 "SAN POLINO" - TRATTI COPERTI ARTIFICIALI

**CORSI D'ACQUA DI COMPETENZA COMUNALE**

-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE - TRATTI SCOPERTI NATURALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE - TRATTI SCOPERTI ARTIFICIALI
-  CORSI D'ACQUA DEL RETICOLO MINORE - TRATTI COPERTI ARTIFICIALI

**FASCE DI RISPETTO**

-  FASCIA DI RISPETTO PER CORPI IDRICI DEL RETICOLO PRINCIPALE DI COMPETENZA REGIONALE
-  FASCIA DI RISPETTO PER CORPI IDRICI DEL RETICOLO MINORE
-  AMBITO DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA SU CORPI IDRICI DEL RETICOLO PRINCIPALE
-  AMBITO DI COMPETENZA DEL CONSORZIO DI BONIFICA SU CORPI IDRICI DEL RETICOLO MINORE
-  FASCIA 10 m
-  FASCIA 4 m
-  FASCIA 1 m

**PRESCRIZIONI DEL "PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO"****DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI**

-  LIMITE TRA LA FASCIA B E LA FASCIA C
-  LIMITE ESTERNO DELLA FASCIA C

**AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO MOLTO ELEVATO (AREE I, COMMA 3 ART. 51 N.d.A DEL PAI)**

-  AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO MOLTO ELEVATO (AREE I, COMMA 3 ART. 51 N.d.A DEL PAI) COME MODIFICATE A SEGUITO DELLA DEL. G.C. n.132 P.G. n.5204 DEL 11.02.04
-  PERIMETRO DEL CENTRO EDIFICATO (L.865/71)
-  CONFINE TRA IL COMPENSORIO DI BONIFICA N. 10 (CONSORZIO DI BONIFICA DEL MELLA E DEI FONTANILI) E IL COMPENSORIO DI BONIFICA N. 13 (CONSORZIO DI BONIFICA MEDIO CHIESE) (D.C.R. 26.03.1986 n. IV/213)
-  CONFINE COMUNALE

### 3) Infrastrutture della Metropolitana interessate dallo studio

Il tronco della linea metropolitana interessato è quello della località San Polo, in destra idrografica del Garza, compreso fra la stazione Poliambulanza e l'attraversamento aereo del predetto torrente.

In questo luogo la linea della metropolitana, proveniente dalla Città con percorso sotterraneo, risale in superficie presso la stazione Poliambulanza e, dopo un percorso in direzione est di 830 metri, attraversa il corso del torrente Garza con un ponte di sovrappasso.

Circa a metà percorso di questa tratta si trova la stazione San Polo Parco, oltre la quale la ferrovia inizia la salita verso il ponte sul Garza, con rilevato in terra continuo, intestato contro l'argine destro del torrente.

Il territorio in destra Garza è pianeggiante, naturalmente degradante in modo uniforme verso sudovest, talché, in caso di esondazione delle acque del Garza dalla sponda destra, il naturale ruscellamento delle acque, sulla superficie dei terreni, è intercettato trasversalmente alla direzione del deflusso dal predetto rilevato, che devia le acque verso ovest, e dalla linea della metropolitana lungo il tratto all'aperto, precedente la rampa, ove il piano rotabile si trova a quota inferiore rispetto al piano campagna.

In caso di alluvione, i muri longitudinali di sostegno della trincea della metropolitana, la cui quota in sommità è di poche decine di centimetri sopra il piano di campagna, possono essere tracimati, con il conseguente allagamento del piano ferroviario, in pendenza verso la stazione San Polo Parco. La stessa predetta stazione, inoltre, dispone di un sottopasso pedonale a cielo libero, il cui ampio piano infossato può essere invaso dalle acque di ruscellamento sul piano campagna, in cascata dal ciglio superiore al contorno della cavità.

## 4) Analisi della situazione attuale

La situazione attuale di riferimento è quella risultante dai documenti del PGRA aggiornati con Revisione 2022 a seguito dello studio di approfondimento locale, eseguito nel corso del procedimento di adeguamento della componente geologica del PGT di Brescia al PAI coordinato con il PGRA.

### 4.1) Zonazione della pericolosità nelle mappe del PGRA

Nella pianificazione di bacino vigente, il t. Garza appartiene al Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP), non interessato dalla delimitazione delle fasce fluviali.

La delimitazione e la classificazione delle aree allagabili sono contenute nelle mappe della pericolosità del PGRA, per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3 (H nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni *frequenti*;
- aree P2 (M nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni *poco frequenti*;
- aree P1 (L nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni *rare*;

Il tempo di ritorno della piena di riferimento è quello corrispondente allo scenario di pericolosità poco frequente (P2), come definito nel PGRA.

Nelle seguente figura 4.1.1 è rappresentata la delimitazione delle aree di pericolosità poco frequente (P2) PGRA precedente lo studio di approfondimento locale, mentre nella successiva figura 4.1.2 è rappresentato lo stralcio della mappa della pericolosità del PGRA, per l'evento poco frequente (aree P2), relativo all'area oggetto del presente progetto, attualmente in vigore aggiornato con revisione 2022.

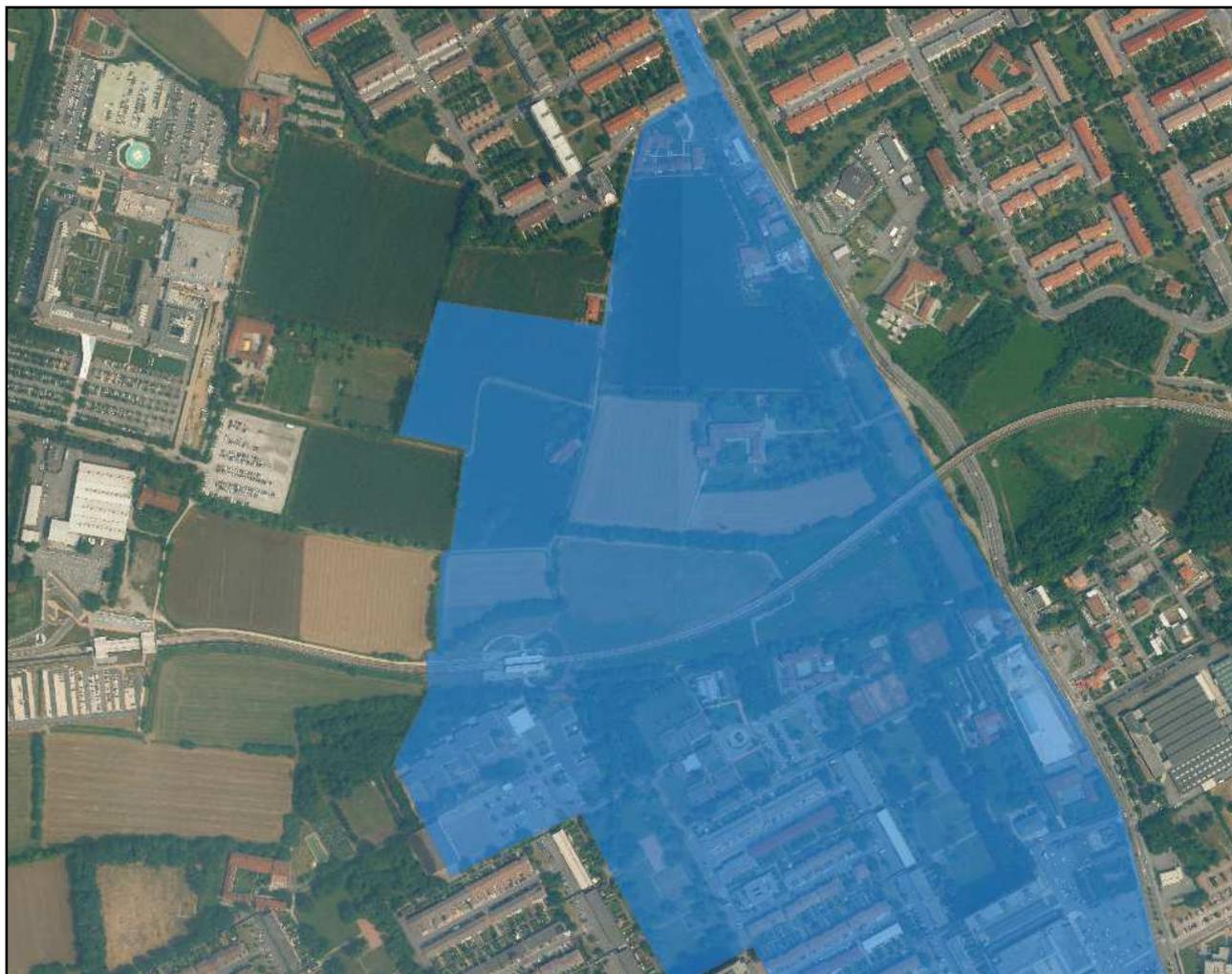
Figura 4.1.1 - Stralcio planimetrico della mappa della pericolosità PGRA precedente lo studio di approfondimento locale



LEGENDA:

 Limite aree allagabili per piena con TR100 - Pericolosità P2/M PGRA

Figura 4.1.2 - Stralcio planimetrico della mappa della pericolosità P2 poco frequente del PGRA attuale (Revisione 2022)



**LEGENDA:**

 Limite aree allagabili per piena con TR100 - Pericolosità P2/M PGRA

## 4.2) Sintesi dello studio di approfondimento

### 4.2.1) Procedimento di calcolo

Lo studio fu condotto conformemente alle metodologie definite nell'Allegato 4 alla DGR 30 novembre 2011, n. IX/2616 ed alla direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, approvate dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazione n. 2/99 del 11 maggio 1999 e n. 10/06 del 5 aprile 2006.

La determinazione dei dati necessari al fine di perimetrare le aree allagabili e di caratterizzare all'interno di esse le varie zone a diverso grado di pericolosità e rischio idraulico, è il risultato di un procedimento di calcolo della modellazione idraulica, in condizioni di moto vario, del deflusso monodimensionale (1D) dell'idrogramma, o degli idrogrammi della piena di riferimento, lungo l'asta del corso d'acqua e delle eventuali ramificazioni, combinata con la modellazione bidimensionale (2D) del flusso della acque esondate nelle aree di allagamento.

La modellazione idraulica è stata eseguita mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS versione 5.0.7 e dei più recenti rilievi topografici ad alta precisione, ottenuti con tecnologia Laser Scanning LiDAR-Light Detection And Ranging, resi disponibili dal MATTM tramite Regione Lombardia.

### 4.2.2) Individuazione e caratteristiche del tronco fluviale oggetto dello studio idraulico

La sezione d'inizio per la modellazione 1/D è individuata in corrispondenza del termine del lungo tratto tombato a fianco di via San Polo, fra l'edificio della Questura e l'attraversamento di via Brunelleschi.

Il tronco del t. Garza allo studio inizia dalla sezione al termine del predetto tratto tombato e termina nella zona delle cave in via Casotti, dopo un percorso di 3284 m.

Rispetto alla documentazione del PGRA e dello Studio di fattibilità dell'AdBPO, questo tronco inizia in corrispondenza della sezione n. 049 del PAI, a partire dalla quale le mappe del PGRA evidenziano l'esondazione delle acque del Garza dall'alveo, e termina alla sezione PAI n. 033.

### 4.2.3) Individuazione delle aree allagabili oggetto dello studio idraulico

Il territorio interessato dalle esondazione del Garza, lungo il tronco in oggetto, è suddiviso in n. 7 aree di allagamento collegate all'asta fluviale, fra loro distinte nei riguardi dei fenomeni di scorrimento superficiale e di espansione delle acque esondate, ed in taluni casi collegate da strutture laterali, ove risulta possibile il flusso da un'area all'altra.

Le aree allagabili, considerate in prima analisi nel calcolo idraulico, sono quelle relative allo scenario di pericolosità poco frequente (P2/M) per la piena di riferimento con TR 100 anni, secondo la delimitazione fornita dalla Regione, come precisato nel precedente paragrafo 4.1 e rappresentate nella figura 4.1.1.

Nel corso dello studio della modellazione idraulica bidimensionale, si è riscontrata la necessità di ampliare le aree allagabili di prima analisi, in maggior misura nella prima parte a monte (quartiere S. Polo Parco) ed in misura minore nella seconda parte (quartiere S. Polo Case), come illustrato nella seguente figura 4.2.3.1.

Figura 4.2.3.1 - Planimetria delle aree di allagamento ampliate



In entrambi i casi, gli ampliamenti derivano dall'utilizzo, nel modello di calcolo, del rilievo LiDAR, i cui dati forniscono una dettagliata ed aggiornata configurazione piano altimetrica del suolo, e dagli accertamenti sopralluogo.

In particolare, nella prima parte, l'ampliamento riguarda il limite ad ovest dell'area a pericolosità P2 (area di allagamento 01), per effetto della presenza del rilevato ferroviario della Metropolitana, realizzato successivamente allo studio di approfondimento dell'AdBPo.

#### 4.2.4) Analisi idrologica

I dati della piena di riferimento per il calcolo idraulico sono ottenuti dalla documentazione contenuta nello *"Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio"*, predisposto a cura dell'Autorità di Bacino, elaborati come illustrato nel seguito.

Il tempo di ritorno della piena di riferimento è pari a 100 anni, come chiarito dalla Regione Lombardia - U.O. Difesa del suolo - Struttura pianificazione dell'assetto idrogeologico.

Si fa riferimento allo schema idrologico fornito dal "Tabellone" contenuto nella relazione idrologica dello Studio di fattibilità (elaborato n. 3.1.2.2/5/1D) ed agli idrogrammi dell'elaborato 3.1.2.1/1/1R - 3.2.2.1/1/1R – allegato 6 *"Relazione descrittiva dell'attività di definizione delle portate di piena di riferimento"* del medesimo studio.

Come condizione al contorno di monte, in corrispondenza della sezione del modello di calcolo n. 3284,00 (sezione PAI n. 049), si applica l'idrogramma TR 100 del tronco "GR 3-4" (Crocevia Nave – Porta Trento), sommato all'idrogramma corrispondente ad 1/3 degli apporti lungo il seguente tronco "GR 4-5" (Porta Trento – Chioderolo), che lo studio di fattibilità considera distribuiti da sezione PAI n. 052 (ponte FFSS) a Chioderolo (confluenza Naviglio Cerca), in corrispondenza della sezione PAI n. 039 (sezione del modello di calcolo n. 1250,00). Questo apporto è sommato quindi in modo concentrato all'inizio del tratto poiché in questo punto confluisce effettivamente il cosiddetto "fognolo", ultimo tratto del canale Naviglio.

Lungo la successiva asta del Garza, fino a Chioderolo, si considerano confluenti, sempre in forma di idrogrammi, i restanti 2/3 degli apporti del tratto "GR 4-5", concentrati in due punti ed in parti uguali, in corrispondenza dei due scaricatori della fognatura bianca del territorio, rispettivamente presso le sezioni PAI n. 067 (sezione del modello di calcolo n. 1976,00) e n. 063 (sezione del modello di calcolo n. 1375,00).

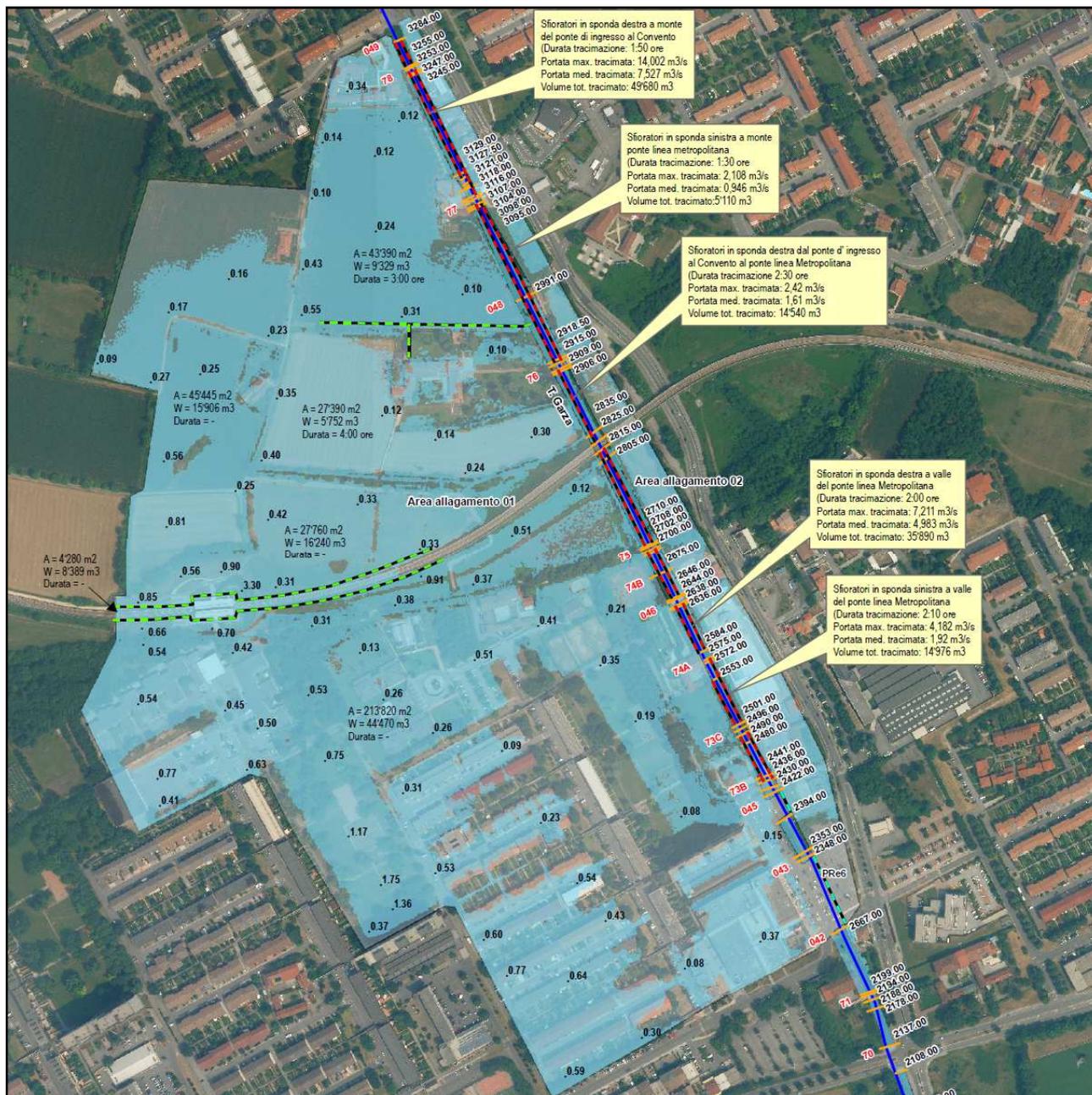
L'idrogramma relativo alla confluenza del Naviglio Cerca (Resegotta) in Garza, sezione PAI n. 038 (sezione del modello di calcolo n. 1040,00), è determinato come differenza fra gli idrogrammi TR100, forniti dallo Studio di fattibilità solo in forma grafica, per le sezioni PAI "GR 039" e "GR 038m" (elaborato 3.2.2.2/2/1R), rispettivamente subito a monte ed a valle della confluenza del Naviglio. I dati numerici sono ottenuti dai grafici.

#### 4.2.5) Modellazione idraulica

La durata dell'evento di piena simulato mediante la modellazione idraulica 1D/2D è di 24 ore, sufficiente al fine di ottenere dal programma il calcolo dei flussi nelle aree 2D, fino al limite estremo delle aree allagabili.

Nel seguente schema planimetrico (figura 4.2.5.1) è rappresentato in sintesi il risultato della modellazione idraulica.

Figura 4.2.5.1 - Schema planimetrico dei risultati della modellazione idraulica





#### 4.2.6) Esame dei risultati

Si esaminano nel dettaglio le modalità dell'esondazione e dell'allagamento del territorio, risultanti dalla modellazione idraulica.

- Le acque esondate dal t. Garza per tracimazione del colmo della piena dalla sponda destra, dopo l'allagamento dell'ampia area agricola pianeggiante, degradante verso sudovest, raggiungono la linea della metropolitana in corrispondenza della stazione San Polo Parco, per ruscellamento superficiale sul terreno, anche per effetto della presenza della rampa di sopraelevazione del piano rotabile, della lunghezza di circa 240 m, realizzata trasversalmente al corso del torrente per l'attraversamento aereo.
- In corrispondenza della predetta stazione, si allaga il piano rotabile, situato oltre un metro al di sotto del piano di campagna, e l'ampia zona del sottopasso pedonale infossata all'aperto, per tracimazione dei muri longitudinali continui di sostegno perimetrale della trincea e della fossa. Il deflusso superficiale può inoltre attraversare l'area della stazione a livello del piano di campagna, unendosi alle acque di ruscellamento superficiale provenienti dalla tracimazione del Garza dalla sponda destra, a valle dell'attraversamento della metropolitana.

## 5) Criteri e ipotesi d'intervento

Al fine di individuare le possibili soluzioni d'intervento per la messa in sicurezza della metropolitana in località San Polo, si evidenziano nel seguito i principali aspetti e vincoli di ordine idraulico ed ambientale che condizionano le possibili scelte.

### Aspetti idraulici

Le problematiche idrauliche indotte dal t. Garza nella zona di Brescia San Polo e nei territori vallivi, possono considerarsi storiche, generate dalle originarie scelte di condurre artificialmente le acque di questo corso d'acqua da Brescia alle campagne di Montichiari, Ghedi e Calvisano.

Altrettanto annosi ed importanti sono gli interventi ideati ed in parte realizzati nel corso del tempo, con l'obiettivo di dare compimento alla definitiva sistemazione idraulica di questo corso d'acqua. Prima della costruzione del canale scolmatore delle piene del bacino montano del Garza verso il f. Mella, a Crocevia Nave (1963), erano frequenti le esondazioni del Garza in Città, zona stazione ferroviaria, e nella zona di San Polo, tant'è che questi territori erano assoggettati al tributo del consorzio idraulico di 3° categoria del t. Garza, costituito ai sensi del RD 523/1904, per la gestione e la manutenzione delle opere di difesa idraulica.

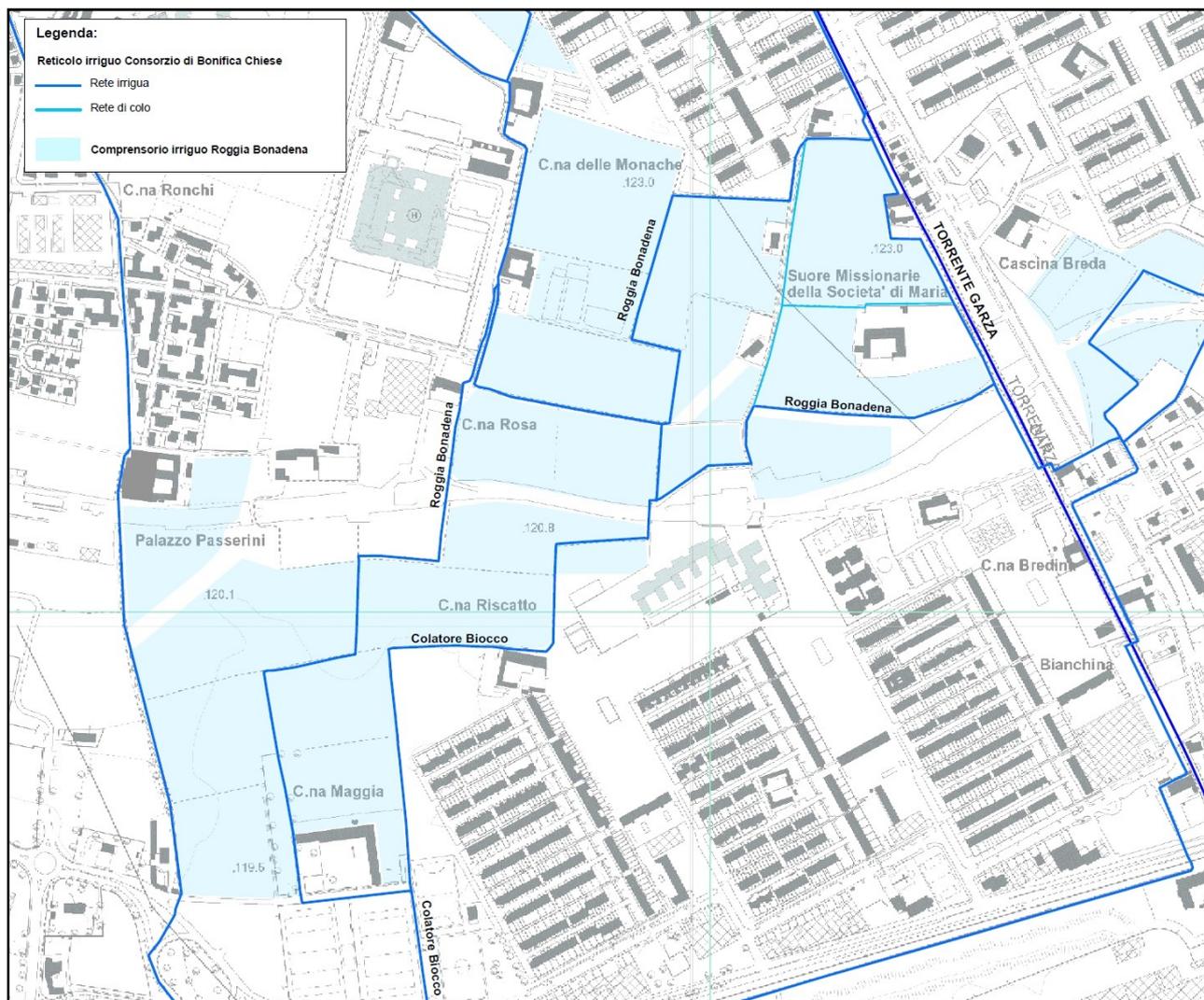
Attualmente, a causa dell'espansione urbanistica, avvenuta a ridosso del corso d'acqua, e delle numerose interferenze idrauliche lungo il corso del torrente (lunghe coperture, ponti stradali, attraversamenti di tubazioni di servizi, muri di sponda, strettoie), la capacità del canale artificiale del Garza, in termini di portata massima, risulta irrimediabilmente compromessa, con valori inferiori a quelli di progetto definiti nel PGRA.

La possibilità di attuare interventi volti ad aumentare la capacità della portata massima di questo tronco fluviale, rendendolo adeguato a fronte dei massimi eventi di piena possibili, non appare attualmente proponibile, poiché sarebbero richieste ingenti opere di demolizione di coperture e ponti, e di risezionamento e arginatura, incompatibili con il contesto urbanizzato circostante.

Le acque esondate dalla sponda destra del Garza, dopo l'allagamento dei terreni a nord della linea della metropolitana, si riversano nei canali e fossi del sistema irriguo e di drenaggio della Roggia Bonadena, diretta verso il proprio naturale recapito finale, costituito dal colatore Biocco. Per effetto della morfologia del territorio e dell'assetto strutturale del t. Garza, le acque esondate non possono rientrare nell'alveo del torrente.

Detta rete di drenaggio è intercettata dalla linea della metropolitana, e ad ogni incrocio la continuità idraulica dei colatori avviene attraverso manufatti idraulici di attraversamento sotterraneo, parte dei quali realizzati con botti a sifone.

Figura 5.1 - Schema della rete irrigua e di colò



### Aspetti ambientali

L'area di esondazione è inserita in un ambito agricolo ed a verde, in parte destinato a parco pubblico, entro cui le nuove opere idrauliche è richiesto siano compatibili con questo ambiente, specialmente per quanto riguarda la fruibilità, l'impatto visivo di argini e modifiche della morfologia del territorio e l'igiene.

### Criteria e ipotesi d'intervento

L'intervento deve garantire la messa in sicurezza della metropolitana, a fronte delle possibili esondazioni delle piene del t. Garza, senza peggiorare le condizioni di pericolosità idraulica nel resto del territorio, con salvaguardia del sistema irriguo e di drenaggio attuale e degli aspetti paesaggistici ed ambientali.

Si sono considerati due schemi idraulici alternativi, illustrati nel seguito:

- 1° schema: realizzazione di una vasca di laminazione delle piene del torrente, nell'area della regione fluviale destra del Garza, a monte della Metropolitana, con scarico dell'invaso nello stesso torrente;
- 2° schema: regimazione delle acque esondate e difesa passiva della Metropolitana, con recapito delle acque, dopo lo spaglio, nei corsi d'acqua colatori del territorio.

#### 1) VASCA DI LAMINAZIONE

Questa tipologia di opera non risulta attuabile a causa, principalmente, dell'impossibilità di realizzare il bacino d'invaso a conveniente profondità. Infatti, una vasca di laminazione nel territorio a nord della Metropolitana, dovrebbe essere realizzata con argini perimetrali alla stessa quota dell'argine destro del Garza, pertanto sopraelevati rispetto al piano di campagna al massimo di circa 2,00 m, e fondo alla profondità non superiore a 0,80 m rispetto al p.c., pari al dislivello fra quota terreno e fondo alveo, per consentire lo svuotamento dell'invaso a gravità e la restituzione delle acque al Garza dopo la laminazione. Tenendo conto del franco di un metro fra il livello del massimo invaso e la quota del coronamento degli argini, il battente massimo d'invaso utile risulterebbe di soli 1,80 m.

Nell'ipotesi di limitare a 20 m<sup>3</sup>/s la portata massima del Garza, in modo da risolvere tutte le criticità legate alle insufficienze idrauliche del torrente lungo l'intero tratto vallivo in comune di Brescia, il volume d'invaso necessario, stimato sottraendo all'idrogramma di piena di progetto per TR 100 anni detta portata limite, risulterebbe di circa 146'000 m<sup>3</sup>, a cui corrisponde una superficie del bacino d'invaso di oltre 80'000 m<sup>2</sup>, non disponibile neppure per la metà nell'area a nord della Metropolitana.

Una vasca di capacità ridotta, dell'ordine dei 40'000 m<sup>3</sup>, peraltro attuabile occupando anche l'area di un ambito di trasformazione, non si giustificerebbe in considerazione dell'impatto ambientale di una simile opera in un contesto circondato da zone edificate e destinato a parco e del presumibile elevato costo nei confronti dell'effettivo beneficio raggiungibile, in termini di riduzione della pericolosità idraulica per il territorio vallivo.

#### 2) REGIMAZIONE DELLA ACQUE ESONDATE E DIFESA PASSIVA DELLA METROPOLITANA

Lo schema idraulico attuabile e proposto nel seguito, prevede l'individuazione ed il confinamento dei terreni agricoli ed a verde interessati dal naturale spaglio e ruscellamento delle acque esondate, mediante la realizzazione di argini in terra di limitata altezza, ed altre opere complementari, attuandosi in tal modo la riduzione delle piene a valori di portata compatibili con la capacità della rete idrografica del drenaggio superficiale esistente, e la difesa passiva delle strutture della metropolitana.

La circolazione idrica segue il naturale andamento morfologico del territorio e della rete idrografica irrigua e del drenaggio superficiale. Il corso d'acqua principale, nelle aree di allagamento, è la roggia Bonadena, la quale attraversa la linea della metropolitana in corrispondenza della stazione San Polo Parco, con botte a sifone, per confluire subito dopo nel principale corso d'acqua ricettore della zona, denominato colatore Biocco.

I terreni interessati dagli allagamenti sono in parte di proprietà comunale ed in parte di proprietà privata, già ora in gran parte esondabili per effetto delle piene del Garza. L'amministrazione comunale dovrà sostenere l'onere dell'acquisizione della proprietà delle sole aree occupate dai nuovi argini e definire un adeguato indennizzo per i nuovi allagamenti indotti dalle opere.

Al fine di definire l'entità delle opere da eseguire, soprattutto per quanto riguarda l'altezza degli argini e l'impatto ambientale degli interventi, ed al fine di proporre la soluzione progettuale ritenuta migliore, si sono ipotizzati quattro schemi progettuali, in funzione di altrettante possibili soluzioni, per ciascuna delle quali è stata rifatta la modellazione idraulica bidimensionale dei deflussi delle acque esondate nelle aree di allagamento.

Particolare importanza riveste la capacità della predetta botte a sifone della roggia Bonadena, poiché costituisce, in tutti gli schemi progettuali, l'unica via di scarico delle acque esondate a monte della metropolitana verso il successivo colatore Biocco, nel quale, inoltre, si immette uno scaricatore di piena della fognatura urbana mista di via San Polo, tramite una tubazione del diametro di 120 cm.

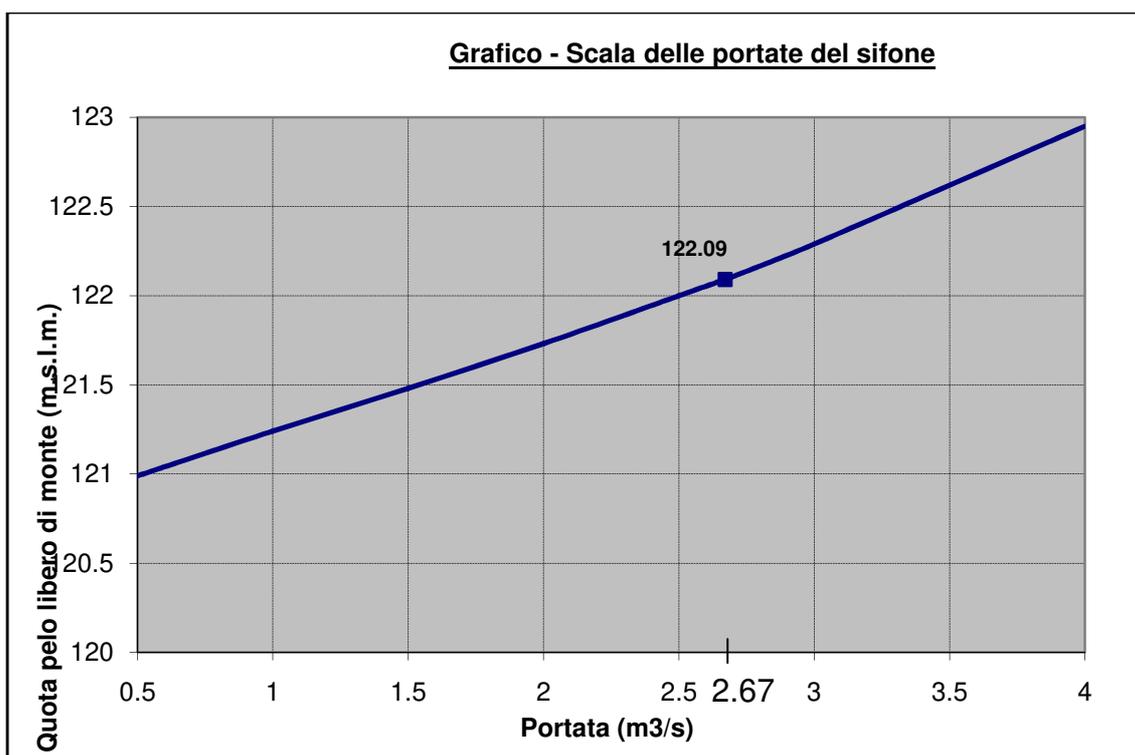
Sulla base delle caratteristiche strutturali del manufatto, costruito a doppia canna, ciascuna del diametro interno di 140 cm e di cui una intercettata da una paratoia, si è verificato il funzionamento del sifone mediante una modellazione idraulica al moto stazionario. Dal calcolo, eseguito considerando il funzionamento di una sola canna e l'ipotetica geometria del canale di valle (Biocco) risultante dopo il risezionamento, risulta la scala delle portate seguente, in funzione del livello del pelo libero a monte. La scala fornisce i valori della portata del sifone nelle varie situazioni di livello dell'allagamento relativo alle varie ipotesi d'intervento studiate.

Nelle ipotesi progettuali, si considera un franco idraulico per le nuove opere di arginatura, rispetto all'evento di piena di progetto, di 50 cm.

Delle quattro ipotesi studiate, si è scelta quella ritenuta maggiormente rispondente alle finalità idrauliche dell'opera ed ai vincoli ambientali precedentemente citati, specialmente per quanto riguarda l'altezza degli argini da realizzare nelle aree di allagamento e la portata massima verso il colatore Biocco.

Tabella - Scala delle portate del sifone

Portata (m <sup>3</sup> /s)	Quota pelo libero di monte (m.s.l.m)
0,50	120,99
1,00	121,24
1,50	121,48
2,00	121,73
2,50	122,00
2,67	122,09
3,00	122,29
4,00	122,95



## 6) Verifica idraulica del progetto

### 6.1) Procedimento

La verifica idraulica dell'efficacia dell'intervento si dimostra tramite modellazione idraulica 1D/2D, eseguita mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS versione 5.0.7, riferita alla configurazione geometrica di progetto, al verificarsi dell'evento meteorico con tempo di ritorno di 100 anni, ed al transito, lungo il t. Garza, della conseguente onda di piena.

I dati idrologici considerati sono rappresentati dagli idrogrammi risultanti dalle analisi idrologiche eseguite in precedenza nel paragrafo 4.2.4, per lo studio delle condizioni attuali.

### 6.2) Opere previste

- **Costruzione argine in terra** attorno all'area del P.L. ATD.4) e, in continuazione verso sud, lungo il lato est di via Brunelleschi, fino all'intersezione con il vaso Bonadena, per il contenimento dell'allagamento nella fascia di terreno compresa fra il corso del Garza e la predetta via. Id. **tratto A-A'**, lunghezza 491 m, altezza massima dell'argine sul p.c. 1,05 m. Opere complementari: formazione nuovo accesso al terreno da via Brunelleschi; spostamento canale irriguo e di colò a lato dell'argine verso campagna con rivestimento in pietrame.

- **Costruzione ponticello carraio**, per carichi fino a 20 t (mezzi di soccorso), di attraversamento della roggia Bonadena e **tratto di strada in rilevato** per il collegamento viabile alla stazione metro San Polo Parco. Id. **tratto B-B'**, lunghezza 163,50 m. Opere complementari: opere edili di predisposizione per illuminazione pubblica.

- **Sopralzo argine in terra** esistente dall'accesso all'area esterna della stazione metro San Polo Parco al manufatto botte a sifone della roggia Bonadena verso il colatore Biocco, a difesa dell'area esterna della predetta stazione. Id **tratto C-C'**, lunghezza 152,14 m.

- **Costruzione argine in terra** dal sifone della roggia Bonadena verso ovest, fino alla stazione metro Poliambulanza, a lato nord della strada di collegamento fra le due stazioni, per il contenimento nei terreni agricoli delle acque esondate a nord, a difesa della linea della metropolitana. Id. **tratto D-D'**, lunghezza 353,50 m.

- **Costruzione argine in terra**, dalla strada di accesso all'area esterna della stazione metro San Polo Parco fino alla trincea della linea metropolitana e **sopralzo del muro in c.a.** lato nord e lato sud della predetta trincea, per difesa passiva dell'area esterna della stazione San Polo Parco e della linea ferroviaria in trincea all'aperto. Argine in terra e sopralzo muro lato nord Id. **tratto E-E''**, lunghezza 155,40 m, sopralzo muro lato sud id. **tratto F-F'''**, lunghezza 148,40 m. Opere complementari: smontaggio e riposizionamento recinzione lungo i muri perimetrali della trincea della linea metropolitana.

- **Costruzione argine in terra** per difesa passiva della stazione metro San Polo parco in lato sud. Id. **tratto G-G'**, lunghezza 141 m.

- **Costruzione dossi** agli accessi nord e sud del sottopasso ciclopeditone della metropolitana e **muri d'argine in c.a.** addossati ai muri esistenti della trincea, per sopralzo difese idrauliche. Id. **tratto H-H'**,

lunghezza 89,65 m. Opere complementari: opere edili per impianto di illuminazione pubblica, parapetti; mitigazioni ambientali: formazione di siepe.

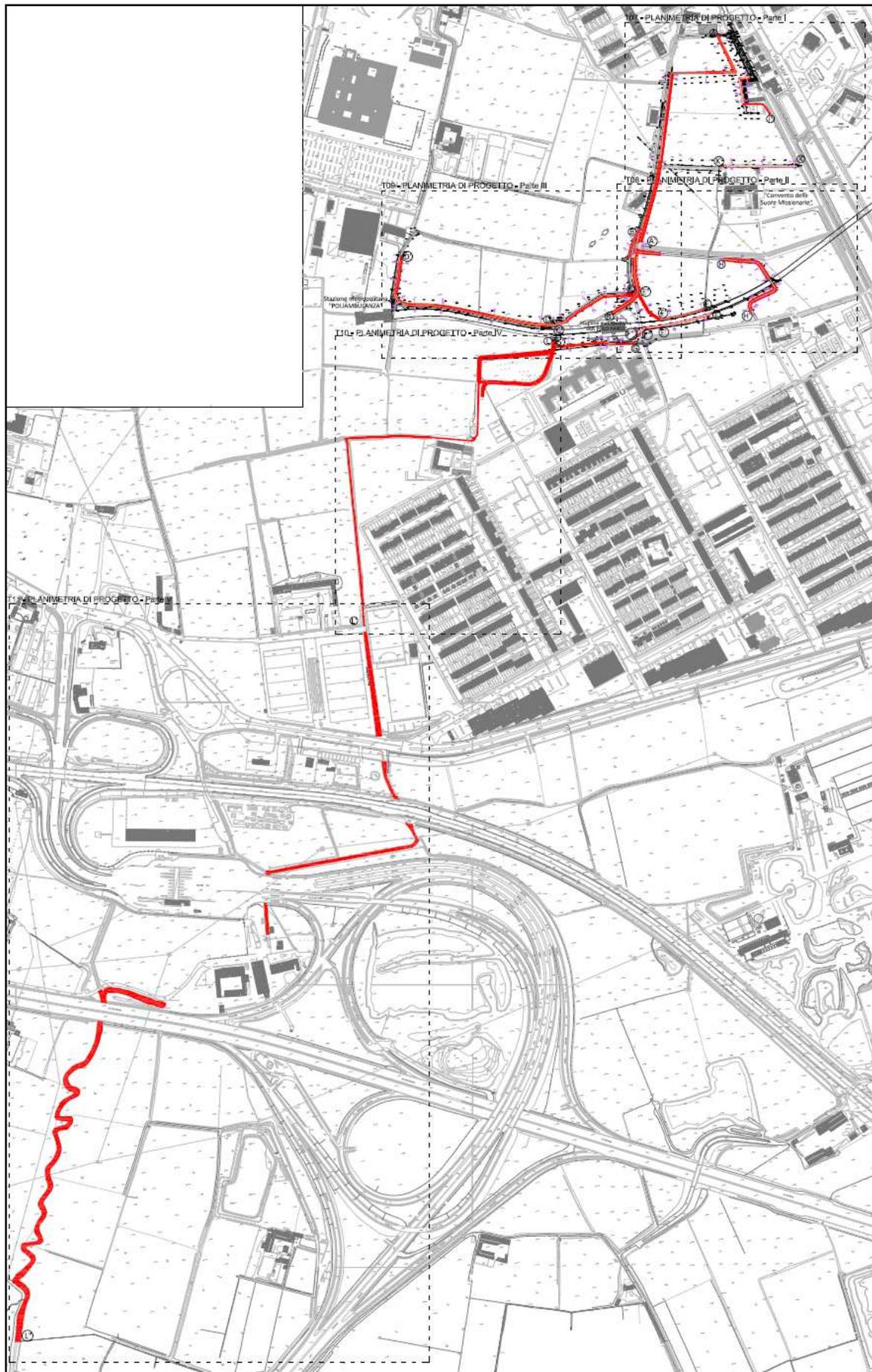
- **Realizzazione canale irriguo** con canalette in c.a.v. attorno alla cascina ex mulino. Id. **tratto II'**, lunghezza 116 m.

- **Ristrutturazione canale irriguo** con canalette in c.a.v. poste nel sedime del fosso esistente in lato nord del muro di recinzione dell'area del Convento delle Suore Missionarie. Id. **tratto K-K'**, lunghezza 129,24 m.

- **Manutenzione del colatore Biocco**, per taglio e rimozione della vegetazione infestante, risezionamento dell'alveo e costruzione manufatto speciale idraulico, d'intercettazione dei sedimenti e sistemazione area di laminazione aggiuntiva, lungo il primo tratto a valle del sifone della roggia Bonadena fino presso la cascina Maggia. Id. **tratto L-L'**, lunghezza 850 m. Manutenzione alveo e sponde secondo tratto da C.na Maggia a confine comunale con San Zeno. Id. **tratto L'-L''**, lunghezza 1440 m.

Rispetto alla situazione attuale, nella parte a nord, le aree di allagamento si riducono in destra e sinistra del Garza, per effetto del sopralzo degli argini del torrente e a ovest della via F. Brunelleschi per effetto del nuovo argine previsto lungo la strada. Nella restante parte della regione fluviale destra del Garza, le aree di allagamento si ampliano verso ovest, in direzione della stazione Poliambulanza, e si riducono nella zona edificata a sud della Metropolitana, con aumento del battente nell'area compresa fra il corso del Garza a est, la strada comunale via F. Brunelleschi a ovest ed il rilevato della metropolitana a sud, e riduzione nella restante zona allagata. La portata massima di scarico nel colatore Biocco, attraverso il manufatto a sifone della roggia Bonadena, è quantificata in 2,79 m<sup>3</sup>/s.

Figura 6.2.1 - Schema planimetrico di progetto



### 6.3) Schema geometrico di calcolo

La geometria del modello di calcolo deriva dalla geometria dello stato di fatto, modificata con l'introduzione di tutti gli elementi rappresentativi delle opere in progetto, nella loro esatta posizione e dimensione.

Lo schema è così composto:

#### Geometria del corso d'acqua

- *Torrente Garza:*
  - lunghezza 3284 m, da inizio modellazione (sezione n. 3284.00) in corrispondenza del termine del lungo tratto tombato a fianco di via San Polo, fra l'edificio della Questura e l'attraversamento di via Brunelleschi, e termina nella zona delle cave in via Casotti (sezione n. 0.00)
  - sezioni del modello: n. 117
  - Strutture trasversali: n. 23 ponti (bridge), n. 2 coperture e n. 1 tombotto (culvert).
- *Roggia Bonadena:*
  - lunghezza 83 m, da inizio modellazione (sezione n. 82,96) in corrispondenza del termine del tratto coperto parallelo alla pista ciclopedonale che collega via Romiglia alla stazione metro "Poliambulanza" fino all'imbocco del sifone d'attraversamento della stazione metro "Poliambulanza" (sezione n. 0,00);
  - sezioni del modello: n. 5
- *Colatore Biocco:*
  - Lunghezza 357 m, da inizio modellazione (sezione n. 290,94) a valle del ponticello della pista ciclopedonale che collega via Brunelleschi alla stazione metro "San Polo Parco" fino 18 m a valle del manufatto di derivazione irrigua esistente a lato dell'area Parco di via Raffaello (sezione n. 0,00);
  - sezioni del modello: n. 13

#### Aree di allagamento e collegamenti idraulici

Le aree di allagamento considerate nel modello comprendono

##### Area n. 01

- Posizione: a lato della sponda destra del Torrente Garza da circa 70 m a valle dell'inizio modellazione fino al tracciato della linea metropolitana, comprendente tutte le aree interessate dal progetto del naturale spaglio e ruscellamento delle acque esondate.
- Superficie: 234'435 m<sup>2</sup>
- Uso del suolo: area prevalentemente agricola e a verde.
- Rilievo: copertura LiDAR.
- Griglia di calcolo: 2x2 m.
- Collegamenti idraulici fra area di allagamento e corsi d'acqua (laterl structure):
  - n.1 sfioratore laterale lungo la sponda destra del T. Garza da inizio area 2D fino all'edificio di un vecchio mulino (88,82 m);
  - n.1 sfioratore laterale lungo la sponda destra del T. Garza dal ponte di accesso all'edificio del vecchio mulino fino al ponte di acceso del Convento delle Suore Missionarie della Società di Maria (178,64m);
  - n.1 sfioratore laterale lungo la sponda destra del T. Garza dal ponte di accesso al Convento delle Suore Missionarie della Società di Maria fino al ponte della linea

- ferroviaria della Metropolitana (83,34m);
  - n.2 sfioratori laterali consecutivi lungo la sponda destra del colatore Biocco da inizio modellazione fino all'imbocco del sifone di attraversamento della linea metropolitana.
  - n.1 sfioratore lungo la sponda sinistra della Roggia Bonadena da inizio modellazione fino all'attraversamento della pista ciclopedonale di collegamento tra le stazioni della linea metropolitana "Poliambulanza" e "San Polo Parco"
- Linee di separazione (Break Line):
- lungo il tracciato dei rilevati arginali in lato ovest della prima area adibita allo spaglio e ruscellamento delle acque esondate tra il torrente Garza e la strada vicinale (564,04m)
  - lungo il tracciato del rilevato arginale previsto lungo il contorno della cascina ex mulino (103,15m)
  - lungo il confine nord del Convento delle Suore Missionarie della Società di Maria, per simulare il muro di cinta in pietrame e cemento, con apertura in corrispondenza di una porta d'ingresso (200,35m);
  - lungo il confine ovest del Convento delle Suore Missionarie della Società di Maria, per simulare il muro di cinta in pietrame e cemento (31,28m);
  - lungo il tracciato del rilevato del nuovo tratto di pista ciclopedonale che collega la strada vicinale alla stazione della metropolitana "San Polo Parco" (121,92m);
  - lungo il contorno del sottopasso ciclopedonale della linea metropolitana per simulare le opere previste per la sua protezione dal ruscellamento delle acque esondate (104,17m);
  - lungo il tracciato del rilevato arginale di progetto previsto per la protezione della pista ciclopedonale di collegamento tra le stazioni della linea metropolitana "Poliambulanza" e "San Polo Parco" (281,71m).

#### Area n. 02

- Posizione: a lato della sponda sinistra del Torrente Garza da inizio modellazione fino a via Giorgine.
- Superficie: 38'095 m<sup>2</sup>, compresa fra la sponda del torrente a ovest e via San Polo, stessa perimetrazione dell'area di allagamento TR100 del PGRA.
- Uso del suolo: area parzialmente edificata a destinazione residenziale.
- Rilievo: copertura LiDAR.
- Griglia di calcolo: 2x2 m.
- Collegamenti idraulici fra area esondabile e corso d'acqua (laterl structure):
  - n.1 sfioratore laterale lungo la sponda sinistra dal ponte di accesso all'edificio del vecchio mulino fino al ponte di acceso del Convento delle Suore Missionarie della Società di Maria (178,29m);
  - n.1 sfioratore laterale lungo la sponda sinistra dal ponte di accesso al Convento delle Suore Missionarie della Società di Maria fino al ponte della linea ferroviaria della Metropolitana (79,48m);
  - n.5 sfioratori laterali consecutivi lungo la sponda destra, intervallati da n°4 ponti, dal ponte della linea ferroviaria della Metropolitana fino al ponte carrabile di via Giorgione (345,28 m);
  - n.2 sfioratori laterali consecutivi lungo la sponda sinistra, separati da un tratto di canale coperto, dal ponte carrabile di via Giorgione al parcheggio del centro commerciale Margherita d'Este (45,73 m);
  - n.1 connessione di collegamento fra le aree di allagamento n.02 e n.03, al confine fra le due aree (22,74 m);
  - n.1 connessione di collegamento fra le aree di allagamento n.02 e n.03, al confine fra le due aree (77,12 m).

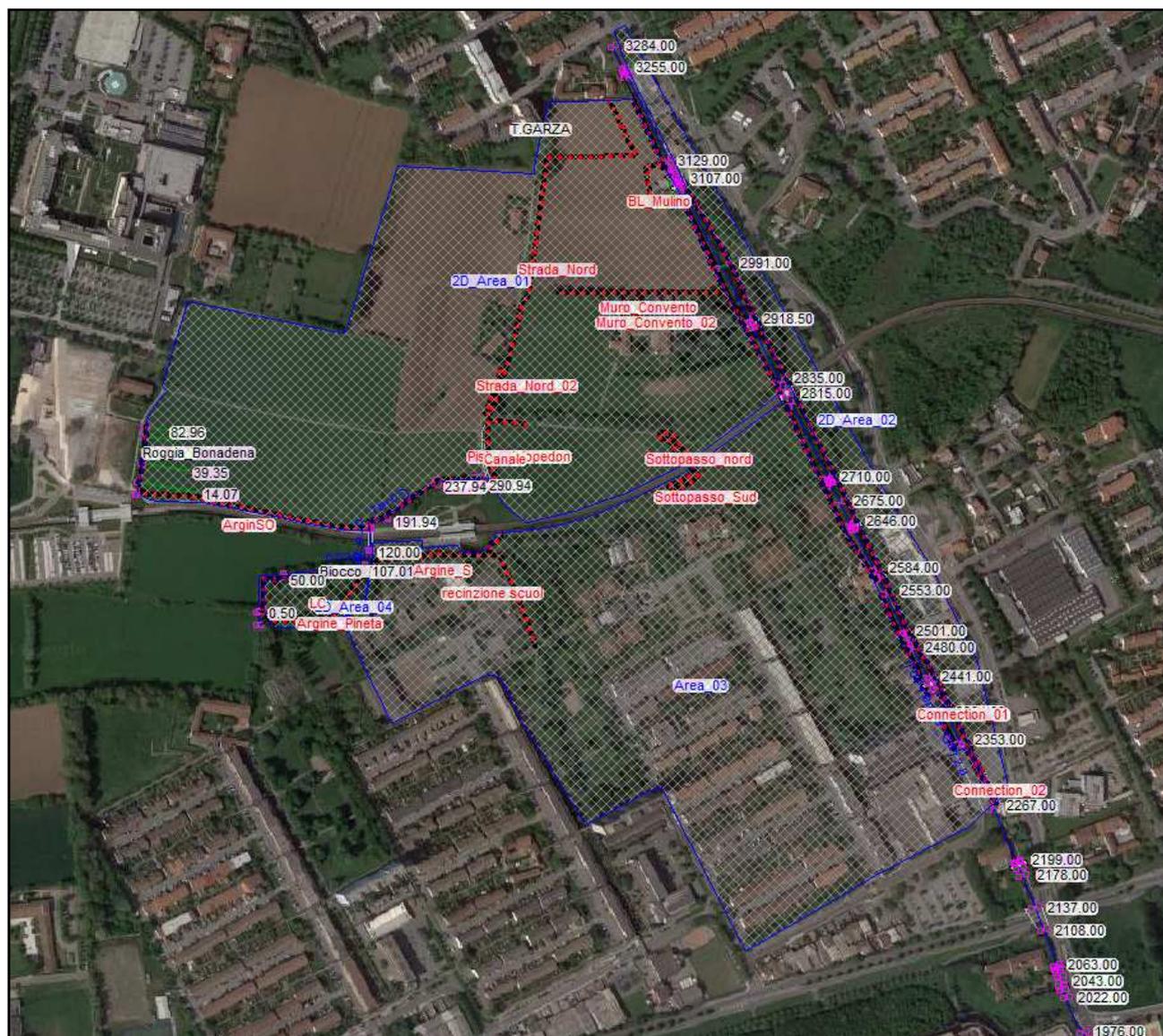
Area n. 03

- Posizione: a lato della sponda destra del torrente Garza, dalla linea della metropolitana fino a via Michelangelo.
- Superficie: 246'416 m<sup>2</sup>, stessa perimetrazione dell'area di allagamento TR100 del PGRA in sponda destra del t. Garza con chiusura in corrispondenza di via Michelangelo.
- Uso del suolo: l'area è prevalentemente edificata a destinazione residenziale.
- Rilievo: copertura LiDAR.
- Griglia di calcolo: 2x2 m.
- Collegamenti idraulici fra area esondabile e corso d'acqua (laterl structure):
  - n.3 sfioratori laterali consecutivi lungo la sponda destra, intervallati da n°2 ponti carrabili, dal ponte della linea ferroviaria della Metropolitana fino alla cascina Bredina (209,25m);
  - n. 2 sfioratori laterali consecutivi lungo la sponda destra, intervallati da n°1 ponte pedonale, dalla C.na Bredina fino al ponte carrabile di via Giorgione (105,84m);
  - n.2 sfioratori laterali consecutivi lungo la sponda destra, separati da un tratto di canale coperto dal ponte carrabile di via Giorgione al parcheggio del centro commerciale Margherita d'Este (46,65m);
  - n.1 connessione di collegamento fra le aree di allagamento n.02 e n.03, al confine fra le due aree (22,74m);
  - n.1 connessione di collegamento fra le aree di allagamento n.02 e n.03, al confine fra le due aree (77,12 m);
- Linee di separazione (Break Line):
  - lungo il contorno del sottopasso ciclopedonale della linea metropolitana per simulare le opere previste per la sua protezione dal ruscellamento delle acque esondate (100,13m)
  - lungo il tracciato del rilevato di progetto a protezione della stazione della metropolitana "San Polo Parco"(121,92m);
  - Lungo la recinzione in lato est della scuola secondaria "E. De Filippo" (130,00m)

Area n. 04

- Posizione: area di spaglio secondaria in progetto in sponda sinistra del colatore Biocco appena a valle del sifone di attraversamento della linea metropolitana.
- Superficie: 6'785 m<sup>2</sup>.
- Uso del suolo: area prevalentemente a verde e parzialmente boscata.
- Rilievo: copertura LiDAR.
- Griglia di calcolo: 2x2 m.
- Collegamenti idraulici fra area esondabile e corso d'acqua (laterl structure):
  - n.1 sfioratore laterale lungo l'intero sviluppo della sponda sinistra del colatore biocco dall'inizio dell'area 2D fino al manufatto di derivazione irrigua esistente in corrispondenza della sezione 0.50 (157,78m);
  - n.1 sfioratore laterale lungo la sponda sinistra tra il manufatto di derivazione irrigua sez. 0.50 e la sezione di fine modellazione sez. 0.00 (8,00m);
- Linee di separazione (Break Line): .
  - lungo il tracciato dell'argine esterno dell'area di spaglio (145,00m);

Figura 6.3.1 - Planimetria del modello geometrico di calcolo

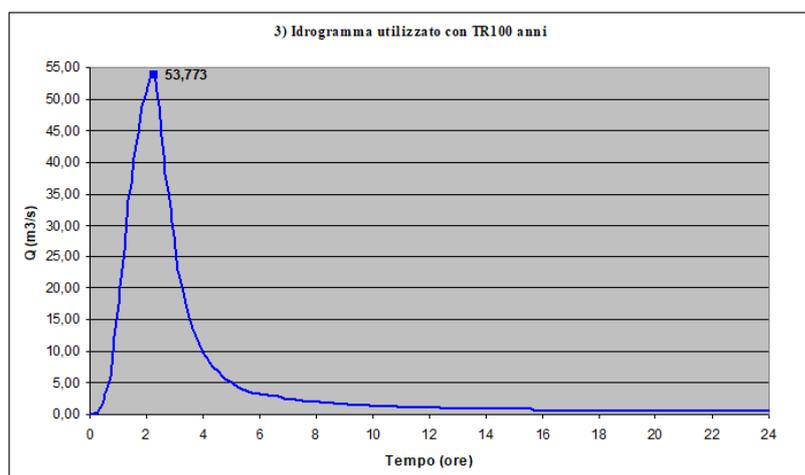


## 6.4) Dati idrologici. Flussi in ingresso

I flussi (flow) delle portate d'acqua in ingresso al sistema idrografico del torrente Garza, schematizzati nel modello di calcolo idraulico per la simulazione del deflusso della piena di progetto in regime di moto vario (unsteady flow analysis), sono stati descritti nel precedente paragrafo 4.2.4.

Gli idrogrammi di piena ed i loro punti di applicazione nel modello di calcolo sono i seguenti:

Figura 6.4.1 - Idrogramma di piena T. Garza – condizione al contorno di monte



Tempo (ore)	Idrogramma di piena (Q m3/s)	Tempo (ore)	Idrogramma di piena (Q m3/s)	Tempo (ore)	Idrogramma di piena (Q m3/s)
0,00	0,000	8,25	1,820	16,25	0,687
0,25	0,337	8,50	1,720	16,50	0,677
0,50	2,153	8,75	1,633	16,75	0,673
0,75	7,850	9,00	1,550	17,00	0,663
1,00	17,533	9,25	1,467	17,25	0,663
1,25	28,790	9,50	1,403	17,50	0,663
1,50	38,837	9,75	1,330	17,75	0,650
1,75	46,253	10,00	1,270	18,00	0,650
2,00	51,007	10,25	1,220	18,25	0,650
2,25	53,773	10,50	1,163	18,50	0,650
2,50	46,823	10,75	1,123	18,75	0,640
2,75	35,257	11,00	1,077	19,00	0,640
3,00	26,340	11,25	1,040	19,25	0,637
3,25	20,007	11,50	1,003	19,50	0,637
3,50	15,520	11,75	0,967	19,75	0,637
3,75	12,290	12,00	0,940	20,00	0,627
4,00	9,930	12,25	0,907	20,25	0,627
4,25	8,180	12,50	0,883	20,50	0,627
4,50	6,840	12,75	0,857	20,75	0,627
4,75	5,797	13,00	0,843	21,00	0,627
5,00	4,987	13,25	0,820	21,25	0,627
5,25	4,337	13,50	0,807	21,50	0,627
5,50	3,810	13,75	0,783	21,75	0,627
5,75	3,393	14,00	0,773	22,00	0,627
6,00	3,170	14,25	0,760	22,25	0,613
6,25	2,977	14,50	0,747	22,50	0,613
6,50	2,793	14,75	0,737	22,75	0,613
6,75	2,620	15,00	0,723	23,00	0,613
7,00	2,463	15,25	0,710	23,25	0,615
7,25	2,317	15,50	0,710	23,50	0,614
7,50	2,173	15,75	0,700	23,75	0,613
8,00	2,050	16,00	0,687	24,00	0,613

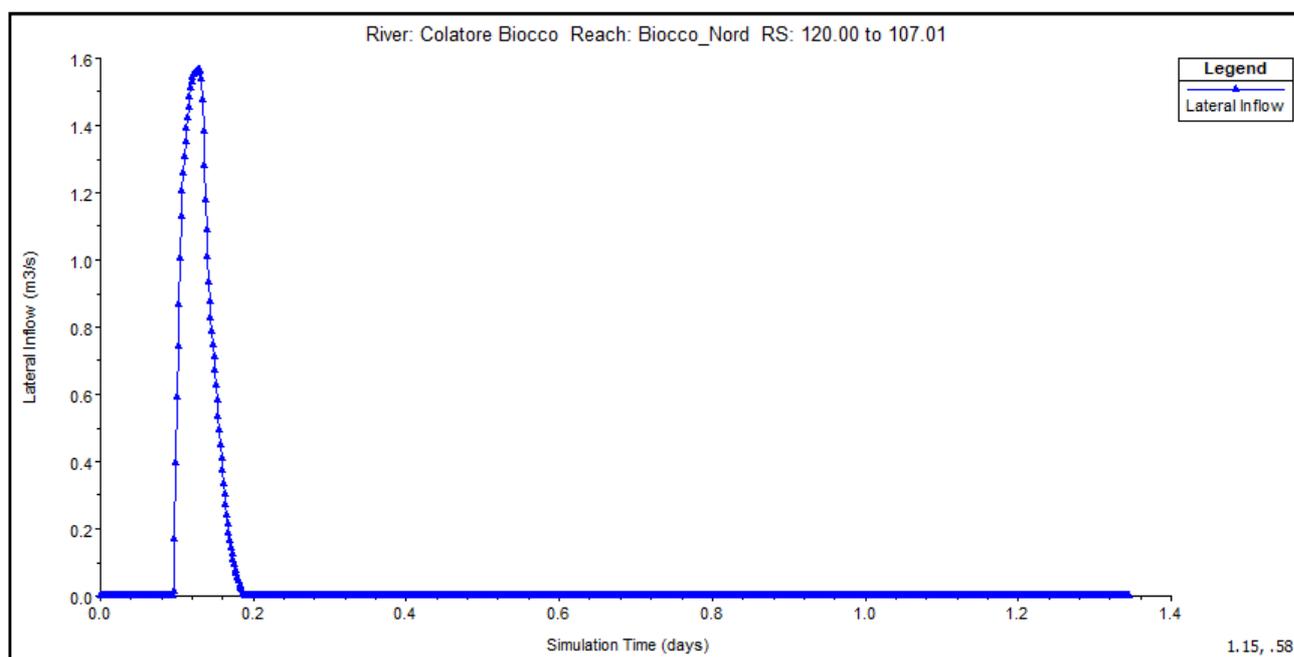
All'estremità di valle del t. Garza, sezione n. 0,00, si è posta la cadente (normal depth) pari a 0,00098 m/m.

#### Idrogramma di piena del colatore Biocco

Come condizione al contorno di monte del colatore Biocco è stata utilizzata una portata costante pari a 0,05 m<sup>3</sup>/s per tutta la durata della modellazione.

#### Figura 6.4.2. - **Idrogramma di piena dello scarico della fognatura nel colatore Biocco – immisione laterale alla sez.120**

Idrogramma fornito da A2A per TR10 anni e utilizzato anche per TR100 poiché la portata massima dell'idrogramma corrisponde alla capacità massima della tubazione di scarico.



All'estremità di valle del colatore Biocco, sezione n. 0,00, si è posta la cadente (normal depth) pari a 0,0022 m/m.

#### Idrogramma di piena della roggia Bonadena

Come condizione al contorno di monte del colatore Biocco è stata utilizzata una portata costante pari a 0,01 m<sup>3</sup>/s per tutta la durata della modellazione e all'estremità di valle della roggia Bonadena, sezione n. 0,00, si è posta la cadente (normal depth) pari a 0,01 m/m.

## 6.5) Verifica idraulica

### Modellazione idraulica

La durata dell'evento di piena simulato mediante la modellazione idraulica 1D/2D è di 24 ore, sufficiente al fine di ottenere dal programma il calcolo dei flussi nelle aree 2D, fino al limite estremo delle aree allagabili ed all'esaurimento dei deflussi nelle aree allagate.

#### **6.5.1) Simulazione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni (TR100)**

Si descrive nel seguito il risultato della modellazione idraulica, riportando, nel seguito, gli schemi grafici delle situazioni negli istanti maggiormente significativi.

- L'esondazione inizia dalla sponda destra del torrente Garza, lungo il primo tratto del tronco allo studio, compreso fra la sezione d'inizio del modello ed il ponte della Metropolitana, verso l'area di allagamento n. 01 del quartiere San Polo Parco, attraverso n. 4 sfioratori da sezione n. 3284 a sezione n. 2825, lunghezza complessiva 411,84m. L'espansione delle acque nell'area di allagamento è rapida ed inizialmente contenuta dal rilevato della metropolitana, il quale indirizza i flussi verso ovest.
- Le acque indirizzate verso ovest seguono l'andamento dei rilevati arginali in progetto e confluiscono nell'alveo della roggia Bonadena che attraversa il nuovo ponte ciclopedonale della strada vicinale d'accesso alla stazione metropolitana San Polo Parco. Una parte delle acque alluvionali che si trovano nel terreno situato tra l'alveo della roggia Bonadena e il tracciato della metropolitana vengono convogliate nella roggia Bonadena tramite una tubazione di scarico presente sotto il nuovo rilevato della pista ciclopedonale.
- L'alveo della roggia Bonadena non riesce a contenere tutto il volume delle acque esondate dal t. Garza e a sua volta la sponda destra viene trascinata e le acque si espandono verso ovest fino a raggiungere il nuovo argine realizzato in lato est della strada vicinale di accesso alla stazione metropolitana Poliambulanza.
- Le acque che l'alveo della roggia Bonadena riesce a contenere proseguono il loro deflusso verso il tombotto di attraversamento della linea metropolitana verso il colatore Biocco in prossimità della stazione metro San Polo Parco.
- A valle del tombotto di attraversamento della linea metropolitana, il vaso Biocco riceve dalla sponda sinistra lo scarico della rete di fognatura mista di via San Polo, tramite una tubazione  $\phi 1200$  mm in cls.
- Il vaso Biocco riesce a contenere solo una parte del volume di acqua recepito dalla piena del Garza e dallo scarico della rete di fognatura, il volume in eccesso esonda nell'area di spaglio secondaria in progetto, in sponda sinistra del vaso.
- Dopo lo spaglio le acque confluiscono nel colatore Biocco più a valle tramite una soglia sfiorante di troppo pieno.

Dati risultanti dalla verifica idraulica – bilancio idrologico per TR100*Portate d'acqua in ingresso*

- Portata massima tracimata dal t. Garza..... 8,55 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima di scarico della fognatura nel colatore Biocco... 1,56 m<sup>3</sup>/s

*Portate d'acqua in uscita*

- Portata massima di scarico dell'area di laminazione a monte dell'attraversamento della linea metropolitana (sifone) ..... 2,79 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima del colatore Biocco a valle dell'area di laminazione secondaria.... 3,20 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima dello scarico presso stazione Poliambulanza ..... 0,84 m<sup>3</sup>/s

*Bilancio idrologico*

- Superficie allagata ..... 160'186 m<sup>2</sup>
- Volume d'acqua tracimato dal t. Garza..... 55'010 m<sup>3</sup>
- Volume scaricato dalla fognatura nel colatore Biocco..... 5'790 m<sup>3</sup>
- Volume complessivo di scarico verso il colatore Biocco ..... 51'260 m<sup>3</sup>
- Volume complessivo di scarico presso stazione Poliambulanza ..... 4'840 m<sup>3</sup>
- Volume residuo nelle aree di allagamento ..... 4'700 m<sup>3</sup>

Schemi della modellazione

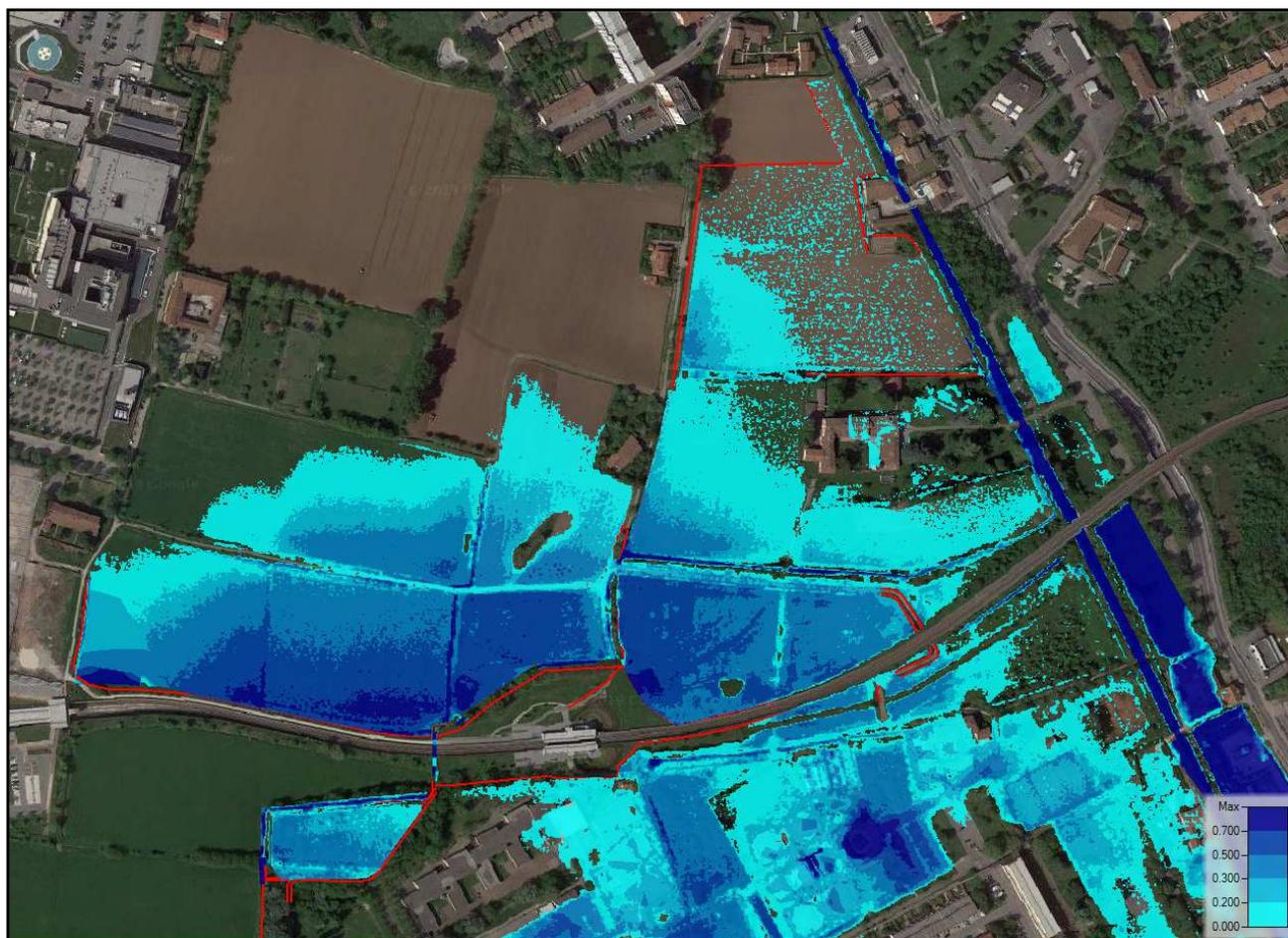
Figura 6.5.1.1 - Inizio sfioro dalla sponda sinistra del t. Garza



Figura 6.5.1.2 - Esondazione verso ovest attraverso la roggia Bonadena



Figura 6.5.1.3 - Estensione massima verso ovest delle acque esondate



### 6.5.2) Simulazione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 10 anni (TR10)

Si descrive nel seguito il risultato della modellazione idraulica, riportando, nel seguito, gli schemi grafici delle situazioni negli istanti maggiormente significativi.

- L'esondazione inizia dalla sponda destra del torrente Garza verso l'area di allagamento n. 01 del quartiere San Polo Parco, lungo il tratto del tronco allo studio compreso fra il ponte di accesso al Convento delle Suore Missionarie (sez. n. 2906) e l'attraversamento della linea metropolitana sopraelevata (sez. n. 2825) di lunghezza complessiva pari a m 83,34. Successivamente l'esondazione interessa anche il tratto del tronco in sponda destra del t. Garza a monte della c.na ex mulino tra la sez. n. 3245 e la sez. n. 3127.50. L'espansione delle acque nell'area di allagamento è rapida ed inizialmente contenuta dal rilevato della metropolitana, il quale indirizza i flussi verso ovest.
- Le acque indirizzate verso ovest vengono quasi totalmente fermate dai rilevati arginali in progetto e solo una piccola parte confluisce nell'alveo della roggia Bonadena che attraversa il nuovo ponte ciclopedonale della strada vicinale d'accesso alla stazione metropolitana San Polo Parco. Una parte delle acque alluvionali che si trovano nel terreno situato tra l'alveo della roggia Bonadena e il tracciato della metropolitana vengono convogliate nella roggia Bonadena tramite una tubazione di scarico presente sotto il nuovo rilevato della pista ciclopedonale.
- L'alveo della roggia Bonadena riesce a contenere tutto il volume delle acque che riceve, le quali proseguono il loro flusso in alveo verso il tombotto di attraversamento della linea metropolitana verso il colatore Biocco.
- A valle del tombotto di attraversamento della linea metropolitana, il colatore Biocco riceve in sponda destra lo scarico della rete di fognatura mista di via San Polo tramite una tubazione  $\phi 1200$  mm in cls.
- Il colatore Biocco riesce a contenere la maggior parte del volume di acqua recepito dalla piena del Garza e dallo scarico della rete di fognatura, tranne una minima quantità che esonda nell'area di spaglio secondaria di progetto in sponda sinistra del vaso.

#### Dati risultanti dalla verifica idraulica – bilancio idrologico per TR100

##### *Portate d'acqua in ingresso*

- Portata massima trascinata dal t. Garza..... 1,08 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima di scarico della fognatura nel colatore Biocco... 1,56 m<sup>3</sup>/s

##### *Portate d'acqua in uscita*

- Portata massima di scarico dell'area di laminazione a monte dell'attraversamento della linea metropolitana (sifone) ..... 0,22 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima del colatore Biocco a valle dell'area di laminazione secondaria.... 1,70 m<sup>3</sup>/s
- Portata massima dello scarico presso Poliambulanza ..... 0,01 m<sup>3</sup>/s

*Bilancio idrologico*

- Superficie allagata .....	50'430 m <sup>2</sup>
- Volume d'acqua tracimato dal t. Garza.....	11'490 m <sup>3</sup>
- Volume scaricato dalla fognatura nel colatore Biocco.....	6'211 m <sup>3</sup>
- Volume complessivo di scarico verso il colatore Biocco .....	14'370 m <sup>3</sup>
- Volume complessivo di scarico presso Poliambulanza .....	980 m <sup>3</sup>
- Volume residuo nelle aree di allagamento .....	2'351 m <sup>3</sup>

Schemi della modellazione

Figura 6.5.2.1 - Inizio sfioro dalla sponda sinistra del t. Garza



Figura 6.5.2.2 - Estensione massima verso ovest delle acque esondate



### 6.5.3) Verifica degli effetti dell'intervento

La simulazione degli eventi alluvionali risultanti dalle modellazioni idrauliche eseguite, dimostra l'efficacia dell'intervento proposto, rispetto agli obiettivi da raggiungere. L'infrastruttura della metropolitana e le vie di accesso alla stazione San Polo Parco, anche in caso di piena di frequenza centennale, risultano adeguatamente difese, a fronte dell'esonazione della piena del Garza, ed esterne all'area di allagamento.

Rispetto alla situazione attuale, si modifica l'estensione ed il battente degli allagamenti nelle aree esondate. Nella tavola 10.1 sono rappresentate, su base catastale, le aree di allagamento con l'indicazione degli aumenti del battente idrico per la piena TR100.